

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Beton**

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat agregat lain yang dicampur jadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan kataristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan (Mc.Cormac, 2004).

Secara Sederhana beton dibentuk oleh pengkerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah kerikil). Kadang- kadang ditambahkan campuran bahan lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton ( Asroni, 2010).

Menurut Tjokrodinuljo (1996), macam-macam beton sebagai berikut:

- a. Beton normal  
Merupakan beton yang cukup berat, dengan Berat Volume  $2400 \text{ kg/m}^3$  dengan nilai kuat tekan  $15 - 40 \text{ MPa}$  dan dapat menghantar panas.
- b. Beton ringan  
Merupakan beton dengan berat kurang dari  $1800 \text{ kg/m}^3$ . Nilai kuat tekannya lebih kecil dari beton biasa dan kurang baik dalam menghantarkan panas.
- c. Beton massa  
Beton massa adalah beton yang dituang dalam volume besar yaitu perbandingan antara volume dan luas permukaannya besar. Biasanya dianggap beton massa jika dimensinya lebih dari  $60 \text{ cm}$ .
- d. Beton bertulang  
Beton biasa sangat lemah dengan gaya tarik, namun sangat kuat dengan gaya tekan, batang baja dapat dimasukkan pada bagian beton yang tertarik untuk membantu beton. Beton yang dimasuki batang baja pada bagian tariknya ini disebut beton bertulang.

- e. **Beton prategang**  
Jenis beton ini sama dengan beton bertulang, perbedaannya adalah batangnya baja yang dimasukkan ke dalam beton ditegangkan dahulu . batang baja ini tetap mempunyai tegangan sampai beton yang dituang mengeras. bagian balok beton ini walaupun menahan lenturan tidak akan terjadi retak.
- f. **Beton pracetak**  
Beton biasa dicetak /dituang di tempat. namun dapat pula dicetak di tempat lain, fungsinya di cetak di tempat lain agar memperoleh mutu yang lebih baik. selain itu dipakai jika tempat pembuatan beton sangat terbatas. sehingga sulit menyediakan tempat percetakan perawatan betonnya.
- g. **Beton serat**  
Beton serat adalah beton komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Bahan serat dapat berupa serat asbes, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bamboo, ijuk), serat plastic (*polypropylene*) atau potongan kawat logam.
- h. **Beton non pasir**  
Beton non pasir adalah suatu bentuk sederhana dan jenis beton ringan yang diperoleh menghilangkan bagian halus agregat pada pembuatannya. Rongga dalam beton mencapai 20-25 %.
- i. **Beton siklop**  
Beton ini sama dengan beton biasa, bedanya digunakan agregat dengan ukuran besar-besar. Ukurannya bisa mencapai 20 cm. Namun, proporsi agregat yang lebih besar tidak boleh lebih dari 20 %.
- j. **Beton hampa (*Vacuum Concrete*)**  
Beton ini dibuat seperti beton biasa, namun setelah tercetak padat kemudian air sisa reaksi disedot dengan cara khusus, disebut cara *vakum* (*vacuum method*). Dengan demikian air yang tinggal hanyalah air yang dipakai sebagai reaksi dengan semen sehingga beton yang diperoleh sangat kuat.

k. Mortar

Mortar sering disebut juga mortel atau spesi ialah adukan yang terdiri dari pasir, bahan perekat, kapur dan semen portland.

## 2.2. *Pervious Concrete*

*Pervious concrete* adalah salah satu jenis beton yang permukaannya dapat dilewati oleh air karena memiliki kadar pori yang tinggi atau disebut sebagai beton berongga. *Pervious concrete* termasuk ke dalam jenis beton yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Komposisi campuran beton ini terdiri dari semen Portland, agregat kasar, sedikit atau tidak ada agregat halus, bahan tambahan (*admixture*), dan air. Kombinasi bahan ini ketika ditempatkan, dipadatkan dan dilakukan perawatan dengan benar, menghasilkan bahan dengan permeabilitas yang tinggi dari 81-730 L/min/m<sup>2</sup> bersama dengan kuat tekan 2,8 hingga 28 MPa. Beton pervious ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, meskipun penggunaan utamanya pada area trotoar yang berada di jalan perumahan, gang, jalan masuk, jalan dengan volume lalu lintas rendah, area pertamanan, lahan parkir, lapangan tenis, stabilisasi lereng, sub-base untuk trotoar beton konvensional dll (Pitroda *et al*, 2015).



Gambar 2.1. *Pervious concrete* (Jj Harison, 2016)

Menurut ACI 522R (2010) tingkat kemerosotan (*slump*) pada *pervious concrete* mendekati nol. Jika dibandingkan dengan beton konvensional beton ini memiliki kuat tekan yang terbatas dengan berat unit yang lebih rendah (sekitar 70% dari beton konvensional) tetapi memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi

karena terdapat rongga-rongga sehingga air dapat mengalir kedalam beton dan dapat langsung menyerap kedalam tanah.

*Pervious concrete* memiliki kelebihan dan kekurangan. Adapun kelebihan dari *pervious concrete* adalah sebagai berikut (Aoki, 2009) :

1. Menurunkan kemungkinan adanya banjir, terutama pada area pemukiman.
2. Mengisi kembali air tanah yang telah digunakan.
3. Mengurangi genangan air di jalan.
4. Meningkatkan kualitas air melalui perkolasi.
5. Menyerap suara.
6. Menyerap panas.
7. Mendukung pertumbuhan vegetasi tanaman.

Kelemahan dari *pervious concrete* adalah sebagai berikut:

1. Kuat tekan yang rendah dengan porositas yang tinggi.
2. Memerlukan perawatan yang mahal.
3. Penggunaan yang terbatas karena kuat tekan yang masih lemah.

Penyumbatan yang terjadi pada beton *pervious* menjadi masalah yang sangat signifikan karena dapat menyebabkan penurunan permeabilitas beton dan juga menyebabkan penurunan dari kinerja beton itu sendiri sehingga dibutuhkan perbaikan dan perawatan secara berkala.

Akan tetapi, berdasarkan penelitian sebelumnya karakteristik *pervious concrete* dengan berbagai kecepatan antara ban dan jenis kendaraan, hasil menunjukkan bahwa *pervious concrete* dapat mengurangi kebisingan dari 3% sampai 10% dibandingkan dengan perkerasan aspal padat (Kajio *et al*, 1998). Perbedaan beton berpori dengan beton normal terletak pada :

- a. Penggunaan agregatnya dapat menggunakan agregat kasar saja atau dengan sedikit agregat halus.
- b. Setelah beton mengeras, rasio air semen ( $w/c$ ) harus dijaga sedemikian rupa agar rongga-rongga yang terbentuk tidak tertutup oleh campuran pasta semen yang mengeras. Selain itu juga bertujuan agar butir-butir agregat dapat terikat kuat satu sama lain.

Beton berongga ini memiliki kinerja yang hampir sama seperti drainase yaitu sama-sama sebagai tempat menampung dan mengalirkan air. Ketika air

hujan turun langsung menyusup ke tanah pada daerah yang luas, sehingga memfasilitasi pengisian persediaan air tanah lokal. Perkerasan beton ini memudahkan pemindahan baik air dan udara ke sistem akar yang memungkinkan pohon tumbuh subur bahkan di daerah yang sangat maju.



Gambar 2.2. Lapisan Pada *Pervious Concrete* (Sonebi et al, 2016)

### 2.3. Material Penyusun

Adapun material penyusun *pervious concrete* yang terdiri dari semen *Portland*, agregat kasar, limbah agregat kaca sebagai pengganti sebagian agregat kasar dan *admixture*. Uraian dari material penyusun *pervious concrete* adalah sebagai berikut:

#### 2.3.1. Semen *Portland*

Semen *Portland* adalah bahan yang paling penting digunakan untuk semua jenis konstruksi dan telah diproduksi di seluruh dunia. Produksi semen global tahunan telah mencapai 2,8 miliar ton dan diperkirakan akan meningkat lebih dari 4 miliar ton / tahun karena pertumbuhan besar di berbagai negara, seperti China, India, Timur Tengah dan Afrika Utara (Jani dan Hogland, 2014). Bahan baku untuk produksi semen *Portland* adalah: Terdapat beberapa material penyusun semen *Portland* diantaranya kapur ( $\text{CaO}$ ), silica ( $\text{SiO}_3$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), magnesia ( $\text{MgO}$ ), dan alkali. Penggunaan semen *Portland* di Indonesia harus memenuhi syarat ASTM C-150 yang diadopsi dalam SII. 0013-81. Terdapat sembilan jenis semen *Portland* berdasarkan klasifikasi dan persyaratannya, yaitu sebagai berikut:

1. *Semen Portland* tipe I  
Semen *Portland* tipe I adalah semen normal yang tidak memiliki karakteristik khusus terhadap panas hidrasi maupun kekuatan tekan awal yang tinggi.
2. *Semen Portland* tipe II  
Semen *Portland* tipe II adalah semen yang digunakan pada campuran beton yang membutuhkan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang. Semen jenis ini sering diaplikasikan pada konstruksi beton di pantai, lepas pantai dan rawa.
3. *Semen Portland* tipe III  
Semen *Portland* tipe III semen yang dalam penggunaannya memerlukan kuat tekan awal yang tinggi. Biasanya diaplikasikan pada bangunan tingkat tinggi dan bangunan air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap serangan sulfat.
4. *Semen Portland* tipe IV  
Semen *Portland* tipe IV adalah semen yang menghasilkan panas hidrasi rendah, semen jenis ini sering diaplikasikan pada struktur beton masif seperti dam gravitasi besar.
5. *Semen Portland* tipe V  
Semen *Portland* tipe V semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat tinggi ( $>0,2\%$ ), contohnya pada beton untuk instalasi pengolahan limbah.
6. *SuperMansory Cement*  
*Super Mansory Cement* adalah semen yang dalam penggunaannya hanya pada struktur beton dengan mutu maksimal K-225.
7. *Oil Well Cement, Class G-HSR (High Sulfate Resistance)*  
*Oil Well Cement* adalah semen yang dalam penggunaannya untuk pembuatan sumur minyak dan gas alam untuk pemakaian pada kedalaman dan temperatur tertentu.
8. *Portland Composite Cement (PCC)*  
Berdasarkan SNI-15-7064-2004 dan ASTM C 595-03 semen *Portland* komposit merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan dengan terak semen *portland* dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik dengan kadar total 6 - 35% .

### 9. *Portland Pozzolan Cement (PPC)*

Berdasarkan SNI-15-0302-2004 dan ASTM C 595-03 semen *pozzolan* merupakan campuran antara semen *Portland* dan *pozzolan* halus dalam semen hidrolis, dimana kadar *pozzolan* 6 - 40% massa semen *Portland pozzolan*.

#### 2.3.2. Air

Air merupakan bahan dasar yang penting dalam pembuatan beton. Penggunaan air diperlukan agar dapat bereaksi dengan semen, serta menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat sehingga memudahkan dalam pengerjaan (*workability*) dan pemadatan.

Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih, tidak mengandung minyak, alkali, asam, zat organis atau bahan lain yang merusak kinerja beton. Air bereaksi dengan semen menghasilkan CSH dan CaOH. Kadar CaOH dapat merusak tulangan pada beton. Maka, untuk meminimalisir adanya kadar CaOH, air yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat tertentu. Berdasarkan ASTM C 1602 (2006) kriteria kandungan zat kimia yang terdapat dalam air dengan batasan tingkat konsentrasi tertentu dalam adukan beton, dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1. Batasan maksimum kandungan zat kimia dalam air (ASTM C1602, 2006)

| No. | Kandungan unsur kimia                               | Konsentrasi maksimum (ppm) |
|-----|---|----------------------------|
|     | Chlorida (Cl <sup>-</sup> ):                        |                            |
| 1.  | Untuk beton prategang                               | 500                        |
|     | Untuk beton bertulang                               | 1.000                      |
| 2.  | Sulfat (SO <sub>4</sub> )                           | 3.000                      |
| 3.  | Alkali (Na <sub>2</sub> O + 0,658 K <sub>2</sub> O) | 600                        |
| 4.  | Total Solid   | 50.000                     |

#### 2.3.3. Agregat Kasar

Agregat sebagai material penyusun berfungsi sebagai pengisi dalam campuran beton. Menurut ACI 522R (2010) bahwa gradasi agregat yang digunakan dalam *pervious concrete* biasanya berupa agregat kasar berukuran tunggal antara gradasi 3/4inci dan 3/8 inci (19 dan 9,5 mm). Agregat bulat dan

hancur baik untuk dengan berat yang ringan dan normal untuk digunakan membuat beton *pervious*.

Menurut ASTM C33 dan PBI 1971 Bab 3.4 agregat kasar harus memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Kekerasan dari butir-butir agregat diperiksa dengan bejana penguji dari *Rudeloff*, atau dengan mesin pangaus *Los Angeles* dimana tidak boleh kehilangan berat lebih dari 50%.
2. Berat jenis (*specific Gravity*)  
Pengujian berat jenis agregat kasar ditujukan untuk mendapatkan *Bulk specific gravity*, *Bulk specific gravity SSD*, *Apparent specific gravity* dan *Absorbtion*. Nilai *Bulk specific gravity SSD* agregat kasar yang disyaratkan 2,5-2,7 gr/cc.
3. Terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori. Kerikil yang berpori akan mudah menghasilkan beton yang mudah ditembus air. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai jika jumlah butirannya tidak melebihi 20% berat agregat seluruhnya.
4. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila lebih dari 1% maka agregat kasar harus dicuci terlebih dahulu.

Aoki (2009) mengemukakan bahwa beton *pervious* ini sangat sensitif dengan jumlah air yang di gunakan dalam pencampuran. Oleh karena itu, untuk menghindari kelebihan dan kekurangan air pada campuran *pervious concrete* penggunaan agregat kasar harus dalam keadaan SSD atau *saturated surface-dry condition* (Tennis et al, 2007). Dalam menentukan porositas sebagai karakteristik dari beton *pervious*, agregat halus dihindari atau digunakan dengan jumlah yang sangat sedikit.

#### **2.3.4. Admixture**

Bahan campuran tambahan (*admixture*) adalah bahan yang bukan air, agregat, maupun semen, yang ditambahkan ke dalam campuran beton sesaat atau selama pencampuran. Fungsi bahan campuran tambahan tersebut adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, atau ekonomis, atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi. Bahan tambah

pemercepat ditambahkan ke dalam campuran beton untuk mengurangi waktu pengeringan dan mempercepat pencapaian kekuatan. (Nawy, 1990). Bahan tambahan (*admixture*) pada beton terbagi menjadi 2 yaitu *chemical admixture* dan *mineral admixture* sebagai berikut :

#### **2.3.4.1. Chemical Admixture**

Mengacu pada klasifikasi ASTM C494-82, dikenal 7 jenis *chemical admixture* sebagai berikut :

- a. Tipe A : *Water Reducer (WR)* atau *plasticizer*.

Bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang digunakan. Dengan pemakaian bahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama, atau diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen yang sama.

- b. Tipe B : *Retarder*

Bahan kimia untuk memperlambat proses ikatan beton. Bahan ini diperlukan apabila dibutuhkan waktu yang cukup lama antara pencampuran/pengadukan beton dengan penuangan adukan. Atau dimana jarak antara tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan cukup jauh.

- c. Tipe C : *Accelerator*

Bahan kimia untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan jika penuangan adukan dilakukan dibawah permukaan air, atau pada struktur beton yang memerlukan pengerasan segera.

- d. Tipe D : *Water Reducer Retarder (WRR)*

Bahan kimia tambahn berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan.

- e. Tipe E : *Water Reducer Accelerator*

Bahan kimia tambahan berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan.

- f. Tipe F : *High Range Water Reducer (Superplasticizer)*

Bahan kimia yang berfungsi mengurangi air sampai 12 % atau bahkan lebih.

g. Tipe G : *High Range Water Reducer (HRWR)*

Bahan kimia tambahan berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

Penggunaan bahan tambah kimia pada *pervious concrete* sangat diperlukan untuk meningkatkan kuat tekan pada saat kondisi beton segar. Bahan tambah kimia tersebut berupa *superplasticizer*. Menurut ASTM C494 dan *British Standard 5075*, *Superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan pengurang kandungan air (*water-reducing admixture*) yang sangat efektif. Walaupun kandungan air dalam beton mengalami pengurangan, dengan bahan tambah ini tingkat kemudahan dalam pengerjaannya (*workability*) menjadi lebih tinggi. Dari hasil studi Lian et al. (2010) menyelidiki bahwa jika sejumlah kecil *superplasticizer* yang ditambahkan pada campuran yang mengandung *silica fume*, baik permeabilitas dan kuat tekan *pervious concrete* ditingkatkan.

#### **2.3.4.2. Mineral Admixture**

Bahan tambah mineral berfungsi untuk memperbaiki karakteristik dan sifat pada beton segar. Adapun contoh dari bahan tambahan mineral yang sering digunakan antara lain, *fly ash*, *silica fume*, dan *slag*.

*Silica fume* adalah hasil produksi sampingan dari pemurnian silika dengan batu bara di tanur listrik tinggi dalam pembuatan campuran silikon atau ferrosilikon (ACI 234R, 1996). Selain itu, *silica fume* adalah partikel kecil yang memiliki ukuran kurang dari 0,1 mikrometer. Ukurannya lebih kecil dari ukuran *Portland cement* pada umumnya, sehingga *silica fume* dapat mengisi ruang pada beton. *Silica fume* mengandung kadar SiO<sub>2</sub> yang tinggi dan merupakan bahan yang sangat halus, bentuk bulat dan berdiameter yang sangat kecil sekali yaitu 1/100 kali diameter semen (ACI, Committee, 1986 dan Modul Silica). Bahkan, *American Concrete Institute (ACI)* memperkirakan bahwa ketika semen diganti 15% *silica fume* dalam beton, ada sekitar 2.000.000 butir *silica fume* untuk setiap butir semen (*American Concrete Institute*, 1996). Sehingga *silica fume* dalam jumlah tertentu dapat menggantikan jumlah semen, selain itu juga karena *silica fume* mempunyai diameter sangat kecil, maka *silica fume* dapat juga berperan sebagai pengisi diantara partikel-partikel semen.

Selama bertahun-tahun, *silica fume* (*smoke*) dibiarkan terbang di atmosfer. Sekarang, *silica fume* di tangkap agar tidak terbang ke atmosfer sehingga bisa dimanfaatkan (Holland, 2005). *Silica fume* bersifat amorf dan memiliki kandungan silika oksida yang sangat tinggi sekitar 85 - 98 % (Holland, 2005). Dengan adanya sifat amorf ini *silica fume* dapat bereaksi dengan sangat baik pada campuran beton. Kandungan SiO<sub>2</sub> dalam *silica fume* akan bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen pada saat proses pembentukan senyawa kalsium silikat hidrat (CSH) yang berpengaruh dalam proses pengerasan semen.

Pemilihan penggunaan *silica fume* sebagai *mineral admixture* pada campuran beton memiliki keunggulan-keunggulan diantaranya sebagai berikut :

1. Meningkatkan kuat tekan beton;
2. Meningkatkan kuat lentur beton;
3. Memperbesar modulus elastisitas beton;
4. Mengecilkan regangan beton;
5. Meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan unsur kimia;
6. Mencegah reaksi *alkali silika* dalam beton;
7. Meningkatkan kepadatan (density) beton;
8. Meningkatkan ketahanan terhadap abrasi dan korosi;
9. Menyebabkan temperatur beton menjadi lebih rendah sehingga mencegah terjadinya retak pada beton

Berdasarkan spesifikasi dari *Silica Fume Association* (2005), sifat fisik *silica fume* dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Sifat-sifat fisik *silica fume* (*Silica Fume Association*, 2005)

| Sifat                   | Spesifikasi                          |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Ukuran butiran          | < 1 $\mu\text{m}$                    |
| Berat volume produksi   | 130 – 430 $\text{kg/m}^3$            |
| Berat volume dipadatkan | 480 – 720 $\text{kg/m}^3$            |
| Berat jenis             | 2,2                                  |
| Luas permukaan          | 15.0 – 30.000 $\text{m}^2/\text{kg}$ |

## 2.4. Penelitian Terdahulu

### 2.4.1. Pemanfaatan *Waste Glass Aggregate* Sebagai Substitusi Agregat pada *Pervious Concrete*

Kaca adalah campuran yang terdiri dari silika, soda dan kapur. Berdasarkan komposisi utama, kaca dapat diklasifikasikan ke dalam kategori berikut: silika vitreous, silikat alkali, gelas soda-kapur, gelas borosilikat, gelas barium, dan kaca aluminosilikat. Gelas soda-kapur terdiri dari kurang lebih 73% SiO<sub>2</sub>, 13-13% Na<sub>2</sub>O dan 10% CaO. Kaca terbentuk secara alami ketika batu tinggi di silikat meleleh pada suhu tinggi dan pada suhu rendah sebelum membentuk struktur Kristal ( Bajad et al, 2016).

Berdasarkan studi Fikkriansyah dan Tanzil (2013) mengemukakan bahwa dengan bahan mentah yang berlimpah dan ekonomis, kaca memiliki banyak keunggulan yang tahan terhadap abrasi, cuaca, atau serangan kimia, karena dalam kandungan kaca memiliki persentase kandungan silika yang cukup tinggi, sehingga dalam perkembangannya kaca dapat digunakan sebagai alternatif bahan pembuatan beton

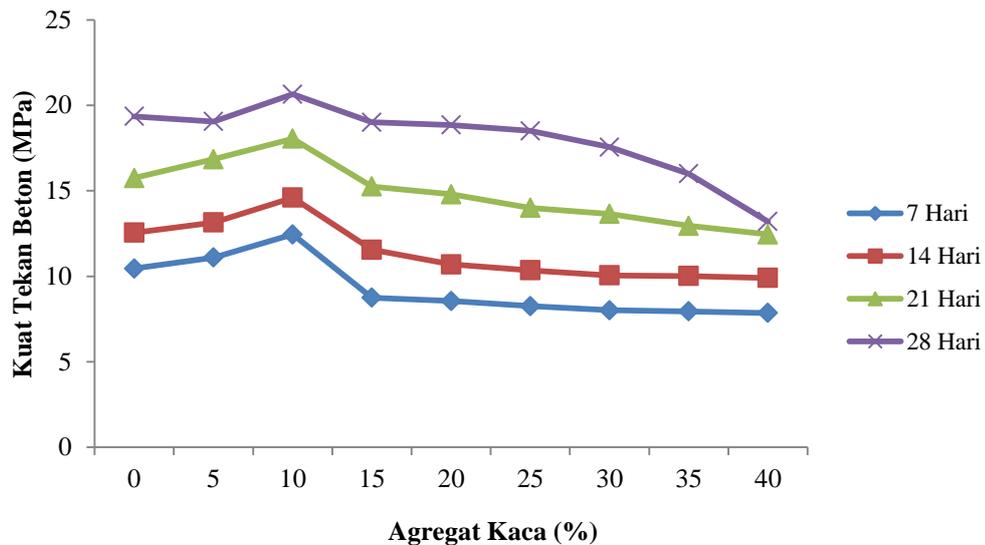
Karena pembuangan limbah kaca yang tinggi, penggunaan kaca sebagai agregat beton telah menarik perhatian peneliti. Pemanfaatan limbah kaca sebagai agregat ini diterapkan dalam pembangunan jalan dan juga digunakan untuk produksi ubin kaca, panel dinding, batubata, fiber glass, pertanian pupuk lansekap manik-manik reflektif dan pecah (Reindl, 1998). Adapun sifat fisik pada kaca dapat dilihat pada tabel 2.6 sebagai berikut.

Tabel 2.4. Sifat Fisik Kaca (Ismail dan Al-Hashmi, 2009)

| No | Sifat fisik             | Spesifikasi |
|----|-------------------------|-------------|
| 1. | <i>Specific gravity</i> | 2,19        |
| 2. | <i>Density</i>          | 1672        |
| 3. | <i>Absorption</i>       | 0,39        |
| 4. | <i>Pozzolanic index</i> | 80          |

Pada hasil penelitian dari Wisnuseputro (2009) bahwa pada kadar *waste glass agrgregate* dengan kadar 0%, 10%, 20%, 30%, dan 50% mendapatkan hasil kuat tekan yang tertinggi pada kadar *waste glass aggregate* 10% yaitu 35,32 MPa.

Penelitian tentang kadar variasi penambahan *waste glass as coarse aggregate* dibutuhkan untuk mengetahui kadar optimum penggunaannya. Berikut hasil kuat tekan berdasarkan penelitian Eme dan Ekwulo (2018) dengan menggunakan penambahan *waste glass* 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% dan 40% dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi limbah kaca sebagai agregat kasar

Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan meningkat dengan penambahan 5% dan 10% pada umur 7 dan 28 hari. Pada variasi 5% mengalami peningkatan sebesar 6,2% sedangkan pada variasi 10% terjadi peningkatan sebesar 19,1%.

Selain itu pula penggunaan kaca sebagai substitusi sebagian agregat kasar dalam campuran *pervious concrete* diharapkan dapat menghasilkan beton dengan berat jenis yang ringan.

Adapun penelitian yang dilakukan oleh Srivastava (2014) pada penelitiannya menggunakan *waste glass* sebagai pengganti sebagian agregat kasar dengan variasi persentase kadar 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Kuat tekan optimum yang dihasilkan berada pada kadar *waste glass* 10% yaitu sebesar 31 MPa. Namun seiring dengan penambahan kadar lebih dari 10% mengalami penurunan kuat tekan secara terus menerus.

#### 2.4.2. Pengaruh Penambahan *Silica Fume* pada *Pervious Concrete*

Berdasarkan penelitian terdahulu yang berhubungan dengan pengaruh penambahan bahan tambah mineral *silica fume* pada campuran beton sudah banyak dilakukan. *Silica fume* sebagai bahan semen dapat bereaksi dengan NaOH dan menghasilkan CSH yang berfungsi sebagai pengikat pada beton. Dikarenakan sifat dan karakteristik utama dari beton *pervious concrete* adalah permeabilitasnya tinggi, maka dalam menggunakan bahan tambahan mineral jumlahnya harus dibatasi.

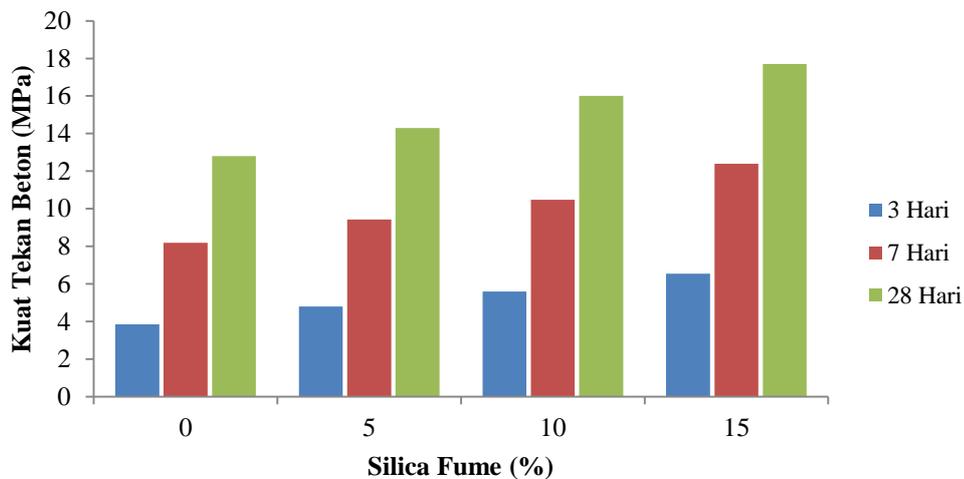
Dari hasil studi yang dilakukan oleh Patel et al. (2014) menyelidiki sifat *pervious concrete* dengan mengganti konten semen dengan 20% *fly ash* dan 10% *silica fume*. Patel menggunakan rasio a/c 4: 1 dan rasio w/c 0,30, 0,35 dan 0,40. Patel menyimpulkan bahwa kuat tekan, kuat lentur dan perpecahan tarik kekuatan meningkat apabila w/c 0,30 ke 0,40 tetapi permeabilitas akan mengalami penurunan jika mengandung 20% *fly ash* dan 10% *silica fume*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Subramani, et al (2018) dengan menggunakan kadar 10% *silica fume* dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 36,6 N/mm dibandingkan dengan kuat tekan beton konvensional yaitu 33,65 N/mm pada umur 28 hari. Dan untuk hasil rata-rata nilai koefisien permeabilitas yaitu sebesar 0,165 cm/s.

Adapun penelitian yang juga dilakukan oleh Navada, et al (2018) tentang pengaruh variasi pada presentase *silica fume* pada campuran *pervious concrete* yaitu sebanyak 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Dengan pengujian kuat tekan yang dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari dan pengujian permeabilitas. Data hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5. Data hasil uji kuat tekan beton dengan variasi *silica fume*

| <i>Silica Fume</i><br>(%) | Kuat Tekan Beton (MPa) |        |         | Porositas<br>(%) |
|---------------------------|------------------------|--------|---------|------------------|
|                           | 3 Hari                 | 7 Hari | 28 Hari |                  |
| 0                         | 3.84                   | 8.19   | 12.8    | 16.6             |
| 5                         | 4.79                   | 9.43   | 14.3    | 16.3             |
| 10                        | 5.6                    | 10.8   | 16.0    | 16.1             |
| 15                        | 6.55                   | 12.39  | 17.7    | 15.8             |

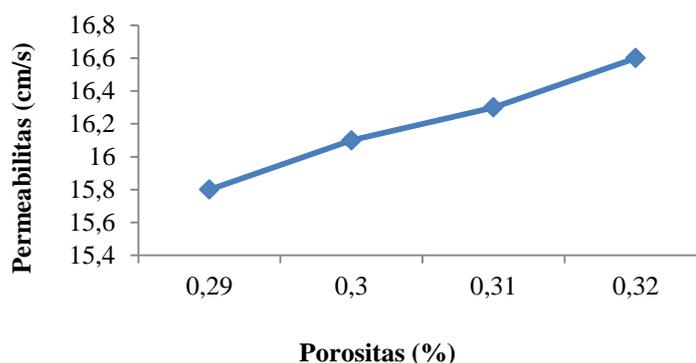


Gambar 2.4. Hubungan antara kuat tekan beton dan variasi *silica fume*

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton terlihat bahwa dengan seiring penambahan kadar *silica fume* 0%, 5%, 10%, dan 15% pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan beton. Pada kadar *silica fume* 15% dengan umur 28 hari memiliki kuat tekan optimum yaitu sebesar 17,7 MPa. Hal ini disebabkan karena mengingat kinerja dari bahan tambahan *silica fume* dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Tabel 2.6. Data hasil pengujian permeabilitas dengan variasi kadar *silica fume*

| <i>Silica fume</i> (%) | Porositas (%) | Permeabilitas (cm/sec) |
|------------------------|---------------|------------------------|
| 0                      | 16.6          | 0.32                   |
| 5                      | 16.3          | 0.31                   |
| 10                     | 16.1          | 0.30                   |
| 15                     | 15.8          | 0.29                   |



Gambar 2.5. Hubungan antara permeabilitas dan porositas terhadap variasi *silica fume*

Dalam penelitian ini, nilai permeabilitas ditentukan oleh Metode *Falling Head*. Dapat dilihat bahwa ketika semen diganti oleh *silica fume* tidak ada banyak variasi dalam permeabilitas. Beton pervious normal dengan 0% *silica fume* memiliki nilai permeabilitas paling optimum yaitu sebesar 0,32 cm/s.

Menurut penelitian Olafsson (1989) bahwa beton yang mengandung 5 hingga 10 persen *silica fume* telah berhasil digunakan di Islandia sejak tahun 1979 untuk mengontrol ekspansi ASR.

Pada hasil studi yang dilakukan oleh Al-Shafi'i, et al (2018) menyimpulkan bahwa pada setiap penambahan kadar *silica fume* 10%, 15% dan 20% mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Kuat tekan tertinggi pada kadar *silica fume* 20% mencapai 31 MPa. Seiring dengan meningkatnya hasil uji kuat tekan maka hasil nilai permeabilitas pada penelitian ini mengalami penurunan pada kadar *silica fume* 20% mencapai 2,286 cm/s.

#### 2.4.3. Rasio Perbandingan Air Terhadap Semen

Rasio air semen merupakan salah satu parameter yang paling penting dalam menentukan perbandingan antara jumlah air dan semen dalam suatu campuran beton. Semakin tinggi nilai w/c yang digunakan maka tingkat kemudahan dalam pengerjaan campuran semakin mudah tetapi kuat tekan beton menurun, begitupun sebaliknya jika semakin rendah w/c maka kemudahan dalam pengerjaan campuran semakin sulit dan kuat tekan beton meningkat.

Tennis *et al.* (2004) menunjukkan bahwa tidak ada hubungan yang jelas antara kekuatan dan rasio w/c untuk *pervious concrete* karena total volume pasta kurang dari volume pori dalam beton ini. Oleh karena itu, pasta dalam beton berpori ini tidak selalu menyebabkan meningkatkan kekuatan.



Gambar 2.6. Sampel *pervious concrete* dengan jumlah air yang berbeda kemudian dibentuk menjadi bola: (a) terlalu sedikit air, (b) jumlah air yang tepat atau optimal, dan (c) terlalu banyak air (Tennis *et al.*, 2004)

Menurut Kevern *et al.* (2009) Untuk w/c kurang dari 0,27 dapat mengakibatkan kemampuan kerja yang sangat rendah untuk beton ini. Tetapi di sisi lain, rasio air semen tinggi selain kuat tekan yang menurun juga dapat menyebabkan campuran pasta yang berlebihan sehingga campuran antara pasta dan agregat terpisahkan di bagian bawah cetakan (*segregasi*) sehingga menyebabkan permeabilitas lebih rendah karena tertutupnya pori di salah satu sisi beton. Adapun kisaran atau rentang material yang digunakan dalam *pervious concrete* dapat dilihat pada table 2.5 Sebagai berikut.

Tabel 2.7. Kisaran proporsi material yang digunakan dalam *pervious concrete* (ACI 522R, 2010)

|  | Proportions, lb/yd <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--|--|
| Cementitious materials                 | 450 to 700 (270 to 415)                              |
| Aggregate                              | 2000 to 2500 (1190 to 1480)                          |
| w/c by mass                            | 0.27 to 0.34   |
| Aggregate : cement ratio, by mass      | 4 to 4:5:1   |
| Fine : Course aggregate ratio, by mass | 0 to 1:1   |

## 2.5. Pengujian Beton

Beberapa pengujian beton mengacu dan berpedoman terhadap standar-standar yang telah diatur dalam ASTM. Pengujian beton bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suatu sampel beton yang telah dibuat. Beberapa pengujiannya adalah sebagai berikut :

### 2.5.1. Pengujian *Slump*

Untuk menentukan kelecakan pada suatu campuran beton maka diperlukan uji *slump*. Berdasarkan standar ACI 522R (2010) tingkat kemerosotan (*slump*) pada *pervious concrete* mendekati nol atau sekitar 20 mm. Dari hasil studi Tennis *et al.* (2004) menunjukkan bahwa penilaian dari tingkat kelecakan (*workability*) dapat terlihat dengan membentuk campuran *pervious concrete* menjadi sebuah bola dengan menggunakan telapak tangan. Dari hasil penilaian tingkat kelecakan tersebut berpengaruh terhadap jumlah kadar air yang digunakan dalam campuran. Terjadinya perubahan kandungan air sangat sensitif pada *pervious concrete*, maka dari itu sangat diperlukannya kuantitas air yang benar. Dikatakan sensitif karena apabila *pervious concrete* terlalu banyak air dapat menyebabkan terjadinya segregasi tetapi terlalu sedikit air dapat mengurangi *workability* (kemudahan dalam pengerjaan) sehingga terjadi kesulitan pada pencampuran menggunakan *mixer* (Obla, 2007). Ketika beton ditempatkan dan dipadatkan, agregat saling melekat erat satu sama lain dan menunjukkan matriks yang terbuka. Secara umum kerapatannya berkisar 100 lb/ ft<sup>3</sup> hingga 125 lb/ft<sup>3</sup> (1600 kg/m<sup>3</sup> hingga 2000 kg/m<sup>3</sup>). Tingkat infiltrasi (*permeabilitas*) dari *pervious concrete* akan bervariasi dengan ukuran agregat dan kepadatan campuran, tetapi akan jatuh ke kisaran 80 hingga 720 ltr/menit/m<sup>3</sup>. *Slump* yang disarankan pada *pervious concrete* pada umumnya lebih kecil dari 3/4 in (20 mm) (Obla, 2007).

Selain daripada itu, metode pengujian *slump test* dapat juga mengacu pada ASTM C143. Adapaun peralatan uji *slump* yaitu dengan menggunakan pan yang berukuran 50 cm x 50 cm, tongkat pemadat dengan ukuran 40 cm, dan kerucut (*slump cone*) dengan kedua sisi atas dan bawah kerucut terbuka. Dengan masing-masing dimensi pada sisi atas 10 cm dan sisi bawah 20 cm sedangkan tingginya berukuran 30 cm. Dengan menggunakan peralatan tersebut metode pengujian

slump nya dilakukan dengan melembabkan kerucut dan alat lainnya. Selanjutnya letakkan kerucut tersebut di atas plat baja pada permukaan yang datar, lembab, tidak menyerap dan kaku. Isi cetakan kerucut tersebut sebanyak 1/3 lapisan kemudian ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali tusukan dengan menggunakan tongkat pemadat. Ulangi prosedur tersebut sebanyak tiga kali pemadatan dengan ukuran yang sama hingga penuh. Setelah ditusuk, selanjutnya angkat kerucut tersebut untuk dilakukan pengukuran kemerosotan beton dengan menggunakan alat ukur berupa mistar atau rolmeter.

### 2.5.2. Kuat Tekan Beton

Metode pengujian kuat tekan *pervious concrete* sama seperti beton konvensional pada umumnya, namun hasil kuat tekan yang didapat *pervious concrete* memiliki kuat tekan yang relatif kecil dibandingkan beton normal. kuat tekan *pervious concrete* umumnya berkisar antara 400 – 400 psi atau 2,8 – 28 MPa. Hal yang biasanya mempengaruhi kuat tekan *pervious concrete* terletak pada komposisi material penyusunnya serta pemadatan pada proses pengecoran (ACI 522R, 2010)..

Kuat tekan yang digunakan dalam desain struktural perkerasan *pervious concrete* ditentukan berdasarkan ASTM C39 (2003). *Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens* dengan perhitungan untuk pengujian penkekuatan tekan beton terlihat pada Persamaan 2.1.

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

$f_c'$  = kuat tekan (N/mm<sup>2</sup>)

P = gaya (N)

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

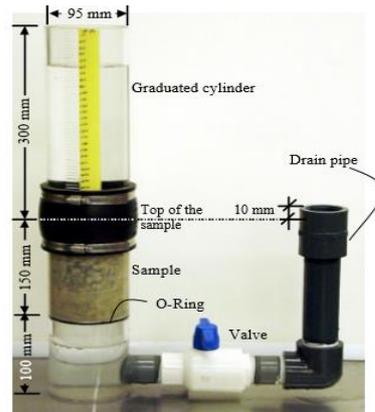
### 2.5.3. Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan yang dimiliki oleh suatu zat untuk meloloskan sejumlah partikel berupa air yang dapat menembus atau melaluinya.

Metode yang digunakan untuk menguji permeabilitas *pervious concrete* adalah dengan menggunakan alat uji *falling head* dan diperkirakan berdasarkan hukum Darcy. Permeabilitas merupakan parameter penting yang digunakan dalam desain hidrologi beton *pervious*. Tingkat permeabilitas dari *pervious concrete* akan bervariasi dengan ukuran agregat dan kepadatan campuran, Berdasarkan ACI 522R (2010) nilai permeabilitas biasanya akan jatuh dalam kisaran 2 hingga 18 gal/min ft<sup>2</sup> (81-730 L / min / m<sup>2</sup>) atau 192 -1724 in / h (0,14 hingga 1,22 cm /s).

Alat uji permeabilitas dapat dilihat pada gambar 2.7 Bagian-bagian *falling head* terdiri dari tabung akrilik atau tabung transparan sepanjang 300 mm dan diameter dalam 95 mm, tabung akrilik ini berfungsi untuk memantau ketinggian air pada saat pengujian dilakukan. Dibawah tabung diletakkan sampel dengan ketinggian 150 mm dan diatas dan bawah sampel tersebut terdapat tabung dengan diameter dalam 95 mm sehingga benda uji atau sampel dapat diletakkan pada cincin O dengan jarak 100 mm dari bawah. Untuk menghubungkan bagian bawah tabung ke pipa vertikal terdapat katup memiliki diameter 50 mm sehingga air dapat mengalir keluar. Di atas permukaan benda uji untuk bagian atas pipa vertikal diletakkan 10 mm sehingga tidak ada aliran tak jenuh yang terjadi selama pengujian berlangsung.

Sebelum dilakukan pengujian, siapkan membran lateks untuk menyelimuti seluruh bagian benda uji benda kemudian diikat menggunakan pengikat karet sehingga tidak ada ruang keluarnya air selain pada pipa uji. Siapkan air untuk ditambahkan ke tabung akrilik untuk mengisi sel benda uji dan pipa pembuangan hingga penuh agar dapat menghilangkan gelembung udara pada benda uji dan memastikan benda uji itu benar-benar jenuh dari udara. Kemudian tutup katup air dan masukkan air hingga garis ukur mencapai 290 mm ( $h_1$ ). Lalu buka katup dan hitung berapa waktu dalam detik ( $t$ ) yang dibutuhkan untuk air jatuh dari kepala awal 290 mm ( $h_1$ ) ke kepala akhir 70 mm ( $h_2$ ). Prosedur percobaan ini diulang tiga kali, dan nilai rata-rata  $t$  yang digunakan.



Gambar 2.7. Alat uji permeabilitas (Neithalath *et al*, 2003)

Koefisien permeabilitas (K) dihitung menurut hukum Darcy. Persamaan hukum Darcy yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$k = \frac{A_1 l}{A_2 t} \log \left[ \frac{h_1}{h_2} \right] \quad (2.2)$$

dimana:

$A_1$  = luas penampang benda uji ( $\text{cm}^2$ )

$A_2$  = luas penampang tabung ukur ( $\text{cm}^2$ )

$t$  = waktu air mengalir (s)

$l$  = tinggi benda uji (cm)

$h_1$  = ketinggian air awal (cm)

$h_2$  = ketinggian air akhir (cm)

Untuk geometri spesimen tertentu, koefisien permeabilitas (K) dapat diolah menggunakan metode kecepatan aliran (Persamaan 2.3).

$$k = \frac{s}{t} \quad (2.3)$$

dimana:

$s$  = jarak permukaan air ke ujung sampel (cm)

$t$  = waktu air mengalir (s)

Adapun kisaran atau rentang pengujian pada *pervious concrete* berdasarkan standar ACI 522R-10 dapat ditabulasikan pada tabel 2.6 Sebagai berikut.

Tabel 2.8. Kisaran hasil pengujian yang digunakan dalam *pervious concrete* (ACI522R, 2010)

| Komponen Pengujian | Nilai persyaratan |
|--------------------|-------------------|
| Slump              | 0 - 20 mm         |
| Kuat Tekan         | 2.8 - 28 Mpa      |
| Permeabilitas      | 0,14 - 1,22 cm /s |

## 2.6. Perawatan Beton

Pelaksanaan perawatan beton dilakukan pada saat beton mulai mengeras, yaitu ketika saat setelah dilakukan pembongkaran bekisting beton dengan durasi tertentu atau pada umur beton memasuki 7 hari pertama untuk memastikan kondisi yang terjaga agar dapat diperlukan untuk proses reaksi senyawa kimia yang terkandung dalam campuran beton. Perawatan beton *pervious* sama seperti beton konvensional. Adapun jenis-jenis perawatan (*curing*) pada beton diantaranya yaitu penyiraman, perendaman, pelapisan (*wet covering*), *steam curing*, *liquid membrane*, dan lain-lain. Tetapi, saat ini proses *curing* pada *pervious concrete* belum ada standar metode perawatan selain itu juga kurangnya referensi dalam mengevaluasi keefektifan dari proses perawatan. Proses *curing* pada beton memainkan peran penting pada pengembangan kekuatan dan daya tahan beton. Proses *curing* ini meliputi pemeliharaan kelembaban dan kondisi suhu, baik dalam beton maupun di permukaan beton dalam periode waktu tertentu. Secara umum tujuan perawatan beton adalah sebagai berikut :

- Menjaga beton dari kehilangan air semen yang banyak pada saat-saat *setting time concrete*.
- Menjaga perbedaan suhu beton dengan lingkungan yang terlalu besar.
- Stabilitas dari dimensi struktur.
- Mendapatkan kekuatan beton yang tinggi.

- Menjaga beton dari kehilangan air akibat penguapan pada hari-hari pertama dan menjaganya dari keretakan.

Agar hidrasi pada beton terjadi secara optimal maka lakukan perawatan dengan tepat dan sesuai dengan prosedur, tetapi jika perawatan tidak dilakukan dengan benar maka ikatan agregatnya dapat mudah lepas. Seperti halnya dalam perawatan *pervious concrete* dengan metode perendaman maupun *steaming*. Adapun prosedur atau metode *curing* dijelaskan dalam ASTM C31 dimana saat umur beton dalam waktu 48 jam beton harus dijaga agar tetap dalam suhu 60 dan 80°F (16 dan 27°C). Alat pemanas maupun pendingin di laboratorium dapat digunakan untuk pengaturan suhu. Setelah itu masukkan sampel atau benda uji ke dalam tanki air atau ruang yang lembab dengan suhu  $73\pm 3^\circ\text{F}$  ( $23\pm 2^\circ\text{C}$ ) untuk dilakukan perawatan.