

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. **Beton**

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air yang membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang, satu atau lebih bahan tambah ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan (McCormac, 2000).

Beton segar yang baik adalah beton segar yang dapat diaduk, diangkut, dituang, dapat dipadatkan, tidak ada kecenderungan untuk terjadi pemisahan kerikil dari adukan maupun pemisahan air dan semen dari adukan. Beton keras yang baik adalah beton yang kuat, tahan lama, kedap air, tahan aus, dan kembang susutnya kecil (Tjokrodimulyo 1996).

Nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% saja dari kuat tekannya (Dipohusodo, 1996).

Beton dalam keadaan mengeras mempunyai nilai kuat tekan yang tinggi. Dalam keadaan segar beton mudah dibentuk dan sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu beton juga tahan terhadap korosi. Secara umum kelebihan dan kekurangan beton sebagai berikut (Mulyono, 2005).

1. Kelebihan beton
 - a. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
 - b. Mampu memikul beban yang berat.
 - c. Tahan terhadap temperatur yang tinggi.
 - d. Biaya pemeliharaan yang kecil.
2. Kekurangan beton
 - a. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
 - b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
 - c. Berat.
 - d. Daya pantul suara besar.

2.2. Bahan Penyusun Beton

2.2.1. Air

Air adalah bahan yang diperlukan pada campuran beton agar bereaksi dengan semen dan menjadi pelumas agregat sehingga mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang dibutuhkan untuk mereaksikan semen hanya sekitar 30% dari berat semen (Tjokodimuljo, 1996).

Syarat air yang baik untuk dapat direaksikan dalam pembuatan beton dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat oleh mata.
3. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gr/lt.

4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton lebih dari 5 gr/lt.

2.2.2. Agregat Kasar

Menurut Mulyono (2005) agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirannya lebih besar dari 4,8 mm. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil (koral) sebagai hasil pembentukan alami dari batuan atau berupa batu pecah (*split*) yang diperoleh dari pemecahan (*Stone Crusher*). Ukuran maksimal agregat kasar dibagi menjadi 3 golongan yaitu gradasi agregat dengan butir maksimum 40 mm, 20 mm, dan 10 mm. Ukuran maksimal agregat dapat diketahui melalui analisa saringan terhadap agregat kasar.

Menurut SK SNI S-04-1989-F, agregat kasar yang digunakan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

1. Terdiri dari butiran-butiran keras dan tidak berpori
2. Kerikil yang mengandung butir-butir pipih dan panjang tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya.
3. Batu tidak boleh pecah atau hancur oleh pengaruh perubahan cuaca yaitu terik matahari dan hujan.
4. Tidak mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila lebih dari 1% maka harus dicuci.
5. Tidak mengandung zat-zat yang dapat merusak beton.

2.2.3. Agregat Halus

Menurut Mulyono (2005) agregat halus adalah agregat dengan ukuran lebih kecil dari 4,8 mm. Agregat halus dapat berupa pasir alam (hasil pembentukan alami dari batuan-batuan) atau pasir buatan (dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu).

Menurut SK SNI 04-1989-F, agregat halus yang digunakan harus memenuhi syarat sebagai berikut.

1. Terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras.
2. Butirannya harus tidak pecah atau hancur oleh pengaruh perubahan cuaca yaitu terik matahari dan hujan.
3. Tidak mengandung kumpur lebih dari 5%. Bila kadar lumpur melebihi 5% maka harus dicuci.
4. Tidak mengandung bahan-bahan organik karena dapat mengadakan reaksi dengan senyawa-senyawa semen portland sehingga mengurangi kualitas adukan betonnya.
5. Tidak mengandung pasir laut karena dapat mengakibatkan korosi pada tulangan baja.
6. Mempunyai modulus elastisitas (E) antara 1,5 - 3,8.

2.2.4. Semen Portland

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu 8

atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lainnya (SNI-15-2049-2004).

Semen dibedakan menjadi beberapa tipe, berdasarkan penggunaannya. Jenis semen berdasarkan kegunaannya dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Jenis I, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada semen jenis lain.
2. Jenis II, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi yang rendah
5. Jenis V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi terhadap sulfat.

2.3. Penggunaan Kaca Dalam Bidang Konstruksi

Kaca adalah salah satu produk industri kimia yang paling akrab dengan kehidupan kita sehari-hari. Dipandang dari segi fisika, kaca merupakan zat cair yang sangat dingin. Disebut demikian karena struktur partikel – partikel penyusun kaca saling berjauhan seperti dalam zat cair, namun kaca sendiri berwujud padat. Ini terjadi akibat proses pendinginan (*cooling*) yang sangat cepat, sehingga partikel – partikel silika tidak "sempat" menyusun diri secara teratur. Dari segi kimia, kaca

adalah gabungan dari berbagai oksida an-organik yang tidak mudah menguap yang dihasilkan dari dekomposisi dan peleburan senyawa alkali dan alkali tanah, pasir, serta berbagai bahan penyusun lainnya (Dian, 2011).

Kaca memiliki sifat – sifat yang khas dibanding dengan golongan keramik lainnya. Kekhasan sifat kaca ini terutama dipengaruhi oleh keunikan silika (SiO_2) dan proses pembentukannya. Karakteristik dari kaca dalam pembuatan beton dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Kaca merupakan bahan yang tidak menyerap air atau *zero water absorption*.
2. Sifat kaca yang tidak menyerap air dapat mengisi rongga-rongga pada beton secara maksimal, sehingga beton bersifat kedap air.
3. Kaca dalam hal ini adalah serbuk kaca mempunyai sifat sebagai *pozzoland* yang dapat meningkatkan kuat tekan dari beton.
4. Kaca tidak mengandung bahan yang berbahaya, sehingga pada saat pengerjaan beton aman bagi manusia.
5. Serbuk kaca juga dapat digunakan sebagai bahan pengisi pori atau *filler*, sehingga diharapkan akan diperoleh beton yang lebih padat dengan porositas minimum sehingga kekuatan beton dapat meningkat.

Perkembangan zaman di era globalisasi yang pesat ini mengakibatkan terus bertambahnya jumlah barang bekas atau limbah yang keberadaannya dapat menjadi masalah bagi kehidupan, salah satunya adalah keberadaan limbah kaca dari pabrik kaca. Dalam hal ini upaya yang dilakukan adalah pemanfaatan pecahan kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus untuk meningkatkan kuat tekan beton.

2.4. Kandungan Dalam Kaca

Ada beberapa kandungan kaca berdasarkan jenis-jenis kaca, yaitu: *clear glass*, *amber glass*, *green glass*, *pyrex glass*, dan *fused silica* (Setiawan, 2006). Kandungan bahan kimia di dalam jenis kaca tersebut akan dijelaskan pada Tabel 2.1 seperti berikut ini.

Tabel 2.1 Kandungan Bahan Kimia Pada Berbagai Jenis Kaca

Jenis Kaca	<i>Clear Glass</i>	<i>Amber Glass</i>	<i>Green Glass</i>	<i>Pyrex Glass</i>	<i>Fused Silica</i>
SiO ₂	73,2 – 73,5	71,0 – 72,4	71,27	81	99,87
Al ₂ O ₃	1,7 – 1,9	1,7 – 1,8	2,22	2	-
Na ₂ O+K ₂ O	13,6 – 14,1	13,8 – 14,4	13,06	4	-
CaO+MgO	10,7 – 10,8	11,6	12,17	-	-
SO ₃	0,2 – 0,24	0,12 – 0,14	0,052	-	-
Fe ₂ O ₃	0,04 – 0,05	0,3	0,599	3,72	-
Cr ₂ O ₃	-	0,01	0,43	12,0 – 13,0	-

Kandungan kimia di dalam bubuk kaca yaitu seperti SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ dan CaO seperti Tabel 2.2 (Hanafiah, 2011):

Tabel 2.2 Kandungan Serbuk Kaca

Unsur	Serbuk Kaca
SiO ₂	61,72%
Al ₂ O ₃	3,45%
Fe ₂ O ₃	0,18%
CaO	2,59%

2.5. Pengaruh Sifat Reaktif Silika pada Kaca

Penggunaan agregat halus kaca yang dibuat dari jenis kaca leburan *soda lime*, mulai dikembangkan untuk membuat beton kinerja tinggi. Agregat halus

kaca ini dibuat dalam bentuk bubuk dengan ukuran dan distribusi yang serupa agregat halus/pasir alam. Penggunaannya diharapkan dapat memanfaatkan limbah dari hasil samping industri untuk komponen industri konstruksi dan untuk mengatasi kekurangan pasir alam yang tersedia. Berdasarkan ASTM C289-87 dilakukan tes kimia dan tes kereaktifan agregat didapat bahwa bubuk kaca masih layak digunakan sebagai agregat walaupun memiliki sifat "merugikan" karena mengandung silika reaktif yang dapat bereaksi dengan alkali semen, sehingga mengakibatkan terjadinya ekspansi beton (Noor, 1995).

2.6. Perkembangan Penelitian dengan Kaca

Dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Agregat Kaca pada Beton Ditinjau dari Segi Kekuatan dan *Shrinkage*” dengan mutu beton 20 MPa, diperoleh data kuat tekan tertinggi dengan komposisi 20% pada umur 56 hari, seperti pada Tabel 2.3 (Budi, 2006):

Tabel 2.3 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Campuran Agregat Kaca

Umur Pengujian (hari)	Persentase Agregat Kaca					
	0%	10%	20%	30%	50%	100%
	kg/cm ²					
3	211,97	211,97	218,87	276,05	228,76	211,97
7	207,32	220,28	187,88	223,52	194,36	191,12
28	188,21	215,42	192,74	179,14	181,41	140,59
28	-	201,81	208,62	183,67	158,73	165,53
56	172,17	201,56	214,16	174,27	157,47	155,37

Bubuk kaca merupakan hasil dari industri kaca yang mengandung silika (SiO_2) yang cukup besar yaitu 74–80%. Selain itu juga kaca juga dapat kita temukan

pada limbah rumah tangga yang berupa botol, gelas, lampu dan perabotan rumah tangga lainnya yang terbuat dari kaca. Kaca didapatkan dengan menggabungkan beberapa mineral yang kaya akan silika (SiO_2), soda (Na_2O) dan kapur (CaO). Mineral-mineral yang kaya akan unsur tersebut berupa pasir silika, soda ash (Na_2CO_3) dan batu kapur (CaCO_3) (Purwanto, 2008).

Dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Penambahan Bubuk Kaca sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen dengan Variasi 2%, 4%, 6% dan 8% terhadap Kuat Tekan dan Nilai *Slump*” dengan mutu beton 50 MPa, diperoleh data kuat tekan tertinggi dengan komposisi 4% pada umur 28 hari, seperti pada Tabel 2.4 (Hanafiah, 2011):

Tabel 2.4 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Bubuk Kaca

Umur Pengujian (hari)	Persentase Agregat Kaca				
	0%	2%	4%	6%	8%
	(MPa)				
7	35,59	39,25	39,96	39,38	35,47
28	54,75	60,38	61,47	60,59	54,58

Penelitian yang dilakukan (Atmaja, 2014) dengan judul “pengaruh substitusi sebagian agregat halus dengan serbuk kaca dan bahan tambah *silica fume* serta *viscocrete-10* terhadap sifat mekanik beton”. Hasil penelitian membuktikan, bahwa serbuk kaca dapat dipertimbangkan untuk bahan pengganti pasir sebagai agregat halus dalam pembuatan beton. Komposisi optimum penggunaan serbuk kaca untuk pegujian kuat tekan beton terjadi pada substitusi penggunaan 20% serbuk kaca, modulus elastisitas beton terdapat pada substitusi penggunaan 10%

serbuk kaca, kuat tarik belah terdapat pada substitusi 40% serbuk kaca dan penyerapan air terdapat pada substitusi 40% serbuk kaca.

Penelitian yang dilakukan (Wijaya, 2015) dengan judul “pengaruh serbuk kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus dan sebagai *filler* terhadap sifat mekanik beton”. Kenaikan kuat tekan tertinggi pada variasi beton substitusi serbuk kaca 30% dengan penambahan *filler* serbuk kaca halus 3% terhadap berat semen, diperoleh sebesar 34,79 MPa. Modulus elastisitas beton dengan variasi serbuk kaca lebih tinggi dari pada beton normal (tanpa serbuk kaca), dengan variasi nilai modulus elastisitas tertinggi sebesar 29657,10 MPa pada substitusi serbuk kaca 10%. Nilai kuat tarik belah tertinggi pada beton dengan substitusi serbuk kaca sebesar 40% dengan penambahan *filler* serbuk kaca halus 3% terhadap berat semen, diperoleh sebesar 3,16 MPa. Nilai penyerapan air beton terendah diperoleh pada beton substitusi serbuk kaca 30% sebesar 7,93%.

Penelitian yang dilakukan (Mahanani, 2015) dengan judul “pengaruh serbuk kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus dan sebagai *filler* terhadap sifat mekanik beton dengan tambahan *superplasticizer*”. Kenaikan optimum kuat tekan beton pada substitusi 10% penambahan serbuk kaca yaitu sebesar 39,18 MPa. Nilai modulus elastisitas beton mencapai titik optimum substitusi 10% serbuk kaca yaitu sebesar 33051,62 MPa. Nilai kuat tarik belah beton mencapai titik optimum substitusi 10% serbuk kaca, yaitu sebesar 4,04 MPa. Nilai penyerapan tertinggi pada beton substitusi 10% serbuk kaca yaitu 8,41%. Pada pengujian beton 10% substitusi serbuk kaca seharusnya memiliki nilai penyerapan yang kecil karena mutu yang diperoleh pada pengujian kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah beton

baik. Pada saat pengujian pengujian penyerapan beton 10% terjadi kesalahan saat proses pembuatan benda uji karena pembuatan benda uji tidak menggunakan molen tetapi dilakukan dengan cara manual sehingga adukan tidak homogen.

2.7. Pozzoland

Pozzoland adalah sejenis bahan yang mengandung silisium atau aluminium yang tidak mempunyai sifat penyemenan. Butirannya halus dan dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu ruang serta membentuk senyawa- senyawa yang mempunyai sifat-sifat semen (Mulyono, 2005).

Pozzoland digunakan sebagai suatu bahan penambahan pada campuran beton semen portland untuk meningkatkan kekuatan jangka panjang dari beton semen portland. *Pozzoland* mengandung silika yang bereaksi dengan kalsium hidroksida untuk membentuk kalsium silikat, bahan-bahan *cementitious* lain bisa juga dibentuk tergantung pada unsur-unsur *pozzoland*.

Reaksi *pozzolanic* bisa lebih lambat dibanding sisa dari reaksi-reaksi yang terjadi selama hidrasi semen, dan dengan begitu kekuatan dalam waktu jangka pendek beton dengan *pozzoland* tidak boleh setinggi beton yang dibuat hanya dengan bahan-bahan *cementitious*. Pada sisi lain, *pozzoland* yang sangat reaktif, seperti *silica fume* serta metakaolin dapat menghasilkan beton dengan kekuatan awal yang cukup tinggi.

2.8. Silica Fume

2.8.1. Pengertian *Silica Fume*

Dalam teknologi beton, *silica fume* digunakan sebagai pengganti sebagian dari semen atau bahan tambahan pada saat sifat-sifat khusus beton dibutuhkan, seperti penempatan mudah, kekuatan tinggi, permeabilitas rendah, durabilitas tinggi, dan lain sebagainya. *Silica fume* merupakan hasil sampingan dari produk logam silikon atau *alloy ferosilikon*. Menurut standar "*Spesification for Silica Fume faor Use in Hydraulic Cement Concrete and Mortal*", *silica fume* adalah material pozzolan yang halus, dimana komposisi silika lebih banyak dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon atau alloy besi silikon (dikenal sebagai gabungan antara *micro silica* dengan *silica fume*).

Penggunaan *silica fume* dalam campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang tinggi. Beton dengan kekuatan tinggi digunakan, misalnya, untuk kolom struktur atau dinding geser, pre-cast atau beton pra-tegang dan beberapa keperluan lain. Kriteria kekuatan beton berkinerja tinggi saat ini sekitar 50-70 MPa untuk umur 28 hari. Penggunaan *silica fume* berkisar 0-30% untuk memperbaiki karakteristik kekuatan keawetan beton dengan faktor air semen sebesar 0,34 dan 0,28 dengan atau tanpa *superplastisizer* dan nilai *slump* 50 mm.

2.8.2. Komposisi *Silica Fume*

Silica fume merupakan serbuk halus yang terdiri dari *amorphous microsphere* dengan diameter berkisar antara 0,1-1,0 micron meter, berperan penting terhadap pengaruh sifat kimia dan mekanik beton. Ditinjau dari sifat

mekanik, secara geometrikan *silica fume* mengisi rongga-rongga di antara bahan semen (*grain of cement*), dan mengakibatkan *pore size distribution* (diameter pori) mengecil serta total volume pori juga berkurang (Subakti, 1995).

2.8.3. Karakteristik *Silica Fume*

Diameter rata-rata *silica fume* adalah sekitar 0,1 micron meter, yaitu 100 kali lebih kecil daripada partikel semen. Hasil pengujian porosimeter yang menggunakan metode penyerapan merkuri, diperoleh distribusi ukuran median adalah 8,53 micron meter, jari-jari pori rata-rata sebesar 0,13 micron meter, dan luas permukaan spesifik yang sangat tinggi 216,0 m²/g. Kandungan silika (SiO₂) sangat tinggi 93,09 persen, ketentuan ASTM C 1240-93 mensyaratkan minimal sebesar 85 persen.

Penggunaan *silica fume* selalu bersamaan dengan *High Range Water Reducer (Superplasticizer)*. Karena adanya penggunaan air pada bahan beton dan adanya bahan *silica fume* yang mengisi pori-pori serta bersifat pozzolan ini, maka mengakibatkan beton menjadi kedap, awet, dan berkekutan tinggi. Dengan adanya *silica fume* daerah agregat matriks transisi lebih padat dan kuat sehingga hubungan antara semen pasta dan agregat menjadi lebih kompak, agregat dan pasta merupakan kesatuan struktur komposit yang cukup solid dan kuat.

2.8.4. Kelebihan dan Kekurangan *Silica Fume*

Keuntungan dari *silica fume* adalah:

1. menurunkan tingkat *permeabilitas*,
2. meningkatkan *compressive strenght* beton,
3. meningkatkan *workability*.

Kendala-kendala yang ada dalam penggunaan *silica fume* antara lain seperti, *handling*/pelaksanaan, bahaya kesehatan kerja, air *entrainment*, *plastic shrinkage*, dan *quality control*. *Silica fume* merupakan bahan sangat lembut dan mudah sekali terbang kena angin, maka perlu diperhatikan dalam pelaksanaan *loading*, penangkutan, penyimpanan dan pencampuran.

