

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Menurut Tjokrodimuljo (1996), beton merupakan hasil pencampuran semen, air, dan agregat. Terkadang ditambah menggunakan bahan tambah dengan perbandingan tertentu, mulai dari bahan kimia tambahan, fiber, sampai bahan buangan non kimia. Sifat-sifat beton pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan dan cara perawatannya.

Berdasarkan SNI 2847:2013 definisi beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana (f'_c) pada usia 28 hari.

Menurut Mulyono (2004), penggunaan beton dalam konstruksi bangunan mempunyai beberapa kelebihan dan kelemahan, antara lain:

A. Kelebihan

1. dapat dibentuk dengan mudah sesuai kebutuhan konstruksi,
2. mampu memikul beban yang berat karena memiliki kuat tekan yang tinggi,
3. memiliki ketahanan terhadap temperatur yang tinggi,
4. biaya pemeliharaan yang kecil.

B. Kekurangan

1. bentuk yang sudah dibuat sangat sulit untuk diubah,
2. kuat tarik rendah,
3. bersifat sangat getas,
4. pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
5. berat
6. daya pantul suara yang besar

2.2 Bahan Penyusun Beton

2.2.1 Semen

Semen portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis dengan gips sebagai bahan tambahan. Unsur utama yang terkandung dalam semen dapat digolongkan ke dalam empat bagian yaitu: trikalsium silikat (C_3S), dikalsium silikat (C_2S), trikalsium aluminat (C_3A) dan tetrakalsium aluminoforit (C_4AF), selain itu pada semen juga terdapat unsur-unsur lainnya dalam jumlah kecil, misalnya: MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O dan Na_2O . Soda atau potasium (Na_2O dan K_2O) merupakan komponen minor dari unsur-unsur penyusun semen yang harus diperhatikan, karena keduanya merupakan alkalis yang dapat bereaksi dengan silika aktif dalam agregat sehingga menimbulkan disintegrasi beton (Neville dan Brooks, 1987).

Unsur C_3S dan C_2S merupakan bagian terbesar (70% - 80%) dan paling dominan dalam memberikan sifat semen (Tjokrodimuljo, 1996), bila semen terkena air maka C_3S akan segera berhidrasi dan memberikan pengaruh yang besar dalam proses pengerasan semen terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Unsur C_2S bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh setelah beton berumur 7 hari. Unsur C_3A bereaksi sangat cepat dan memberikan kekuatan setelah 24 jam, semen yang mengandung unsur C_3A lebih dari 10% akan berakibat kurang tahan terhadap sulfat. Unsur yang paling sedikit dalam semen adalah C_3AF sehingga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan pasta semen atau beton.

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Standar industri di Amerika (ASTM) maupun di Indonesia (SII) mengenal 5 jenis semen seperti diuraikan di bawah ini.

1. Jenis I, yaitu semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
2. Jenis II, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut panas hidrasi yang rendah.

5. Jenis V, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat yang sangat baik.

Tabel 2.1 Komposisi Penyusun Semen Menurut ASTM C 180-84
(Neville dan Brooks, 1987)

Semen	Persentase Komponen Penyusun							
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO Bebas	MgO	Hilang Pijar
Jenis I	59	15	12	8	2,9	0,8	2,4	1,2
Jenis II	46	29	6 (≤ 8)	12	2,8	0,6	3,0	1,0
Jenis III	60	12	12 (≤ 15)	8	3,9	1,3	2,6	1,9
Jenis IV	30 (≤ 35)	46 (≥ 40)	5 (≤ 7)	13	2,9	0,3	2,7	1,0
Jenis V	43	36	4 (≤ 5)	12	2,7	0,4	1,6	1,0

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



Hasil utama dari proses hidrasi semen adalah C₃S₂H₃ (*tobermorite*) yang berbentuk gel dan panas hidrasi selama reaksi berlangsung. Hasil yang lain berupa kapur bebas Ca(OH)₂ yang merupakan sisa dari reaksi antara C₃S dan C₂S dengan air, kapur bebas ini dalam jangka panjang cenderung melemahkan beton karena

dapat bereaksi dengan zat asam maupun sulfat yang ada di lingkungan sekitar sehingga menimbulkan proses korosi pada beton.

2.2.2 Air

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25% dari berat semen yang digunakan, tetapi dalam kenyataan jika nilai faktor air semen kurang dari 35% beton segar menjadi tidak dapat dikerjakan dengan sempurna sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah. Kelebihan air dari proses hidrasi diperlukan untuk syarat-syarat kekentalan (*consistency*) agar dapat dicapai suatu kelecakan (*workability*) yang baik. Kelebihan air ini selanjutnya akan menguap atau tertinggal di dalam beton sehingga menimbulkan pori-pori (*capillary poreous*) di dalam beton yang sudah mengeras.

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada air yang akan digunakan sebagai bahan pencampur beton meliputi kandungan lumpur maksimal 2 gr/lit, kandungan garam-garam yang dapat merusak beton maksimal 15 gr/lit, tidak mengandung khlorida lebih dari 0,5 gr/lit serta kandungan senyawa sulfat maksimal 1 gr/lit. Secara umum air dinyatakan memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan pencampur beton, apabila dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang menggunakan air suling (Tjokrodinuljo, 1996).

2.2.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat kurang lebih menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Pemilihan agregat merupakan bagian yang sangat penting karena karakteristik agregat akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mortar atau beton (Tjokrodimuljo, 1996).

Faktor lain yang perlu diperhatikan adalah gradasi atau distribusi ukuran butir agregat, karena bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang seragam akan menghasilkan volume pori yang besar tetapi bila ukuran butir-butirnya bervariasi maka volume pori menjadi kecil. Hal ini disebabkan butir yang lebih kecil akan mengisi pori di antara butiran yang lebih besar. Agregat sebagai bahan penyusun beton diinginkan mempunyai kemampuan yang tinggi, sehingga volume pori dan bahan pengikat yang dibutuhkan lebih sedikit.

Ukuran agregat dalam prakteknya secara umum digolongkan ke dalam 3 kelompok yaitu:

1. batu, jika ukuran butiran lebih dari 40 mm,
2. kerikil, jika ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm,
3. pasir, jika ukuran butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Butiran yang lebih kecil dari 0,15 mm dinamakan *silt* atau lanau (Tjokrodimuljo, 1996).

A. Agregat kasar

Adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan

mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm (SNI 2847:2013). Agregat kasar ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik.

Syarat mutu agregat kasar menurut ASTM C 33 adalah seperti tercantum di bawah ini.

- a. Tidak boleh reaktif terhadap alkali jika dipakai untuk beton basah dengan lembab atau berhubungan dengan bahan yang reaktif terhadap alkali semen, dimana penggunaan semen yang mengandung natrium oksida tidak lebih dari 0,6 %.
- b. Susunan gradasi harus memenuhi syarat.
- c. Kadar bahan atau partikel yang berpengaruh buruk ppada beton.
- d. Sifat fisika

Sifat fisika mencakup kekerasan butiran diuji dengan mesin *Los Angeles*.

B. Agregat halus

Agregat halus dalam beton adalah pasir alam sebagai salah satu agregat yang lolos dari ayakan no.4 (lebih kecil dari 3/16 inchi) dimana besar butirannya berkisar antara 0,15 sampai 5 mm. Pasir dibedakan menjadi 3, yaitu:

- a. pasir galian yang diperoleh dari permukaan tanah,
- b. pasir sungai yang diambil dari sungai,
- c. pasir laut yang diperoleh dari pantai.

Ukuran agregat mempunyai pengaruh yang penting terhadap jumlah semen dan air yang diperlukan untuk membuat satu-satuan beton.

2.2.4 Bahan tambah beton

Bahan tambah adalah bahan selain unsur pokok pada beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, baik sebelum, segera atau selama pengadukan beton dengan tujuan mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Fungsi bahan tambah antara lain: mempercepat pengerasan, menambah kelecakan (*workability*) beton segar, menambah kuat tekan beton, meningkatkan daktilitas atau mengurangi sifat getas beton, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya. Bahan tambah diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit dengan pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan yang berakibat memperburuk sifat beton (Tjokodimuljo, 1996). Bahan tambah menurut maksud penggunaannya dibagi menjadi dua golongan yaitu *admixtures* dan *additives*.

Admixtures adalah semua bahan penyusun beton selain air, semen hidrolis dan agregat yang ditambahkan sebelum, segera atau selama proses pencampuran adukan di dalam *batching*, untuk merubah sifat beton baik dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Sedangkan *additive* lebih mengarah pada semua bahan yang ditambahkan dan digiling bersamaan pada saat proses produksi semen.

Menurut Tjokrodimuljo (1996), bahan tambah dapat dibedakan menjadi 3 golongan seperti tercantum di bawah ini.

1. *Chemical Admixtures* merupakan bahan tambah bersifat kimiawi yang dicampurkan pada adukan beton dengan maksud agar diperoleh sifat-sifat

yang berbeda pada beton dalam keadaan segar maupun setelah mengeras, misalnya sifat pengerjaannya yang lebih mudah dan waktu pengikatan yang lebih lambat atau lebih cepat. *Superplasticizer* merupakan salah satu jenis *chemical admixture* yang sering ditambahkan pada beton segar. Pada dasarnya penambahan *superplasticizer* dimaksudkan untuk meningkatkan kelecakan, mengurangi jumlah air yang diperlukan dalam pencampuran (faktor air semen), mengurangi *slump loss*, mencegah timbulnya *bleeding* dan segregasi, menambah kadar udara (*air content*) serta memperlambat waktu pengikatan (*setting time*).

Adapun macam-macam bahan tambah kimia menurut ASTM C494-82 adalah seperti dibawah ini.

a. Tipe A (*water reducing admixtures*)

Water reducing admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

b. Tipe B (*retarding admixture*)

Retarding admixture adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Misalnya karena kondisi cuaca panas dimana tingkat kehilangan sifat pengerjaan beton sangat tinggi.

c. Tipe C (*accelerating admixture*)

Accelerating admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.

d. Tipe D (*water reducing and retarding admixture*)

Water reducing and retarding admixture adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air yang diperlukan campuran beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

e. Tipe E (*water reducing and acceleratiing admixtures*)

Water reducing and acceleratiing admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

f. Tipe F (*water reducing high range admixtures*)

Water reducing high range admixtures adalah bahan tambah berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Pengurangan kadar air dalam bahan ini lebih tinggi, bertujuan agar kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit tetapi tingkat kemudahannya lebih tinggi. Jenis bahan tambah ini adalah *superplasticizer*, dosis yang disarankan adalah sekitar 1-2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kuat tekan beton.

g. Tipe G (*water reducing high range retarding admixtures*)

Water reducing high range retarding admixtures adalah bahan tambah berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang digunakan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12%

atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan gabungan *superplasticizer* dengan penunda waktu pengikatan.

2. Pozolan (*pozzolan*) merupakan bahan tambah yang berasal dari alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silikat dan aluminat yang reaktif. Pozolan sendiri tidak mempunyai sifat semen, tetapi dalam keadaan halus bereaksi dengan kapur bebas dan air menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air. Pozolan dapat ditambahkan pada campuran adukan beton atau mortar (sampai batas tertentu dapat menggantikan semen), untuk memperbaiki kelecakan (*workability*), membuat beton menjadi lebih kedap air (mengurangi permeabilitas) dan menambah ketahanan beton atau mortar terhadap serangan bahan kimia yang bersifat agresif. Penambahan pozolan juga dapat meningkatkan kuat tekan beton karena adanya reaksi pengikatan kapur bebas (Ca(OH)_2) oleh silikat atau aluminat menjadi *tobermorite* ($3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Pozolan yang saat ini telah banyak diteliti dan digunakan antara lain *silica fume* (SF), *fly ash* (FA), *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBS), tras alam dan abu sekam padi (*Rice Husk Ash*).
3. Serat (*fibre*) merupakan bahan tambah yang berupa serat gelas/kaca, plastik, baja atau serat tumbuh-tumbuhan (rami, ijuk). Penambahan serat ini dimaksudkan untuk meningkatkan kuat tarik, menambah ketahanan terhadap retak, meningkatkan daktilitas dan ketahanan beton terhadap beban kejut (*impact load*) sehingga dapat meningkatkan

keawetan/durabilitas beton, misalnya pada perkerasan jalan raya atau lapangan udara, *spillway* serta pada bagian struktur beton yang tipis untuk mencegah timbulnya keretakan.

2.3 Beton Serat

2.3.1 Definisi beton serat

Menurut Amri (2005), beton bertulang berserat (*fibre reinforced concrete*) didefinisikan sebagai bahan beton yang dibuat dari bahan campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air dan sejumlah serat (*fibre*) yang tersebar secara acak dalam matriks campuran beton segar.

Menurut Amri (2005), jenis-jenis serat dapat digolongkan seperti :

- a. Serat-serat logam, seperti serat baja karbon atau serat baja tahan karat
- b. Serat-serat polimer (*acrylic, aramid, nylon, polyester, polypropylene*)
- c. Serat-serat karbon
- d. Serat-serat gelas (*glass fibre*)
- e. Serat-serat alami (serat akwara, bambu, rami, ampas kayu, jerami, sisal, dan sabut kelapa)

2.3.2 Perilaku beton berserat

Menurut Amri (2005), perilaku beton berserat ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain sifat fisik matrik dan serat serta perlekatan antara serat dan matriksnya, yaitu:

a. Sifat-sifat fisik serat dan matriks

Hannant (1978) menyatakan bahwa faktor utama yang menentukan kemampuan bahan serat adalah sifat fisik serat dan matriks seperti yang diberikan pada Tabel 2.2 dan 2.3 dan kekuatan lekatan diantara keduanya. Tampak dari kedua tabel tersebut bahwa tegangan rata-rata serat adalah dua sampai tiga kali lebih besar dari tegangan runtuh matrix, hal ini akan menyebabkan beton retak sebelum kuat tarik maksimum serat tercapai.

Tabel 2.2 Tipikal Sifat-sifat Berbagai Macam Serat
(Amri, 2005)

Tipe Serat	Kuat Tarik (MPa)	Young modulus (MPa)	Perpanjangan batas,%	Specific Gravity
<i>Acrylic</i>	207-414	2.07	25-45	1.1
<i>Asbestos</i>	552-966	82.8-138	0.6	3.2
<i>Cotton</i>	414-690	4.83	3.10	1.5
<i>Glass</i>	1035-3795	69	1.5-3.5	2.5
<i>Nylon (Ht)*</i>	759-828	4.14	16-20	1.1
<i>Polyester (Ht)*</i>	724.5-862.5	8.28	11-13	1.4
<i>Polyethylene</i>	690	0.138-0.414	10	0.95
<i>Polypropylene</i>	552-759	3.45	25	0.90
<i>Rayon (Ht)*</i>	414-621	6.9	10-25	1.5
<i>ROCK wool</i>	483-759	69-117.3	0.6	2.7
<i>Steel</i>	276-2760	200.1	0.5-35	7.8

Ket (Ht)*: *High tenacity*

Tabel 2.3 Tipikal Sifat-sifat Berbagai Matriks
(Amri, 2005)

Matrik	Kepadatan (kg/m³)	Young modulus (GPa)	Kuat Tarik MPa	Regangan Putus X 10⁻⁶
Semen PC Normal	2.000-3.000	10-25	3-6	100-500
Pasta semen alumina kadar tinggi	2.100-2.300	10-25	3-7	100-500
Mortar OPC	2.200-2.300	25-35	2-4	50-150
Beton OPC	2.200-2.450	30-40	1-4	50-150

b. Pengaruh panjang dan diameter serat.

Serat panjang dan tipis dengan rasio $l/d > 100$ mempunyai lekatan dengan beton yang lebih besar dibandingkan dengan serat yang pendek dengan rasio $l/d < 50$. hal ini berdasarkan penelitian oleh Hannant (1978), sedangkan hasil percobaan untuk $l/d < 50$ menunjukkan hasil yang mudah untuk dicabut dari beton.

Pengaruh perbandingan panjang dan diameter serat (aspek rasio) akan mempengaruhi lekatan antara serat dengan matrik. Pengaruh panjang dan diameter serat akan lebih dominan terhadap lentur bila dibandingkan dengan volume serat.

c. Ukuran maksimum matrik

Ukuran maksimum matrik akan mempengaruhi distribusi dan kuantitas serat yang dapat masuk ke dalam komposit. Hannant (1978) memberikan rata-rata ukuran agregat partikel $\pm 10-30$ mikron, sedangkan ukuran agregat maksimum agregat untuk adukan 5 mm. Agregat dalam komposit tidak boleh lebih besar dari 20 mm dan disarankan lebih kecil dari 10 mm, yang bertujuan agar serat dapat tersebar dengan merata. Untuk

menghindarkan terjadinya rongga, pada benda uji disarankan untuk memakai bahan pengisi (agregat campuran) paling sedikit 50 % dari volume beton.

d. Perilaku sifat mekanik beton berserat

Parameter yang diperoleh dari pengujian tekan terhadap beton berserat antara lain: modulus elastisitas, beban hancur maksimum. Dari hasil pencatatan defleksi diperoleh nilai regangan yang terjadi pada saat beban maksimum dan perilaku kurva beban (P) dengan defleksi (δ) atau perilaku kurva tegangan-regangan. Perubahan modulus elastisitas akibat penambahan serat sangat kecil. Penambahan serat pada beton normal dapat meningkatkan tegangan pada beban puncak. Beton berserat menyerap energi yang lebih besar daripada beton normal sebelum hancur (*failure*). Peningkatan terhadap daktilitas dengan penambahan serat pada beton normal tergantung pada beberapa faktor seperti: geometri serat, volume fraksi serat dan komposisi bahan penyusun matrik sendiri. Peningkatan volume serat dapat meningkatkan kapasitas peningkatan energi. Peningkatan penyerapan energi ini terjadi hanya pada batasan 0 – 0,7% volume fraksi, apabila kandungan serat dinaikkan lagi sehingga fraksinya menjadi lebih besar dari 0,7%, maka kenaikan energi yang terjadi tidak terlalu besar. Beton bermutu tinggi lebih getas (*brittle*) dibandingkan dengan beton normal, dan dengan penambahan serat dihasilkan beton yang lebih daktail.

Hannant (1978) memberikan persamaan hubungan antara volume fraksi dengan perbandingan serat dalam matriks sebagai berikut:

$$W'_f = \frac{\text{Weight of fibre}}{\text{Wight of matrix}} \times 100\%$$

$$W'_f = \frac{V_f D_f}{V_m D_m} \times 100\% \dots\dots\dots (2-1)$$

dimana:

- W'_f = persentase berat serat terhadap matrik beton (%)
- V_f = persentase volume fraksi serat terhadap matrik beton (%)
- V_m = persentase matriks beton (%)
- D_f = *density* dari serat (kg/m³)
- D_m = *density* dari matrik beton (kg/m³)

e. Mekanisme kontribusi serat terhadap beban lentur

Dalam aplikasinya, beton berserat lebih banyak digunakan sebagai elemen penahan beban lentur dibandingkan penahan akibat beban lainnya.

Hasil percobaan menunjukkan peningkatan kuat lentur lebih tinggi daripada kuat tekan atau kuat tarik belah. Peningkatan kuat lentur sangat dipengaruhi oleh faktor volume fraksi dan aspek rasio serat. Dengan terjadinya peningkatan nilai volume fraksi maka kuat lentur akan meningkat, demikian pula dengan aspek rasio yang tinggi juga meningkatkan kuat lentur.

f. Daktilitas (*flexural toughness*)

Salah satu alasan penambahan serat pada beton adalah untuk menaikkan kapasitas penyerapan energi dari matrik campuran, yang berarti meningkatkan daktilitas beton. Penambahan daktilitas juga berarti penambahan perilaku beton terhadap lelah (*fatigue*) dan kejut (*impact*).

2.4 **Self-Compacting Concrete (SCC)**

Self-Compacting Concrete (SCC) dapat didefinisikan sebagai suatu jenis beton yang dapat dituang, mengalir dan menjadi padat dengan memanfaatkan berat sendiri, tanpa memerlukan proses pemadatan dengan getaran atau metode

lainnya, selain itu beton segar jenis *self-compacting concrete* bersifat kohesif dan dapat dikerjakan tanpa terjadi segregasi atau *bleeding*. Beton jenis ini lazim digunakan untuk pekerjaan beton pada bagian struktur yang sulit dijangkau dan dapat menghasilkan struktur dengan kualitas yang baik (Widodo, 2008).

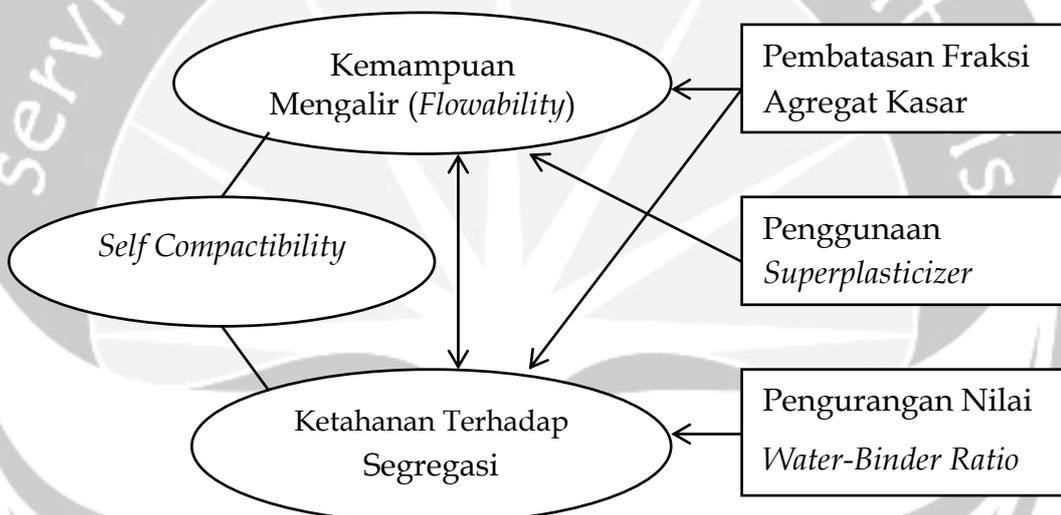
Prototype dari *self compacting concrete* mulai dikembangkan di Jepang pada akhir dekade 1980-an dengan tujuan mendapatkan struktur beton yang memiliki tingkat kepadatan yang tinggi untuk daerah rawan gempa. Berbagai penelitian telah dilakukan dengan hasil yang memuaskan, sehingga saat ini *self-compacting concrete* telah digunakan secara luas di berbagai negara dengan aplikasi yang disesuaikan dengan kondisi serta konfigurasi struktur beton yang dibutuhkan (Widodo, 2008).

Menurut Widodo (2008), keuntungan-keuntungan yang dapat diperoleh dari penggunaan *self-compacting concrete* adalah seperti tercantum di bawah ini.

1. Mengurangi lamanya konstruksi dan besarnya upah pekerja.
2. Pemasatan dan penggetaran beton yang dimaksudkan untuk memperoleh tingkat kepadatan optimum dapat dieliminir.
3. Mengurangi kebisingan yang dapat mengganggu lingkungan sekitarnya.
4. Meningkatkan kepadatan elemen struktur beton pada bagian yang sulit dijangkau dengan alat pematat, seperti vibrator.
5. Meningkatkan kualitas struktur beton secara keseluruhan.

High range water reducer diperlukan untuk menghasilkan *self-compacting concrete* dengan *workability* dan *flowability* yang tinggi. Untuk meningkatkan homogenitas dan viskositas beton segar yang dibutuhkan dalam pelaksanaan

underwater concreting, perlu ditambahkan *filler* yang berupa *fly ash*, *silica fume* ataupun *limestone* (Persson, 2000). *Self Compacting Concrete* mensyaratkan kemampuan mengalir yang cukup baik pada beton segar tanpa terjadi segregasi, sehingga viskositas beton juga harus diperhatikan untuk mencegah terjadinya segregasi (Okamura dan Ozawa, 1994). Hubungan antara penggunaan *superplasticizer* dan sifat beton segar pada proses produksi *self-compacting concrete* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Prinsip Dasar Proses Produksi *Self-Compacting Concrete* (Dehn dkk, 2000)

Di Indonesia, *Self Compacting Concrete* sudah diaplikasikan pada struktur besar seperti pada Jembatan Grand Wisata (*Cable Stayed*) di Bekasi, Jawa Barat pada tahun 2007 dengan menggunakan beton mutu 60 MPa. Aplikasi ini karena mempertimbangkan kesulitan pemadatan manual pada posisi menara yang tinggi dan miring (Mariani dkk, 2009).

Dalam Tjaronge, dkk (2006), *Self Compacting Concrete* merupakan beton yang saat masih berbentuk beton segar mampu mengalir melalui tulangan (kriteria

passing ability) dan memenuhi seluruh ruang yang ada di dalam cetakan secara padat tanpa memerlukan proses pemadatan manual atau getaran mekanik (kriteria *filling ability*). Untuk memperoleh beton yang mampu mengalir tanpa terjadi pemisahan material (kriteria *segregation resistance*), maka digunakan *high range water reducer* atau *superplasticizer*. *Superplasticizer* meningkatkan konsistensi pasta semen dan membuat pasta semen menyelimuti dan mengikat agregat dengan kuat, sehingga beton mampu mengalir tanpa mengalami segregasi material. Segregasi adalah terpisahnya agregat kasar dengan komponen agregat halus dan pasta semen yang akan menyebabkan sarang kerikil dan berakibat keropos pada beton keras.

Suatu beton dikatakan *Self Compacting Concrete* apabila sifat dari beton segar memenuhi kriteria seperti tercantum di bawah ini.

a. *Filling Ability*

Kemampuan campuran beton segar mengisi ruangan atau cetakan dengan beratnya sendiri, untuk mengetahui beton memiliki kemampuan *filling* maka beton segar diuji menggunakan alat *slump cone*, dengan waktu yang diperlukan aliran beton untuk mencapai diameter 50 cm (SF50) 3 – 15 detik dan diameter maksimum yang dicapai aliran beton (SFmax) 65 – 75 cm (Japan Society of Civil Engineers, 2007).

b. *Passing Ability*

Kemampuan campuran beton segar untuk melewati celah-celah antar besi tulangan atau bagian celah yang sempit dari cetakan, untuk mengetahui beton memiliki kemampuan ini dilakukan uji dengan menggunakan alat L-Shape Box, dengan perbedaan tinggi yang diperlukan aliran beton arah horizontal (H_2/H_1) lebih besar dari 0,8 (The European Guidelines For Self Compacting Concrete, 2005).

c. *Segregation Resistance*

Ketahanan campuran beton segar terhadap segregasi, untuk mengetahui beton memiliki kemampuan ini dilakukan uji dengan menggunakan alat V-Funnel, dengan waktu yang diperlukan beton segar untuk segera mengalir melalui mulut di ujung bawah alat ukur V-funnel antara 7 – 13 detik (Japan Society of Civil Engineers, 2007).

2.5 Serat Polypropylene

Serat *polypropylene* merupakan bahan dasar yang umum digunakan dalam memproduksi bahan-bahan yang terbuat dari plastik. Pertama kali digunakan dalam industri tekstil karena harganya murah dan dapat menghasilkan produk yang berkualitas. Material ini berbentuk filamen-filamen yang ketika dicampurkan dalam adukan beton untaian itu akan terurai. Serat jenis ini dapat meningkatkan kuat tarik lentur beton (Arde, 2005), mengurangi retak – retak akibat penyusutan, meningkatkan daya tahan terhadap *impact* dan meningkatkan daktilitas (Dina, 1999).

Menurut Dina (1999), beberapa keuntungan penggunaan serat *polypropylene* dalam campuran beton adalah seperti tercantum di bawah ini.

1. Memperbaiki daya ikat matriks beton pada saat *pre-hardening stage* sehingga dapat mengurangi keretakan akibat penyusutan.
2. Memperbaiki ketahanan terhadap kikisan.
3. Memperbaiki ketahanan terhadap tumbukan.
4. Memperbaiki ketahanan terhadap penembusan air dan bahan kimia.
5. Memperbaiki keawetan beton

Salah satu serat *polypropylene* yang dapat digunakan adalah Sika Fibre, yang merupakan *micro monofilament polypropylene fibres* buatan PT. Sika Indonesia. Dalam pemakaiannya, dosis yang dianjurkan adalah 0,6 kg serat tiap 1 m³ beton. Sika Fibre memiliki berat jenis 0,91 g/cm³, panjang serat 12 mm, dan diameter serat 18 mikron (PT. Sika Indonesia, 2005).

2.6 Viscocrete 1003

Menurut PT. Sika Indonesia (2013), produk Sika Viscocrete 1003 adalah *superplasticizer* untuk beton dan mortar berbasis *polycarboxylate* generasi ketiga. Sika Viscocrete 1003 secara khusus dikembangkan untuk produksi beton dengan kemudahan mengalir dan sifat mengalir yang tahan lama serta mengurangi segregasi dan *bleeding* secara signifikan. Sika Viscocrete 1003 digunakan untuk beberapa jenis beton yaitu:

1. beton dengan sifat mengalir tinggi,
2. *Self-Compacting Concrete*,

3. beton dengan pengurangan air yang sangat tinggi (hingga 30%),
4. beton mutu tinggi.

Untuk pembuatan *Self Compacting Concrete*, dosis yang disarankan oleh PT. Sika Indonesia adalah 0,6 – 1,6 % dari berat semen (PT. Sika Indonesia, 2013).

2.7 *Fly Ash*

Fly Ash diperoleh dari hasil residu PLTU. Material ini berupa butiran halus ringan, bundar, tidak porous, mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air. Menurut PP No. 85 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, limbah *fly ash* dapat mengakibatkan dampak lingkungan yang cukup membahayakan karena polusi udara yang disebabkan untuk lingkungan di sekitarnya. Oleh sebab itu diupayakan agar limbah *fly ash* dapat menjadi bahan yang dapat digunakan kembali, salah satu bentuk pemanfaatannya adalah sebagai bahan *filler* pada campuran beton.

Menurut ACI Manual of Concrete Practice 1993 Part 1 226.3R-3, fly ash dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

A. Kelas C

Fly ash yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batubara (batubara muda).

- Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 50%
- Kadar $\text{CaO} \geq 10\%$

Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari berat binder.

B. Kelas F

Fly ash yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batubara.

- Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70%
- Kadar $\text{CaO} < 5\%$

C. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chertz*, *shales*, *tuff* dan abu vulkanik, yang mana bisa diproses melalui pembakaran atau tanpa melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat pozzolan yang baik (Kusumo, 2013).

Fly ash pada penggunaannya sebagai bahan pozzolanik pada beton juga memiliki beberapa kelebihan, seperti:

a. Pada beton segar:

- Memperbaiki sifat pengerjaan,
- Mengurangi terjadinya *bleeding* dan segregasi,
- Mengurangi jumlah panas hidrasi yang terjadi,
- Mengurangi jumlah air campuran.

b. Pada beton keras:

- Meningkatkan kerapatan pada beton,
- Menambah daya tahan beton terhadap serangan agresif (sulfat),
- Meningkatkan kekuatan beton pada jangka panjang.

Selain itu, *fly ash* juga mempunyai beberapa kekurangan seperti:

- Pemakaian *fly ash* kurang baik untuk pengerjaan beton yang memerlukan waktu pengerasan dan kekuatan awal yang tinggi karena proses pengerasan dan penambahan kekuatan beton agak lambat disebabkan oleh reaksi pozzolan yang terjadi,
- Pengendalian mutu harus sering dilakukan karena mutu abu terbang sangat tergantung pada proses (suhu pembakaran) serta jenis abu batubaranya (Kusumo, 2013).

2.8 Parameter Pengujian Beton Segar

Pengukuran sifat beton segar jenis *self-compacting concrete* harus dilakukan secara menyeluruh terhadap empat karakteristik utamanya, yang meliputi: *flowability/filling ability*, *viscosity*, *passing ability*, dan *segregation resistance*, dengan menggunakan beberapa alat ukur standar seperti: *Slump-Flow Test*, *L-shape Box*, *V-Funnel*, dan *sieve segregation* (EFNARC, 2005).

2.8.1 *Slump flow test*

Slump flow test dapat dipakai untuk menentukan *filling ability* baik di laboratorium maupun di lapangan dan diperoleh kondisi workabilitas beton berdasarkan kemampuan penyebaran beton segar yang dinyatakan dengan besaran diameter. Kebutuhan nilai *slump flow* untuk pengecoran konstruksi bidang vertikal berbeda dengan bidang horizontal. Kriteria yang umum dipakai untuk penentuan awal workabilitas *self compacting concrete* berdasarkan tipe konstruksi adalah sebagai berikut:

1. Untuk konstruksi vertikal, disarankan menggunakan *slump flow* antara 65 cm – 70 cm
2. Untuk konstruksi horizontal, disarankan menggunakan *slump flow* antara 60 cm – 65 cm (Silitonga, 2011).

Tabel 2.4 Kelas SCC Berdasarkan Nilai *Slump*
(EFNARC, 2005)

Kelas	<i>Slump Flow</i> (mm)
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850

Berikut ini adalah tipikal kelas *slump flow* untuk berbagai aplikasi:

- A. SF1 (550-650 mm) sesuai untuk:
 1. Struktur beton bertulangan sedikit atau beton tak bertulang yang dicor dari atas (misalnya pelat perumahan).
 2. Pengecoran dengan sistem injeksi pompa (misalnya lapisan terowongan).
 3. Bagian yang cukup kecil untuk mencegah aliran horizontal yang panjang (misalnya tiang dan beberapa pondasi dalam).
- B. SF2 (660-750 mm) adalah cocok untuk berbagai aplikasi normal (misalnya dinding, kolom).
- C. SF3 (760-850 mm) biasanya diproduksi dengan ukuran maksimal agregat yang kecil (≤ 16 mm) dan digunakan untuk aplikasi vertikal pada struktur yang sangat padat, struktur dengan bentuk yang kompleks, atau untuk mengisi bagian bawah bekisting. SF3 akan sering memberikan permukaan

akhir lebih baik dari SF 2 untuk aplikasi vertikal yang normal tetapi ketahanan terhadap segregasi lebih sulit dikendalikan.

Nilai-nilai target yang lebih tinggi dari 850 mm dapat ditentukan dalam beberapa kasus khusus tapi harus dilakukan dengan hati-hati mengenai pencegahan terhadap segregasi dan ukuran maksimum agregat biasanya harus lebih rendah dari 12 mm.

2.8.2 *L-Shaped box test*

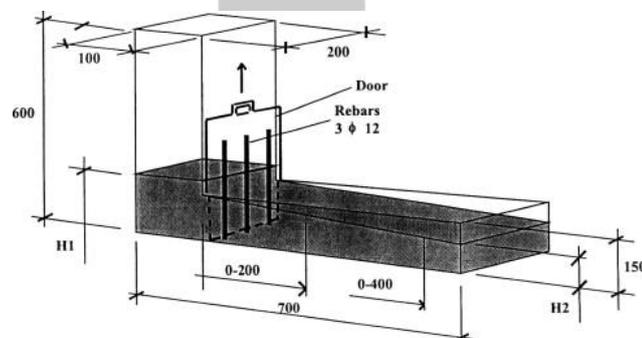
Pengujian *L-Shaped Box* dilakukan untuk mengetahui kemudahan beton mengalir dalam satu kotak yang berbentuk “L”. Di dalam kotak tersebut diberi penyekat berupa tulangan untuk mengetahui kemampuan beton mengalir melalui tulangan tersebut. Hasil akhir pengujian ini dapat dilihat dengan mengetahui kemampuan melewati tulangan (*passing ability*) setelah beton mengalir dalam waktu tertentu. Menurut Silitonga (2011), nilai *passing ability* diperhitungkan menggunakan persamaan:

$$PA = \frac{H_2}{H_1} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dengan,

H_1 = Ketinggian akhir *self-compacting concrete* pada bagian vertikal

H_2 = Ketinggian *self-compacting concrete* pada bagian horizontal



Gambar 2.2 *L-Shaped Box Test*

2.8.3 V-funnel test

Metode pengujian ini berguna untuk mengevaluasi ketahanan segregasi, *filling ability*, dan viskositas material beton SCC (Ouchi, dkk, 2003). Cara kerja alat *V-Funnel* seperti tercantum di bawah ini.

- a. Penutup bagian bawah ditutup.
- b. Campuran beton segar diisikan pada *V-Funnel* sampai jenuh.
- c. Penutup bagian bawah dibuka sehingga campuran beton segar mengalir.
- d. Catat lama waktu beton mengalir hingga *V-Funnel* kosong.

2.8.4 Viskositas

Viskositas dapat dinilai pada saat T_{500} selama uji *slump flow* atau dinilai berdasarkan waktu alir *V-Funnel*. Nilai waktu yang diperoleh tidak mengukur viskositas SCC tetapi berkaitan dengan kecepatan aliran. Beton dengan viskositas rendah akan memiliki aliran awal yang sangat cepat dan kemudian berhenti. Beton dengan viskositas tinggi dapat terus merambat melewati perpanjangan waktu. Berikut ini adalah tipikal kelas viskositas menurut *The European Guidelines for Self Compacting Concrete* :

Tabel 2.5 Kelas SCC Berdasarkan Nilai T_{500} dan *V-funnel*
(*The European Guidelines for SCC, 2005*)

Kelas	T_{500} (detik)	<i>V-funnel</i> (detik)
VS1	≤ 2	≤ 8
VS2	> 2	9 - 25

VS1/VF1 memiliki kemampuan mengisi yang baik bahkan dengan tulangan padat dan umumnya memiliki permukaan akhir terbaik. Namun, campuran beton ini lebih mungkin menderita bleeding dan segregasi.

VS2/VF2 tidak memiliki batas kelas atas tapi dengan meningkatnya waktu aliran, lebih memungkinkan untuk menunjukkan efek *thixotropic*, yang mungkin dapat membantu dalam membatasi tekanan bekisting atau meningkatkan ketahanan terhadap segregasi. Efek negatif mungkin dialami mengenai permukaan akhir yang berlubang.

2.9 Beberapa Penelitian Terdahulu Mengenai Topik Penulisan

2.9.1 Beton serat

Penelitian oleh Hasanr dkk. (2013) mengenai pengaruh penambahan *polypropylene fiber mesh* terhadap sifat mekanis beton dengan berbagai kadar. Kadar serat yang dimasukkan dalam campuran beton adalah $0,0 \text{ kg/m}^3$; $0,4 \text{ kg/m}^3$; $0,6 \text{ kg/m}^3$; dan $0,8 \text{ kg/m}^3$ beton, dengan kuat rencana $f_c' 20 \text{ MPa}$. Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa, penambahan serat mengakibatkan menurunnya *workability* yang ditunjukkan dengan menurunnya nilai *slump*. Kesimpulan lainnya adalah kuat tekan beton meningkat sebesar 3,62% terhadap beton normal dengan kadar serat optimum $0,6 \text{ kg/m}^3$ beton, kuat tarik belah meningkat 20,44% dengan kadar optimum serat $0,65 \text{ kg/m}^3$ beton, dan kuat lentur meningkat 11,26% dari beton normal dengan kadar serat optimumnya adalah $0,58 \text{ kg/m}^3$ beton yang diuji pada umur 28 hari.

Penelitian yang dilakukan oleh Widodo (2008) pada beton SCC dengan penambahan serat *polypropylene* dan *superplasticizer* diperoleh bahwa penambahan serat *polypropylene* sebanyak 0-10% dari volume beton menyebabkan meningkatnya viskositas, berkurangnya *flowability*, dan

berkurangnya *passing ability* namun masih termasuk dalam kondisi beton SCC. Sedangkan semua varian (0-15%) dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan serat *polypropylene* menyebabkan berkurangnya rasio segregasi.

2.9.2 Self-compacting concrete dengan penambahan fly ash

Penelitian yang dilakukan oleh Kusuma, dkk. (2001) menunjukkan bahwa komposisi semen dengan bahan pengisi *fly ash* dilakukan dengan komposisi binder (semen : *fly ash*) 10:0, 8:2, 7:3, 6:4 dan sampai batas *flowability* dan *workability* yang dapat dikerjakan, yaitu 5:5. Dari segi *workability*, *flowability* dan kuat tekan beton, komposisi binder 6:4 dan dosis *viscocrete* 1.5 % merupakan kondisi yang optimal.

Penelitian yang dilakukan Oraibi, dkk. (2015) terhadap beton SCC dengan penambahan *fly ash* dengan kadar 0%, 15% dan 35% sebagai pengganti semen mendapatkan tiga kesimpulan dari penelitiannya. Pertama, hasil *Slump Flow test* meningkat sebagai jumlah *fly ash* meningkat dalam rentang yang diijinkan dari 500-700 mm sesuai dengan standar ASTM. Kedua, semakin tinggi kadar *fly ash* yang ditambahkan, kuat tekan dan modulus elastisitas semakin menurun. Kesimpulan terakhir menunjukkan bahwa kuat lentur optimal dicapai pada penambahan kadar *fly ash* 15%.

Penelitian yang dilakukan Pujianto (2010) dengan menggunakan bahan tambah *superplasticizer* dan *fly ash* menghasilkan kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari sebesar 57, 11 MPa dengan kadar *superplasticizer* yang digunakan sebesar 2% dan *fly ash* 12%, dan slump sebesar 14,95 cm dengan fas 0,3.

Penelitian yang dilakukan Kartini (2009) pada beton SCC dengan penambahan penambahan *finer* berupa *fly ash* dengan dosis 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% dari berat binder dan *admixture* Viscocrete-10 dengan dosis 1% dari berat binder menunjukkan bahwa pada pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton diketahui pengaruh *fly ash* yang paling efektif pada kadar 10 % dari berat binder dan menghasilkan kuat tekan umur 28 hari sebesar 755,81 kg/cm² dan umur 56 hari sebesar 801,11 kg/cm², dan nilai modulus elastisitas beton sebesar 42194,62 MPa. Kesimpulan lain didapat bahwa dari pengujian mengenai *workability* dan *flowability* dapat diketahui bahwa semakin banyak *fly ash* yang digunakan maka semakin menurun tingkat *workability* dan *flowability*nya.

2.9.3 *Self-compacting fibre reinforced concrete*

Asmara (2016), melakukan penelitian **Pengaruh Variasi Kadar Silica Fume terhadap Sifat Mekanik Self-Compacting Fibre Reinforced Concrete (SCFRC)**. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan 0,6 kg/m³ serat *polypropylene* pada beton SCC menurunkan kuat tekan sebesar 17,8% namun meningkatkan kuat tarik sebesar 8,97% daripada beton SCC tanpa serat, sedangkan penambahan *silica fume* paling optimum pada kadar 10% meningkatkan kuat tekan beton sebesar 52,35% dibandingkan beton normal.