

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Beton

Beton merupakan campuran antara semen, agregat kasar, agregat halus dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan membentuk masa padat (SK SNI T-15 1990-03:1). Beton yang paling padat dan kuat diperoleh dengan menggunakan jumlah air yang minimal konsisten dengan derajat workabilitas yang dibutuhkan untuk memberikan kepadatan maksimal. Derajat kepadatan harus dipertimbangkan dalam hubungannya dengan cara pemadatan dan jenis konstruksi, agar terhindar dari kebutuhan akan pekerjaan yang berlebihan dalam mencapai kepadatan maksimal (Murdock & Brook, 1991).

Beton umum digunakan pada konstruksi karena mempunyai banyak keuntungan antara lain bahan baku yang mudah didapat, mudah dibentuk sesuai kebutuhan, mampu memikul beban yang berat, biaya pemeliharaan yang kecil, serta memiliki kuat desak yang besar. Namun beton juga memiliki beberapa kelemahan, antara lain kuat tarik yang rendah, dan pengerjaan yang terkadang tidak mudah. Pada dasarnya beton mempunyai sifat dan karakteristik sendiri. Sifat beton merupakan hal yang erat kaitannya dengan kualitas beton yang dituntut untuk suatu tujuan konstruksi. Diharapkan dari suatu konstruksi adalah hasil yang didapat sesuai harapan secara maksimal tetapi secara ekonomis tidak terjadi pemborosan. Pada dasarnya beton mempunyai sifat khusus, atau dengan kata lain sifat-sifat yang ditinjau atau berhubungan dengan :

a. Kuat Tekan Kuat tekan beton lebih besar daripada kuat tariknya. Kuat tekan ini selalu bertambah bersamaan dengan bertambahnya umur beton.

b. Besarnya kuat tarik dan lentur

Kuat tarik beton berkisar seperdelapan belas kuat tekan pada umur yang masih muda dan berkisar sepersepuluh sesudahnya. Biasanya ini tidak diperhitungkan dalam perencanaan struktur beton.

- c. Besarnya kuat geser. Dalam praktek, kuat geser beton selalu diikuti oleh kuat tekan, tarik dan lentur, bahkan di dalam pengujian tidak mungkin menghilangkan elemen lentur (Murdock & K.M. Brook, 1991)
- d. Perubahan bentuk akibat pembebanan. Bilamana beton dibebani, perubahan bentuk terjadi dan bertambah sesuai dengan penambahan beban, sebagaimana baja dan bahan-bahan lain. Beton berubah bentuk sebagian mengikuti regangan elastis dan sebagian mengalami regangan plastis.
- e. Modulus elastisitas yang menjadi tolak ukur yang umum dari sifat elastis bahan adalah modulus elastisitas yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dan perubahan bentuk persatuan panjang sebagai akibat dari tekanan yang diberikan.

Pada umumnya jika berhubungan dengan tuntutan mutu dan keawetan yang tinggi diinginkan, ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dan diperhatikan dalam menghasilkan sebuah beton yang bermutu tinggi (Mulyono, 2004), diantaranya adalah sebagai berikut.

- a. Proporsi bahan – bahan penyusunnya.
- b. Metode perancangan.
- c. Perawatan.
- d. Keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan, yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat.

Beton yang sudah mengeras mempunyai nilai kuat tekan yang tinggi. Sedangkan beton yang dalam keadaan segar mudah dibentuk sesuai dengan keinginan perencana (*engineer*). Selain itu beton juga tahan terhadap serangan api dan serangan korosi. Menurut Mulyono (2004), secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah sebagai berikut :

- 1. Kelebihan beton.
 - a. Beton termasuk bahan yang berkekuatan tekan tinggi.
 - b. Harga relatif murah.
 - c. Beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak

- d. Akibat kuat tekannya tinggi maka jika dikombinasikan dengan baja tulangan (yang kuat tariknya tinggi) maka dapat dikatakan mampu dibuat untuk struktur berat.
 - e. Beton segar dapat disemprotkan dipermukaan beton lama yang retak maupun diisikan kedalam retakan beton dalam proses perbaikan.
 - f. Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang sulit.
 - g. Beton termasuk tahan aus dan tahan kebakaran sehingga biaya perawatan termasuk rendah.
2. Kekurangan beton.
- a. Beton mempunyai kuat tarik rendah sehingga mudah retak oleh karena itu perlu diberi tulangan.
 - b. Beton segar mengalami proses pengerutan saat terjadi proses pengeringan dan beton mengeras mengalami pengembangan jika basah.
 - c. Beton keras mengembang dan menyusut bila terjadi perubahan suhu sehingga perlu kelonggaran untuk mencegah retak-retak akibat perubahan suhu.
 - d. Beton sulit untuk kedap air secara sempurna sehingga selalu dapat dimasuki air, dan air yang mengandung garam dapat merusak beton.
 - e. Beton bersifat getas (tidak daktail) sehingga harus dilindungi dan didetail secara seksama agar diperoleh struktur yang komposit Sifat – Sifat Beton.

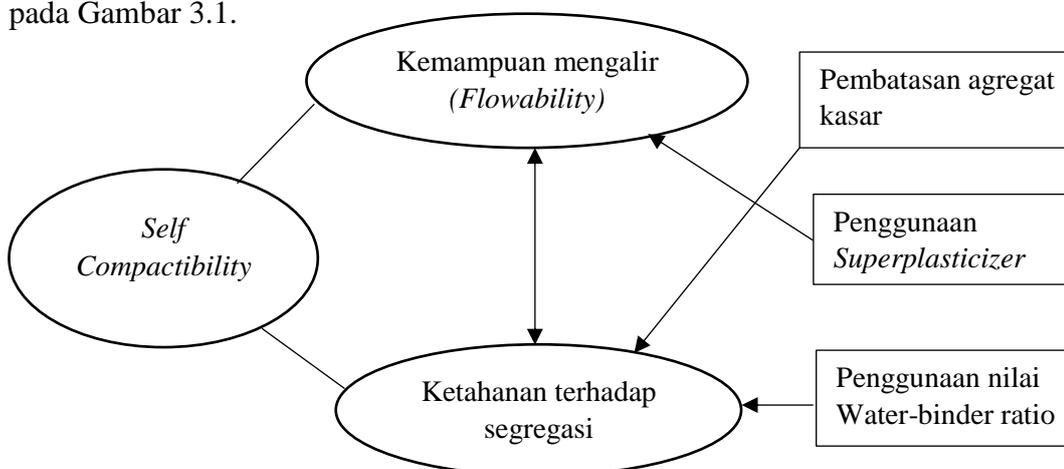
B. Definisi *Self Compacting Concrete*

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. SCC 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). Beton memadat sendiri pertama kali dikembangkan

di Jepang pada tahun 1990-an sebagai upaya untuk mengatasi persoalan pengecoran komponen gedung artistik dengan bentuk geometri tergolong rumit bila dilakukan pengecoran beton normal. Riset tentang beton memadat mandiri masih terus dilakukan hingga sekarang dengan banyak aspek kajian, misalnya ketahanan (*durability*), permeabilitas dan kuat tekan (*compressive strength*).

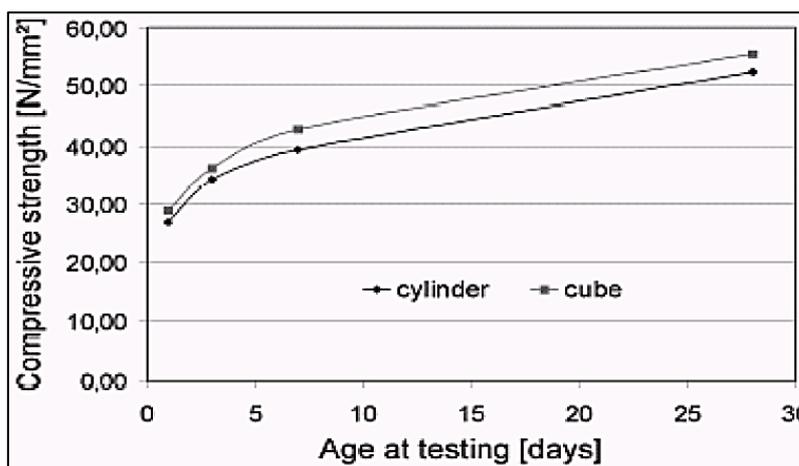
Beton dapat dikategorikan *Self Compacting Concrete* (SCC) apabila beton tersebut memiliki sifat-sifat tertentu. Diantaranya memiliki *slump* yang menunjukkan campuran atau pasta beton yang memiliki kuat geser dan lentur yang rendah sehingga dapat masuk dan mengalir dalam celah ruang dalam formwork dan tidak diizinkan memiliki segregasi akibat nilai *slump* yang tinggi. Karakteristik *Self Compacting Concrete* (SCC) adalah memiliki nilai *slump* berkisar antara 500-700 mm (Nagataki dan Fujiwara, 1995).

Superplasticizer 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 3.1.



Gambar 3.1 Prinsip dasar proses produksi *Self Compacting Concrete* (Dehn dkk, 2000).

Menurut Dehn dan kawan-kawan (2000), perkembangan kuat tekan beton yang tergolong *Self Compacting Concrete* lebih cepat dibandingkan dengan beton normal yang menggunakan *fly ash* sebagai pozolan tetapi lebih lambat jika dibandingkan dengan beton normal yang tidak menggunakan pozolan, sehingga disarankan untuk menggunakan kuat tekan pada umur 56 hari sebagai tolok ukur pengujian. Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2.

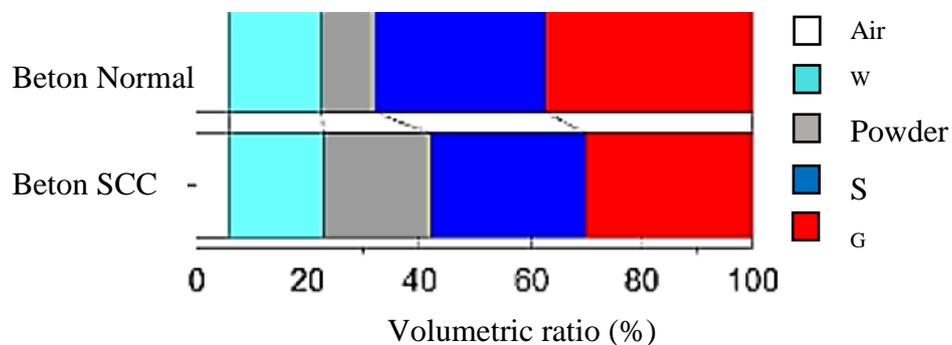


Gambar 3.2 Perkembangan kuat tekan *Self Compacting Concrete* (Dehn dkk, 2000)

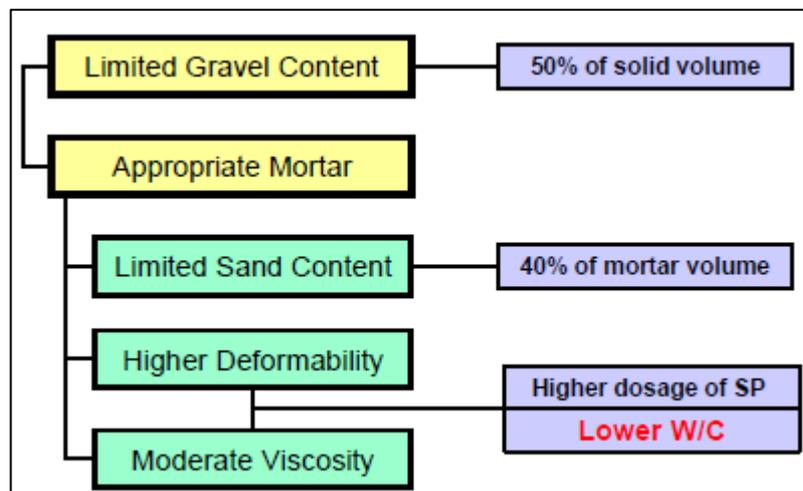
Self Compacting Concrete dapat diproduksi jika menggunakan *superplasticizer* yang diperlukan untuk mendispersikan (menyebarkan) partikel semen menjadi merata dan memisahkan menjadi partikel-partikel yang halus sehingga reaksi pembentukan C-S-H (*tubermorite*) akan lebih merata dan lebih aktif. Komposisi agregat kasar dan halus juga harus diperhatikan dalam proses produksi *Self Compacting Concrete*, mengingat semakin besar proporsi agregat halus dapat meningkatkan daya alir beton segar tetapi jika agregat halus yang digunakan terlalu banyak maka dapat menurunkan kuat tekan beton yang dihasilkan, sebaliknya jika terlalu banyak agregat kasar dapat memperbesar resiko segregasi pada beton. Sedangkan penggunaan bahan pengisi (*filler*) diperlukan untuk meningkatkan viskositas beton guna menghindari terjadinya *bleeding* dan segregasi, untuk tujuan tersebut dapat digunakan *fly ash*, serbuk batu kapur, *silica fume* atau yang lainnya (Persson, 2000).

C. Material Penyusun Beton *Self Compacting Concrete*

Bahan material penyusun dalam pembuatan beton *Self Compacting Concrete* (SCC) adalah semen portland, agregat kasar, agregat halus, dan air, dengan ada atau tidak bahan tambah yang tidak mengurangi dari mutu beton. Komposisi agregat kasar pada beton konvensional menempati 70-75 % dari total volume beton. Okamura dan Ouchi (2003) membandingkan beton konvensional dengan *Self Compacting Concrete* dari sisi proporsi pencampurannya, yang ditunjukkan pada gambar 3.3 dan gambar 3.4 .



Gambar 3.3 Perbandingan bahan campuran pada SCC dan beton konvensional (Okamura dan Ouchi, 2003)



Gambar 3.4 Bahan campuran beton SCC (Okamura dan Ouchi, 2003)

Berdasarkan gambar tersebut, diketahui bahwa pada volume yang sama, komposisi material yang diperlukan *Self Compacting Concrete* dan beton konvensional adalah berbeda. Komposisi *powder* pada *Self Compacting Concrete*

lebih banyak dibandingkan komposisi semen pada beton konvensional, *powder* pada *Self Compacting Concrete* dapat berupa semen ataupun berupa *binder* (bahan pengikat dalam campuran beton yang terdiri dari semen dan bahan pengisi). Sedangkan komposisi kerikil *Self Compacting Concrete* lebih sedikit dibandingkan komposisi kerikil pada beton konvensional.

1. Agregat

Mengingat bahwa agregat menempati 70%-75% dari total volume beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan (*workable*), kuat, tahan lama (*durable*) dan ekonomis.

a. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam *Self Compacting Concrete* yaitu ukuran maksimum 10 - 20 mm. Agregat kasar dapat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Distribusi ukuran partikel dan bentuk agregat kasar akan mempengaruhi aliran dan melewati kemampuan *Self Compacting Concrete* dan permintaan pasta nya. Semakin berbentuk bulat agregat cenderung menyebabkan blocking dan semakin besar aliran karena mengurangi gesekan internal. Persyaratan umum agregat kasar yang digunakan sebagai campuran beton menurut (PBI-1971) adalah sebagai berikut ini.

1. Agregat kasar berupa kerikil yang berasal dari batu-batuan alami, atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecah batu.
2. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering).
4. Tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.

Sebelum membuat benda uji agregat untuk campuran beton harus dilakukan dengan melakukan pengujian seperti yang telah distandarkan (analisa saringan, berat jenis, air resapan, berat volume, kelembapan, dan kebersihan agregat terhadap lumpur). Agregat kasar yang dipakai dalam penelitian ini adalah agregat kasar yang berasal dari batu pecah. Komposisi agregat kasar pada beton konvensional menempati 70-75% dari total volume beton. Sedangkan dalam *beton Self Compacting Concrete (SCC)*, penggunaan agregat kasar lebih sedikit, yaitu dibatasi jumlahnya maksimal 50 % dari total volume beton supaya bisa mengalir dan memadat sendiri tanpa alat pemadat. Selain itu pembatasan fraksi agregat kasar dimaksudkan untuk meningkatkan ketahanan terhadap segregasi. Sedangkan ukuran maksimum agregat kasar 10 mm dengan pertimbangan kemampuan mengalir beton segar.

b. Agregat Halus

Pengaruh agregat halus pada sifat segar *Self Compacting Concrete* secara signifikan lebih besar dari agregat kasar. Partikel ukuran pecahan kurang dari 0,125 mm harus mencakup konten pasta dan juga harus diperhitungkan dalam menghitung rasio bubuk air. Tingginya volume pasta di campuran *Self Compacting Concrete* membantu mengurangi gesekan internal antara partikel pasir tapi distribusi ukuran butir yang baik masih sangat penting. Banyak metode perencanaan campuran *Self Compacting Concrete* menggunakan pasir dicampur untuk mencocokkan kurva gradasi agregat dioptimalkan dan ini juga dapat membantu untuk mengurangi kandungan pasta. Agregat halus adalah agregat yang semua butirnya menembus ayakan 4,8 mm. Persyaratan umum agregat halus yang digunakan sebagai campuran beton adalah sebagai berikut (PBI-1971).

1. Agregat halus dapat berupa pasir alam yang diambil dari sungai atau berupa pasir buatan yang dihasilkan dari alat pecah batu.
2. Butirannya harus yang tajam dan keras, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.

3. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering)
4. Tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak. Untuk ini bisa dilakukan percobaan warna dari *Abrams-Harder* dengan larutan NaOH.

2. Semen

Semen merupakan bahan utama pembentuk beton yang bersifat hidrolis, yaitu akan memiliki sifat adhesif dan kohesif apabila telah bereaksi dengan air dan berperilaku sebagai perekat bagi agregat-agregat beton. Semen juga merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik disektor konstruksi sipil.

Semen *portland* adalah semen yang banyak digunakan dalam pekerjaan konstruksi. Menurut ASTM C-150, 1985, semen *portland* didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Penggolongan semen *portland* dibedakan menjadi 5 tipe umum. Penggolongan ini dimaksudkan agar penggunaan semen dapat lebih tepat guna dan spesifik. Penggolongan itu adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1 Jenis-Jenis Semen *Portland* Menurut ASTM C.150

Jenis Semen	Sifat Pemakaian	Kadar Senyawa (%)				Panas Hidrasi 7 Hari(J/g)
		C3S	C2S	C3A	C4Ar	
I	Normal	50	24	11	8	330
II, III	Modifikasi kekuatan awal	42	33	5	13	250
		60	13	9	8	500
IV	Tinggi Panas Hidrasi	60	13	9	8	210
V	Rendah Tahan Sulfat	40	40	9	9	250

Sumber : (ASTM C.150)

- a. Tipe I : Semen biasa yang sering digunakan untuk keperluan umum pada konstruksi . Tipe ini tidak memerlukan persyaratan khusus. Semen ini

digunakan pada bangunan beton yang tidak akan mengalami perubahan cuaca yang besar dan lingkungan yang korosif.

- b. Tipe II : Semen yang menghasilkan panas lebih rendah dan kecepatan ikat lebih rendah. Semen ini sedikit tahan terhadap sulfat. Semen ini merupakan semen yang dimodifikasi dengan menambah prosentase C2S dan mengurangi prosentase C3S dan C3A dari semen Tipe I.
- c. Tipe III : Semen dengan kecepatan kekuatan awal yang tinggi. Kekuatan 7 hari semen ini bisa sebanding dengan kekuatan 28 hari semen Tipe I. Kadar C3S dan C3A tinggi. Pada semen type III butiran semennya lebih halus dari semen Tipe I guna mempercepat proses hidrasi yang diikuti dengan percepatan pengerasan dan percepatan kekuatan.
- d. Tipe IV : Semen dengan suhu panas rendah dengan prosentase maksimum C3S 35% dan untuk C3A 7 % dan C2S minimum 40%. Baik untuk *mass concrete construction*.
- e. Tipe V : Semen yang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Reaksi antara C3A dan gips CaSO_4 menyebabkan terjadinya *kalsium sulfoaluminat*. Dengan cara yang sama dalam semen yang telah mengeras, hidrat dari C3A dapat bereaksi dengan garam-garam sulfat dari luar kemudian membentuk *kalsium sulfoaluminat* di dalam struktur semen yang telah terhidrasi tersebut.

3. Air

Air merupakan salah satu bahan yang penting dalam pembuatan beton, namun harganya paling murah. Fungsi air dalam campuran beton adalah untuk reaksi kimia yang menyebabkan berlangsungnya proses pengikatan dan pengerasan pada beton, serta sebagai menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar agregat mudah dikerjakan. Untuk bereaksi dengan semen, air hanya diperlukan 25%-30% saja dari berat semen. Selain itu, air juga digunakan untuk perawatan beton dengan cara pembasahan di cor setelah (Tjokrodinuljo, 2007). Air yang digunakan untuk pengadukan beton sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut ini.

- a. Air harus bersih.
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter.
- c. Tidak mengandung garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- d. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Faktor air semen sangat berpengaruh pada beton segar dan setelah mengeras. Sedangkan penggunaan air pada *Self Compacting Concrete* (SCC) lebih sedikit dibanding beton konvensional yaitu dengan FAS berkisar antara 0,28 – 0,50 atau dibatasi sebesar ± 200 liter/m³. Pengurangan penggunaan air ini bertujuan untuk mencegah terjadinya segregasi.

4. Bahan tambah (*Admixture*) *Superplasticizer*

Bahan tambah ialah suatu bahan berupa bubuk atau cairan yang ditambah ke dalam adukan beton selama pengadukan dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya (Spesifikasi Bahan Tambah untuk Beton, Standar SK SNI S -18 – 1990 - 03). *Superplasticizer (high range water reducer admixture)* yaitu bahan kimia yang berfungsi mengurangi air sampai 12% atau bahkan lebih (ASTM C494-82).

Bahan kimia tambahan (*chemical admixture*) untuk beton ialah bahan tambahan (bukan bahan pokok) yang dicampurkan pada adukan beton, untuk memperoleh sifat khusus dalam pengerjaan adukan, waktu pengikat, waktu pengerasan, dan maksud lainnya (Spesifikasi Bahan Bangunan A, bahan bangunan bukan logam, SK SNI S-04-1989-F).

Pembuatan *Self Compacting Concrete* (SCC) ini digunakan *superplasticizer* dengan nama dagang *Sika Viscocrete-1003*. *Sika Viscocrete-1003* adalah bahan tambah kimia (*chemical admixture*) yang melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara melapisi pasta semen sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton dan mempunyai pengaruh dalam meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar. Bahan ini digunakan dalam jumlah yang relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan

terjadinya *bleeding*. *Superplasticizer* dapat mereduksi air sampai 40% dari campuran awal. Beton berkekuatan tinggi dapat dihasilkan dengan pengurangan kadar air. Akibat pengurangan air akan membuat campuran lebih padat sehingga pemakaian *superplasticizer* sangat diperlukan untuk mempertahankan nilai *slump* yang tinggi. Keistimewaan penggunaan *superplasticizer* dalam campuran pasta semen maupun campuran beton sebagai berikut ini.

- a. Kandungan air dan semen tetap konstan sehingga didapatkan campuran dengan *workability* tinggi dan beton bisa mengalir dengan sendirinya tanpa terjadi pemisahan (*segregasi/bleeding*) yang umumnya terjadi pada beton dengan jumlah air yang lebih besar.
- b. Menyebarkan partikel semen dalam adukan beton segar dan dapat menghasilkan kepadatan beton yang lebih baik sehingga beton lebih kedap air.
- c. Kandungan air dan semen dengan faktor air semen yang di hasilkan konstan tetapi meningkatkan kemampuan kerjanya sehingga menghasilkan beton dengan kekuatan yang sama tetapi menggunakan semen lebih sedikit.
- d. Udara yang masuk lebih sedikit. Penambahan 1% udara ke dalam beton dapat menyebabkan pengurangan strength rata-rata 6%. Untuk memperoleh kekuatan yang tinggi, diharapkan dapat menjaga "air content" didalam beton serendah mungkin. Penggunaan *superplasticizer* menyebabkan sedikit bahkan tidak ada udara masuk kedalam beton.
- e. Mendispersikan partikel semen dari gumpalan partikel dan mencegah kohesi antar semen sehingga tidak adanya pengaruh korosi terhadap tulangan. Secara umum, partikel semen dalam air cenderung untuk berkohesi satu sama lainnya dan partikel semen akan menggumpal. Dengan menambahkan *superplasticizer*, partikel semen ini akan saling melepaskan diri dan terdispersi. semen lebih mengalir. Adapun spesifikasi (*technical data*) dari *Sika Viscocrete 1003* dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data teknis *Sika Viscocrete-1003*

Bentuk	Cair
Warna	Brownish
Kerapatan relatif @ 20°C	1,06
Kandungan material kering %	30
Dosis % berat semen	0,6-1,6
Ph	4,5
<i>Water Soluble Chloride Content %</i>	<0,1 <i>Chloride free</i>
<i>Equivalent Sodium Oxide as Na2O</i>	0,30

Sumber: www.sika.

2. Abu Ampas Tebu

Abu ampas tebu itu sendiri merupakan hasil dari limbah buangan yang berlimpah dari proses pembuatan ($\pm 30\%$ dari kapasitas giling). Abu ampas tebu merupakan pembakaran dari limbah ampas tebu. Pembakaran yang sangat sederhana dari sisa pabrik gula yang mempunyai kandungan silikat (SiO_2) 16,305%. Kemudian setelah diproses ulang lebih lanjut dan baik didapat bahwa ampas tebu yang dibakar pada suhu 6000°C dapat menghasilkan unsur $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ maksimum sebesar 77,33%. Sehingga dapat disimpulkan abu ampas tebu dapat dikatakan sebagai bahan pozolan yang baik. Komposisi kimia abu ampas tebu dapat dilihat dari Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Komposisi kimia abu ampas tebu

Component	MASS %
SiO_2	78,34
Al_2	8,55
Fe_2O	3,61
CaO	2,15
Na_2O	0,12
K_2O	3,46
MNO	0,13
TiO_2	0,50
BaO	< 0,16
P_2O_2	1,07
LOSS OF IGNITION	0,42

Sumber : Hasil penelitian (R.Srinivasan, 2010)

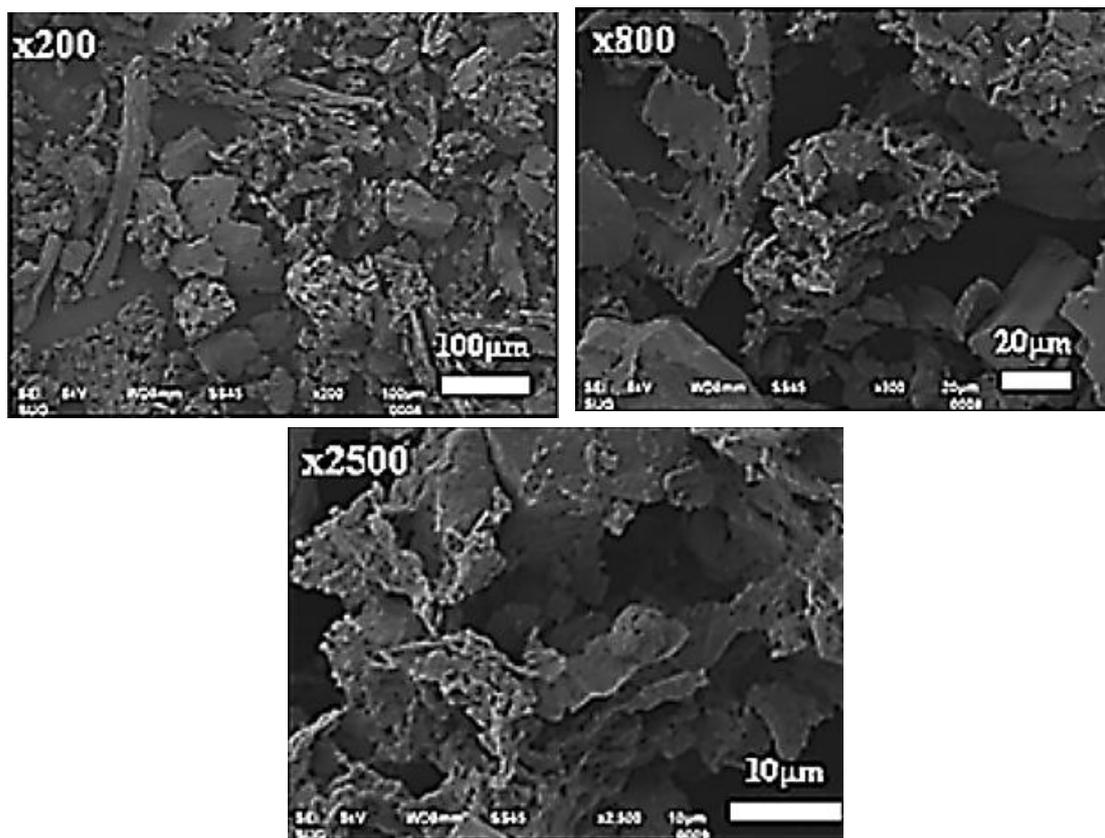
Dari Tabel 3.3 di atas dapat dilihat bahwa kandungan atau komposisi senyawa kimia yang dominan adalah SiO₂ (silica) sebesar 46-81%. Komposisi tersebut menguntungkan ampas tebu bila bahan ini digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran beton.

Abu ampas tebu tersebut mengandung unsur - unsur kimia SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ yang cukup tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pozolan yang baik untuk menggantikan sebagian semen *portland* dan meningkatkan kuat tekan beton serta waktu ikat awal beton yang dicampur dengan abu ampas tebu cukup tinggi. Penambahan pozolan dari abu ampas tebu sebanyak 20% dari berat semen portland berhasil meningkatkan kuat tekan beton sebesar 27% dibandingkan dengan beton standar pada umur 90 hari (Wibisono, Wibowo & Hatmoko dalam Agustina, 2012). Selain itu juga butiran-butiran halus didapat dari analisis saringan, mampu memberikan kelekatan dan pembungkusan agregat kasar. Sehingga pada pengujian *Slump Flow*, *V-Funnel*, dan *L-Box* dapat membantu untuk memenuhi beton SCC standar EFNARC (2005). Bentuk dan ukuran partikel abu ampas tebu lebih besar, dan seperti cristal (bersudut) jika dibandingkan dengan partikel semen yang kecil. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada Gambar 3.5. Adapun hasil pengujian abu ampas tebu dengan analisa saringan yang dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Hasil pengujian abu ampas tebu dengan analisa saringan

Ukuran	Berat Tertahan (gram)
No. 4 (4,8 mm)	0
No. 8 (2,4 mm)	0
No. 16 (1,2 mm)	59,18
No. 30 (0,6 mm)	290,24
No. 50 (0,3 mm)	230,29
No. 100 (0,15 mm)	251,25
Pan	169,04
Total	1000

Sumber : Data Uji Material Laboratorium Bahan dan Struktur UMY, 2015



Gambar 3.5 *Scanning Electron Micrograph* abu ampas tebu (R.Srinivasan, 2010).

D. Sifat *Self Compacting Concrete* (SCC)

Kriteria *workability* dari campuran beton yang baik pada *Self Compacting Concrete* (SCC) adalah mampu memenuhi kriteria berikut.

1. Sifat Beton Segar *Self Compacting Concrete*

a. Kemampuan mengisi ruangan (*fillingability*)

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 (SF_{50}) 3 – 15 detik dan diameter maksimum yang dicapai aliran beton (SF_{max}) 65 – 75 cm. (*Japan Society of Civil Engineers Guidelines for Concrete, 2007*). Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat *Fillingability* antara lain sebagai berikut.

- 1) Ukuran agregat kasar maksimal 20 mm.

- 2) Agregat kasar yang digunakan adalah 50% volume total, agar mortar dapat melewati sela-sela dari agregat kasar yang kurang rapat tersebut.
- 3) Penggunaan *superplastiziser* yang memadai dengan sangat ketat mengatur komposisi agregat pada campuran.
- 4) Rasio air-semen (*w/c-ratio*) yang rendah dengan mengendalikan volume agregat yang dikombinasikan dengan agregat pengisi berukuran sekitar 0,125 mm menyebabkan campuran beton ini tidak mudah mengalami segregasi.
- 5) Pemakaian butir batuan yang bulat dapat mempermudah pengerjaan adukan

b. Pengaliran (*flowability*)

Flowability pada *Self Compacting Concrete* dapat menunjukkan bahwa beton tersebut mempunyai pengaliran yang baik atau tidak. Pada *Self Compacting Concrete flowability* dapat diuji menggunakan uji *Flow table* dan *V-Funnel*. Pengujian *flow table* disyaratkan waktu yang diperlukan beton untuk mencapai diameter sebaran sebesar 500 mm (t_{500}) adalah 2-5 detik dan syarat diameter sebaran adalah 700 mm, sedangkan pada pengujian *v-funnel* tanpa serat waktu yang diperlukan beton untuk melewati celah hingga habis adalah 6-12 detik (Siddique,2001).

c. Kemampuan melewati tulangan (*passingability*)

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 *J-Ring flow table*, *L-Box* dan *Box Type*, 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*)

d. *Segregation Resistance*

Segregation merupakan kecenderungan dari butir-butir kerikil untuk memisahkan diri dari campuran adukan beton. Campuran beton yang kelebihan air semakin memperbesar terjadinya segregasi, dimana material yang berat mengendap ke dasar beton segar dan material yang lebih ringan

akan menuju ke permukaan. Hal ini dapat mengakibatkan adanya lubang-lubang pada beton, beton menjadi tidak homogen, permeabilitas berkurang, dan juga kurang awet. Dengan penggunaan *superplasticizer* maka *water/binder* dapat diperkecil, dalam takaran tertentu segregasi dapat dihilangkan yaitu dengan *trial mix design*. 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 Guidelines for Concrete, 2007*)

e. Kemudahan pengerjaan (*workability*)

Workability merupakan ukuran dari tingkat kemudahan adukan untuk diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan. Perbandingan bahan dan juga sifat bahan mempengaruhi kemudahan pengerjaan beton segar. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan antara lain sebagai berikut.

- 1) Jumlah air yang dipakai dalam adukan, semakin banyak air yang dipakai makin mudah beton segar dikerjakan
- 2) Penambahan semen dalam adukan akan diikuti penambahan air campuran untuk memperoleh nilai FAS tetap
- 3) Gradasi campuran agregat halus dan agregat kasar
- 4) Pemakaian butir batuan yang bulat dapat mempermudah pengerjaan adukan
- 5) Pemakaian butir maksimum agregat kasar

2. Sifat Beton Padat *Self Compacting Concrete*

a. Kekuatan (*strength*)

Kekuatan beton padat meliputi kekuatan tekan dan kekuatan tarik. Faktor air semen (FAS) sangat mempengaruhi kuat tekan beton. Semakin kecil FAS, sampai batas tertentu semakin tinggi kuat tekan beton. Kekuatan akan sesuai dengan yang direncanakan bila pada campuran beton tersebut menggunakan semen portland dengan kekuatan yang sesuai dengan persyaratan dan proporsi campuran dengan perencanaan yang tepat. Kekuatan beton akan semakin

meningkat dengan bertambahnya umur beton karena proses hidrasi semen yang ada dalam adukan beton akan terus berjalan walaupun lambat.

b. Ketahanan (*durability*)

Ketahanan beton dikatakan baik apabila dapat bertahan lama dalam kondisi tertentu tanpa mengalami kerusakan selama bertahun-tahun yang disebabkan faktor dari luar, erosi kembang dan susut akibat basah atau kering yang silih berganti dan pengaruh bahan kimia, dan faktor dari dalam yaitu akibat reaksi agregat dengan senyawa alkali.

c. Absorpsi dan Permeabilitas

Pada *Self Compacting Concrete* memiliki tingkat absorpsi dan permeabilitas yang rendah dikarenakan pada adukan beton segar faktor air-semen sangat rendah sehingga pada waktu mengeras, ruangan-ruangan dari penguapan air lebih kecil, dengan demikian beton dapat lebih kedap.

d. Porositas

Pada *Self Compacting Concrete* memiliki tingkat porositas yang rendah dikarenakan pada adukan beton segar faktor air-semen sangat rendah sehingga pada waktu mengeras, ruangan-ruangan dari penguapan air lebih kecil, dengan demikian porositas beton dapat berkurang.

E. Metode Pemeriksaan *Self Compacting Concrete* (SCC)

Metode test yang telah dikembangkan untuk menentukan karakteristik beton SCC yang bisa mewakili ketiga syarat di atas adalah sebagai berikut ini.

1. *J-Ring Test*

J-ring merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui hubungannya dengan tes slump untuk menilai kemampuan mengalirnya *Self Compacting Concrete* melalui celah-celah di hambatan, misalnya penguatan. kemampuan mengisi dan kemampuan berlalunya SCC. Hal ini juga dapat digunakan untuk mengetahui ketahanan SCC untuk pemisahan dengan membandingkan hasil tes dari dua bagian yang berbeda. Tes *J-ring* mengukur tiga parameter: aliran menyebar, waktu aliran T50 (opsional) dan langkah memblokir. Penyebaran aliran pada *J-ring* menunjukkan deformabilitas terbatas dari SCC karena

menghalangi efek penguatan bar dan waktu aliran T50 menunjukkan tingkat deformasi dalam jarak aliran. Untuk tes ini, alat uji slump digunakan dengan penampang persegi berupa lingkaran baja terbuka dengan 16 batang baja ($\phi 16$ mm) dan tinggi 100 mm. Celah antara baja adalah 42 mm. Penyebaran aliran adalah rata-rata diameter d_{max} dan diameter dalam. SJ dinyatakan dalam mm dengan ketelitian 5 mm. Pengujian *slump flow spread* dapat dihitung dengan Persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$Sf = \frac{(d_{max} + d_{perp})}{2} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana :

Sf = kemerosotan-aliran, dalam milimeter;

d_{max} = diameter terbesar dari aliran menyebar, dalam milimeter;

d_{perp} = aliran menyebar di 90° ke D1, dalam milimeter. Waktu T500 yang terdekat 0,5 s.

Aliran waktu T50 pada *J-ring* adalah periode antara saat kerucut diangkat dari alas pelat dan kemudian SCC pertama menyentuh lingkaran diameter 500 mm. T50 dinyatakan dalam detik ke terdekat 1/10 detik dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.2

$$BJ = \frac{(\Delta h_{x1} + \Delta h_{x2} + \Delta h_{y1} + \Delta h_{y2})}{4} - \Delta h_0 \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana :

BJ = kemampuan passing, diukur dengan langkah memblokir, dalam milimeter;

Δh = ketinggian pengukuran, dalam milimeter.

Cara kerja alat *Slump Cone* :

- a. *Slump Cone* diletakkan dengan posisi diameter yang kecil diletakkan di bawah. Di bagian dasar alat ini diletakkan papan yang datar.
- b. Campuran beton dimasukkan dalam *Slump Cone* sampai penuh. Campuran beton tersebut tidak boleh dirojak.
- c. *Slump Cone* diangkat secara perlahan.
- d. Waktu yang diperlukan aliran beton untuk mencapai diameter 50 cm dicatat (SF50), 3 – 6 detik.

e. Diameter maksimum yang dicapai aliran beton dicatat (SF_{max}), 65 – 75 cm.

2. *L- Box test*

L- Box merupakan alat berbentuk huruf L yang terbuat dari besi. Alat ini berfungsi untuk menguji *passing ability* dari *Self Compacting Concrete*. Pada alat ini, antara arah horizontal dan vertical dibatasi dengan sekat penutup yang terbuat dari besi yang dapat dibuka dengan cara ditarik ke atas. Di depan sekat penutup tersebut terdapat halangan berupa tulangan baja yang berfungsi untuk menguji kemampuan campuran beton dalam melewati tulangan yang sesuai dengan keadaan di lapangan. Selanjutnya dengan *L-Box test* akan didapat nilai *blocking ratio* yaitu nilai yang didapat dari perbandingan antara H_2 / H_1 . Semakin besar nilai *blocking ratio*, semakin baik beton segar mengalir. Untuk test ini kriteria yang umum dipakai baik untuk tipe konstruksi vertikal maupun untuk konstruksi horisontal disarankan mencapai nilai *blocking ratio* antara 0,8 sampai 1,0. Pengujian *L- Box* dapat dihitung dengan Persamaan 3.3 sebagai berikut ini.

$$PL = \frac{H_2}{H_1} \dots\dots\dots(3.3)$$

dimana

PL = rasio kemampuan passing yang diukur dengan tes L kotak;

H1 = kedalaman beton di bagian vertikal dari kotak, dalam milimeter;

H2 = kedalaman beton pada akhir bagian horizontal kotak, dalam millimeter.

Cara kerja alat *L-shaped Box*.

- a. Sekat penutup ditutup.
- b. Campuran beton segar diisikan pada arah vertikal sampai jenuh.
- c. Sekat penutup ditarik ke atas sampai terbuka sehingga campuran beton segar mengalir ke arah horizontal.
- d. Perbedaan tinggi aliran beton arah horizontal dicek.

Syarat-syarat *passing ability* yang harus dipenuhi oleh *Self Compacting Concrete* adalah nilai *Passing ability* (PA) 0,8 – 1,0.

3. *V-Funnel* Tes

Metode pengujian ini berguna untuk mengevaluasi ketahanan segregasi material beton *Self Compacting Concrete*. Berikut cara kerja alat *V-Funnel* tes:

- 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.

F. Kelebihan dan Kekurangan *Self Compacting Concrete* (SCC)

1. Kelebihan dari *Self Compacting Concrete*

a. Segi Durabilitas

- 1) Meningkatkan homogenitas dari beton
- 2) Dapat membungkus tulangan dengan baik
- 3) Porositas dari matrik beton yang rendah
- 4) *No carbonation, no chloride ingress*

b. Segi Produktivitas

- 1) Pengecoran yang cepat
- 2) Pemompaan yang lebih mudah
- 3) Pekerjaan pemadatan tidak perlu dilakukan lagi

c. Segi Tenaga Kerja

- 1) Human error akibat pemadatan yang kurang sempurna dapat dihilangkan
- 2) Angka kecelakaan tenaga kerja dapat diperkecil
- 3) Tidak ada polusi suara akibat vibrator
- 4) Tidak terjadi *Hand Arm Vibration Syndrom (HAVS)*
- 5) Tidak terjadi *White Fingers* akibat gangguan peredaran darah

2. Kekurangan *Self Compacting Concrete*

- a. *Self Compacting Concrete* lebih mahal di bandingkan beton konvensional, salah satunya penggunaan *superplasticizer*.
- b. Pembuatan cetakan beton harus diperhatikan karena mudah terjadi ke bocoran akibat sangat enceranya campuran beton.

G. Sifat Fisik dan Mekanik Material

Sebelum melakukan pembuatan benda uji beton, perlu dilakukan pengujian pada bahan penyusun beton, seperti pemeriksaan agregat halus dan agregat kasar. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pemeriksaan kadar air

Kadar air merupakan banyaknya air yang terkandung dalam suatu agregat. Kadar air merupakan agregat yang dapat dibedakan menjadi empat jenis, sebagai berikut.

- a. Kadar air kering tungku, yaitu keadaan yang benar – benar tidak berair.
- b. Kadar air kering udara, yaitu kondisi agregat dimana permukaannya kering tetapi sedikit mengandung air didalam porinya, dan masih bisa untuk menyerap air.
- c. Jenuh kering permukaan *SSD*, yaitu keadaan dimana tidak terdapat air pada permukaan agregat, tetapi agregat tersebut masih bisa untuk menyerap air.
- d. Kondisi basah, yaitu kondisi dimana butir – butir agregat banyak mengandung air pada campuran beton.

Dari keempat kondisi tersebut terdapat dua kondisi yang paling sering digunakan yaitu pada kondisi kering tungku dan kondisi *SSD*. Kadar air biasanya dinyatakan dalam persen dan dapat dihitung sebagai berikut.

$$KA = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \% \dots \dots \dots (3.4)$$

dengan :

KA = kadar air (%)

W_1 = berat talam/cawan (gram)

W_2 = berat talam/cawa + agregat (gram)

Agregat basah ditimbang beratnya (W_1), kemudian dikeringkan dalam tungku pada suhu $100^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, selama (16–24 jam) sampai beratnya konstan, kemudian ditimbang beratnya (W_2), maka kadar airnya (KA), dapat diketahui (Mulyono, 2004).

2. Pemeriksaan gradasi

Gradasi agregat adalah distribusi dari ukuran agregat, dengan menggunakan nilai persentase dari berat butiran yang tertinggal, atau melewati suatu ayakan/saringan. Tujuannya adalah untuk mengetahui jenis distribusi butiran agregat, yang mana distribusi agregat dibedakan menjadi tiga, yaitu.

- a. Gradasi sela (*gap grade*), jika salah satu atau lebih dari ukuran butir atau fraksi pada satu set ayakan/saringan tidak ada, maka gradasi ini akan menunjukkan satu garis horizontal dalam grafiknya.
- b. Gradasi menerus (*continous grade*), jika yang semua ukuran butirannya ada dan semuanya terdistribusi dengan baik.
- c. Gradasi seragam (*uniform grade*), jika terdapat agregat yang memiliki ukuran yang sama maka dapat didefinisikan sebagai agregat seragam. Agregat ini terdiri dari batas yang sempit dari ukuran fraksi, didalam diagram dapat terlihat garis yang hampir tegak lurus/vertikal.

Untuk mengetahui gradasi tersebut dilakukan pengujian melalui analisa ayak sesuai standar dari BS 812, ASTM C-33, C136, AASTHO T.27 ataupun standar Indonesia (SNI), (Mulyono, 2004). Agregat halus (pasir) dibagi menjadi empat jenis sesuai dengan jenis gradasinya, dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Batas – batas gradasi agregat halus

Lubang (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan jenis agregat halus			
	kasar	Agak kasar	Agak halus	halus
10	100	100	100	100
4,8	90 -100	90 – 100	90 - 100	95- 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,3	5 -20	8 – 30	12 – 40	15 - 50
0.15	0- 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Sumber : Kardiyono, 2010

3. Pemeriksaan berat jenis

Berat jenis digunakan untuk menentukan volume, yang diisi oleh agregat. Berat jenis dari agregat akan menentukan berat jenis beton, sehingga secara langsung menentukan banyaknya campuran agregat dalam campuran beton, (Mulyono,2004).

$$a. \text{ Berat jenis curah} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$b. \text{ Berat jenis jenuh kering muka} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$c. \text{ Berat jenis tampak} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \dots\dots\dots(3.7)$$

dengan :

B_k = berat kerikil setelah dikeringkan (gram)

B_j = berat kerikil keadaan jenuh kering muka (gram)

B_a = berat kerikil dibawah air (gram)

4. Pemeriksaan keausan

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin Los Angeles. Keausan tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no. 12 terhadap berat semula. Nilai yang diperoleh dari hasil pengujian ketahanan aus ini berupa prosentase antara berat bagian yang halus (lewat lubang ayakan 2 mm). Pada umumnya kerikil disyaratkan bagian yang aus/hancur tidak lebih dari 10% setelah diputar 10 kali, dan tidak boleh lebih dari 40% setelah diputar 100 kali. Silinder ini dilengkapi dengan bola – bola baja yang memiliki diameter 4,68 cm, dan berat masing – masing bola baja antara 390 – 445 gram, atau sesuai dengan gradasi benda uji, (Mulyono, 2004).

$$\text{Keausan} = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100\% \dots\dots\dots(3.8)$$

dengan :

B_1 = berat agregat sebelum masuk mesin *Los Angeles* (gram)

B_2 = berat agregat setelah masuk mesin *Los Angeles* (gram)

5. Pemeriksaan penyerapan air

Penyerapan air adalah persentase berat air yang mampu diserap agregat didalam air, serapan air dihitung dari banyaknya air yang mampu diserap oleh agregat pada kondisi jenuh permukaan (*SSD*),

- a. Keadaan basah agregat yang hampir sama dengan keadaan agregat didalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah atau mengurangi air dari pasta beton.
- b. Kadar air dilapangan lebih banyak mendekati kondisi *SSD* dari pada kondisi kering tungku.

$$\text{Penyerapan air agregat} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots(3.9)$$

dengan :

B_j = berat kerikil keadaan jenuh kering muka (gram)

B_k = berat kerikil setelah dikeringkan (gram)

6. Pemeriksaan berat satuan

Menurut Tjodydimulyo (2010) berat satuan dalam berat agregat dalam satuan bejana, yang dinyatakan dalam kg/m^3 , (dalam bejana terdiri atas volume butir meliputi pori tertutup dan volume pori terbuka). Pada umumnya nilai untuk agregat normal adalah.

- a. Porositas = 35% - 40%
- b. Kemampatan = 60% - 65%
- c. Berat jenis = 2,50 – 2,70
- d. Berat satuan = 1,50 – 1,80

$$\text{Berat satuan} = \frac{B_2 - B_1}{V} \dots\dots\dots(3. 10)$$

dengan :

B_1 = berat bejana kosong (kg)

B_2 = berat bejana kosong + kerikil (kg)

V = berat satuan (g/cm^3)

7. Pemeriksaan modulus halus butir

Modulus halus butir (*finnes modulus*) adalah suatu indek yang digunakan untuk mengukur kehalusan atau kekerasan butir – butir agregat (Abraham, 1918), modulus halus butir dapat didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir agregat yang tertinggal diatas ayakan ukuran 38 ; 19 ; 4.8 ; 2.4 ; 1.2 ; 0.6 ; 0.3 ; dan 0,15 mm, semakin besar nilai modulus halus butir suatu agregat maka akan semakin besar agregatnya. Biasanya agregat halus mempunyai modulus halus butir sekitar 1,50 – 3,8 sedangkan untuk agregat kasar memiliki nilai modulus halus butir sebesar 5-8, sedangkan untuk campuran untuk nilai modulus halus butir yang dapat dipakai sekitar 5,0 – 6,0. Hubungan untuk ketiga nilai modulus halus butir dapat dihitung menggunakan Rumus berikut.

$$W = \frac{K-C}{C-P} \times 100\% \dots\dots\dots(3.11)$$

dengan :

W = persentase berat agregat halus (pasir) terhadap berat agregat kasar (kerikil/batu pecah) (%).

K = modulus halus agregat kasar.

C = modulus butir agregat campuran.

P = modulus halus butir agregat halus.

8. Pemeriksaan kadar lumpur

Apabila agregat alam mengandung bahan – bahan organik maka proses hidrasi akan terganggu, sehingga bahan agregat tersebut tidak dapat digunakan dalam campuran beton. Bahan – bahan oraganik biasa dijumpai seperti dedaunan yang telah membusuk asam dan lainnya. Bahan ini banyak terdapat dalam agregat halus dibandingkan agregat kasar terutama yang berasal dari hulu sungai, (Mulyono, 2004).

Perhitungan kadar lumpur menggunakan Rumus sebagai berikut ini.

$$KL = \frac{B1-B2}{B1} \times 100\% \dots\dots\dots(3.12)$$

dengan :

KL = kadar lumpur (%)

B1 = agregat jenuh kering muka (gram)

B2 = agregat kering setelah dioven (gram)

H. Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton merupakan suatu hal yang kompleks jika dilihat dari perbedaan sifat dan karakteristik bahan penyusunnya, karena bahan penyusun tersebut akan menyebabkan variasi dari produk beton yang dihasilkan. Perancangan campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan suatu proporsi campuran bahan yang optimal dengan kekuatan yang maksimum (Mulyono, 2004). Menurut Tjokrodinuljo (2007), perancangan adukan beton bertujuan untuk mendapatkan beton yang baik sesuai dengan bahan dasar yang tersedia. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan sesuai yang disyaratkan
2. Mudah dikerjakan (*workability*)
3. Awet
4. Ekonomis

Untuk menghasilkan campuran beton yang diinginkan, diperlukan agregat yang baik mutunya. Proses pencampuran agregat halus dan agregat kasar harus dilakukan dengan benar dan tepat, sehingga diperoleh beton dengan mutu yang tinggi. Dalam perancangan campuran beton (*Mix Design*) ini menggunakan menggunakan *Indian Standar* (IS-10262-1982) yaitu *M20 Self Compacting Concrete* dan *European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete system* (EFNARC) tentang pengujian beton segar.

I. Perawatan Beton

Perawatan beton (*curing*) dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan ini dilakukan

minimal selama 7 hari dan untuk beton berkekuatan awal tinggi minimal 3 hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab.

Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedap terhadap air, ketahanan terhadap aus dan stabilitas dari dimensi struktur. Perawatan tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain sebagai berikut.

1. Menaruh beton segar dalam ruangan yang lembab,
2. Menaruh beton segar dalam genangan air,
3. Menaruh beton segar dalam air,
4. Menyelimuti permukaan beton dengan air,
5. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah,
6. Menyirami permukaan beton secara kontinyu,
7. Melapisi permukaan beton dengan air dengan melakukan *compound*.

Fungsi utama dari perawatan beton adalah untuk menghindarkan beton dari :

1. Kehilangan air-semen yang banyak pada saat-saat *setting time concrete*,
2. Kehilangan air akibat penguapan pada hari-hari pertama,
3. Perbedaan suhu beton dengan lingkungan yang terlalu besar.

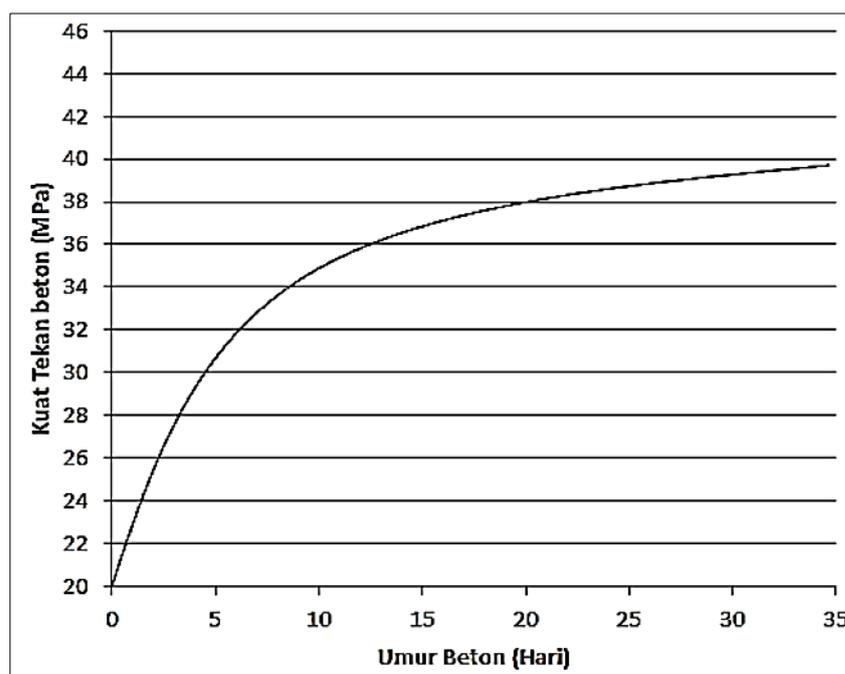
J. Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan beton seringkali menjadi parameter utama mengenal kinerja utama beton, karena kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kuat tekan beton adalah perbandingan beban terhadap luas penampang beton. Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan maksimum f'_c dengan satuan N/mm² atau MPa (*Mega Pascal*). Menurut Tjokrodinuljo (2007) kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sebagai berikut ini.

1. Umur beton

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naik secara cepat (linier) sampai umur 28 hari, tetapi

setelah itu kenaikannya relatif kecil. Biasanya kekuatan tekan rencana beton dihitung pada umur 28 hari. Laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya. Menurut Tjokrodinuljo (2007), kuat tekan beton akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksud umur disini adalah dihitung sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat tekan beton mula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan itu akan semakin lambat dan laju kenaikan itu akan menjadi relatif sangat kecil setelah berumur 28 hari. Secara umum kekuatan beton tidak naik lagi setelah berumur 28 hari. Sebagai standar kuat tekan beton (jika tidak disebutkan umur secara khusus) adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari, hubungan antara kuat tekan dan umur beton dapat di lihat pada Gambar 3.6.

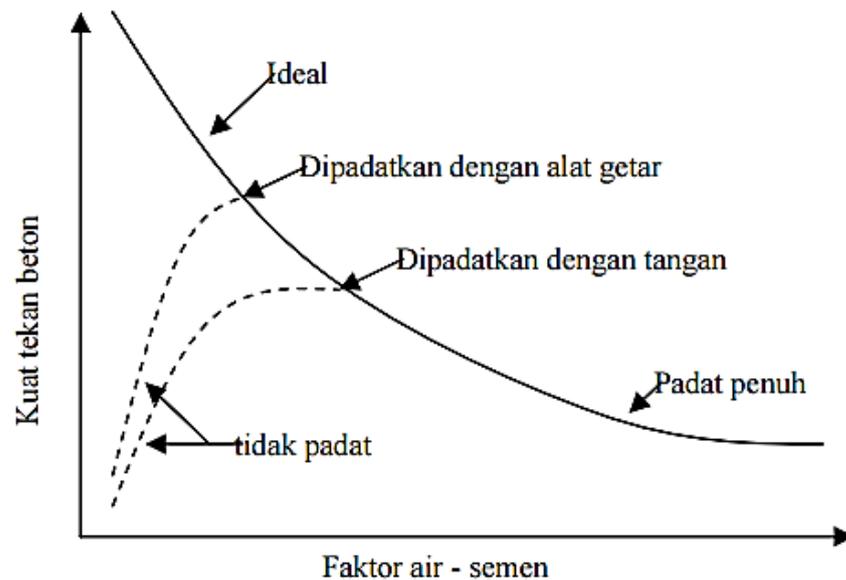


Gambar 3.6 Hubungan antara kuat tekan dan umur beton (Suryamir, 2013)

2. Faktor air semen

Faktor air semen adalah perbandingan berat antara air dan semen di dalam campuran adukan beton. Secara umum sudah diketahui bahwa semakin tinggi nilai fas, maka semakin rendah nilai kuat tekan beton yang didapatkan. Dan jika nilai fas semakin kecil, maka nilai kuat tekan beton yang didapatkan akan semakin tinggi seperti yang terlihat pada Gambar 3.7. Idealnya semakin

rendah fas kekuatan beton semakin tinggi, akan tetapi karena kesulitan pemadatan maka di bawah fas tertentu (sekitar 0,30) kekuatan beton menjadi lebih rendah, karena betonnya kurang padat akibat kesulitan pemadatan maka perlu digunakan alat getar (*vibrator*) atau dengan bahan kimia tambahan (*chemical admixture*) yang bersifat menambah kemudahan pengerjaan (Tjokrodimuljo, 2007).



Gambar 3.7. Hubungan antara faktor air semen dan kuat tekan silinder beton (Tjokrodimuljo, 1996)

Faktor air semen (fas, w/c) adalah angka yang menunjukkan perbandingan antara berat air dan berat semen. Pada beton mutu tinggi dan sangat tinggi, pengertian w/c bisa diartikan sebagai *water to cementious ratio*, yaitu rasio berat air terhadap berat total semen dan aditif *cementious* yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi (Supartono, 1998 dalam Mulyono, 2004).

3. Kepadatan

Kekuatan beton akan berkurang jika kepadatan beton kurang. Beton yang kurang padat berarti berongga sehingga kuat tekannya berkurang.

4. Jumlah pasta semen

Jumlah pasta semen dalam beton berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat. Jika pasta semen sedikit maka tidak cukup untuk mengisi pori-pori antar butir agregat dan tidak seluruh permukaan butir agregat terselimuti oleh pasta semen, sehingga rekatan antar butir kurang kuat dan berakibat kuat tekan beton menjadi rendah. Akan tetapi jumlah pasta semen juga tidak boleh terlalu banyak karena kuat tekan pasta semen lebih rendah dibandingkan dengan agregat, maka jika terlalu banyak pasta semen kuat tekan beton akan menjadi rendah.

5. Jenis semen

Semen portland untuk pembuatan beton terdiri dari beberapa jenis, masing-masing jenis semen portland mempunyai sifat tertentu, sehingga mempengaruhi pula terhadap kuat tekan beton.

6. Sifat agregat

Jika agregat yang dipakai mempunyai kuat tekan yang rendah maka akan diperoleh kuat tekan beton yang rendah pula. Hal ini disebabkan karena sekitar 70% volume beton terisi oleh agregat.

Menurut Asroni (2010) kuat tekan silinder beton dapat dihitung dengan

Persamaan 3.3

$$f'c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (3.13)$$

dengan :

$f'c$ = Kuat tekan silinder beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi beberapa jenis sebagaimana terdapat pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Jenis beton menurut kuat tekan

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton Sederhana (<i>plain concrete</i>)	0 – 10
Beton Normal	10 – 30
Beton pra-tegang	30 – 40
Beton tinggi	40 – 80
Beton sangat tinggi	> 80

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007