

Dr. Adnan, ST., MT

TEKNOLOGI BETON

SELF COMPACTING CONCRETE TERHADAP
PERILAKU LENTUR BALOK BETON



Teknologi Beton

Self Compacting Concrete Terhadap Perilaku Lentur Balok Beton

Dr. Adnan, ST., MT



Duta Media Press

**UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 28 TAHUN 2014 TENTANG HAK CIPTA**

LINGKUP HAK CIPTA

Pasal 1

1. Hak Cipta adalah hak eksklusif pencipta yang timbul secara otomatis berdasarkan prinsip deklaratif setelah suatu ciptaan diwujudkan dalam bentuk nyata tanpa mengurangi pembatasan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

KETENTUAN PIDANA

Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratusjuta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satumiliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsure e sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

TEKNOLOGI BETON SELF COMPACTING CONCRETE TERHADAP PERILAKU LENTUR BALOK BETON

Penulis:

Dr. Adnan, ST., MT

All rights reserved

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Hak Penerbitan pada Duta Media Press

ISBN: 978-623-10-0789-6

Editor:

Baiq Ismiati

Tata Letak Isi:

Lukman Surya

Desain Cover:

Miftahul Ulum

x + 145 hlm: 14 x 21 cm

Cetakan Pertama, Mei 2024

Nama penerbit;

PT. Duta Media Press

Alamat : Jl. Abiyasa, Ngentak, Bangunjiwo, Kasihan, Bantul
D.I Yogyakarta

Web : dutamediapress.com

Email : dutamediapres@gmail.com

No. wa : 0889-5849-917

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, maka Penulisan Buku ini dapat diselesaikan. Buku referensi ini berisikan tentang Teknologi Beton *Self Compacting Concrete*: 1) Pengertian Beton, Pengertian Beton Self Compacting Concrete, dan karakteristik Beton Self Compacting Concrete; 2) EFNARC Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete; 3) Material penyusun Beton Self Compacting Concrete; 4) Perilaku Mekanis Beton Self Compacting Concrete; 5) Perilaku Lentur Beton Self Compacting Concrete.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Parepare, Mei 2024
Penulis

Dr. Adnan, ST., MT

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	iii

BAB 1

PENDAHULUAN	1
A. Pengertian Beton	1
B. Self-Compacting Concret	3
1. Pengertian Self Compacting Concret	3
2. Spesifikasi dan Kelebihan	9
3. Karakteristik Beton SCC	12

BAB 2

EFNARC, SPECIFICATION AND GUIDELINES FOR SELF COMPACTING CONCRETE	19
A. Specification	19
B. ANNEX A: Guidance Notes	36
C. Annex B: Check List	44
D. Annex C: Trouble Shooting Guide	47
E. Test Methods	51

BAB 3

MATERIAL PENYUSUN BETON SELF COMPACTING CONCRETE	77
A. Agregat	77
B. Agregat Kasar (Batu Pecah)	79
C. Agregat Halus (Pasir)	84
D. Semen Portland Bahan Tambah	

(Admixture)	85
E. Bahan Tambah (Admixture).....	88
F. Fly Ash	98
G. Air.....	100

BAB 4

PRILAKU MEKANIS BETON SELF COMPACTING CONCRETE..... 103

A. Beton Segar	103
B. Beton Keras	107
C. Kuat Lentur Beton	113
D. Kuat lentur balok persegi.....	116

BAB 5

PERILAKU LENTUR BETON SELF COMPACTING CONCRETE..... 121

A. Pengujian Karakteristik Agregat	122
B. Mix Design	122
C. Slump Flow beton segar.....	123

BAB 6

PENUTUP.....	135
DAFTAR PUSTAKA	137
PROFIL PENULIS.....	143
INDEKS	145

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Prinsip Dasar Proses Produksi SCC (Dhen dalam Adrianingtias,2013)	6
Gambar 1.2.a	U-Box Test (Sumber : EFNARC Standard, 2005)	13
Gambar 1.2.b	Slump-Flow Test (Sumber : EFNARC Standard, 2005)	14
Gambar 1.3	Slump-flow Test (Sumber : EFNARC Standard, 2005)	15
Gambar 1.4	Slump-flow Test (Sumber : EFNARC Standard, 2005)	16
Gambar 1.5	V-Funnel Test (Sumber : EFNARC Standard, 2005)	16
Gambar 1.6	Konsep Dasar Proses Produksi Beton SCC	17
Gambar 2.1	Mix design procedure	40
Gambar A2.2	Determination of water powder ratio bp	42
Gambar A2.3	Flow cone and table to determine the relative slump - flow Gp	43
Gambar A2.4	V-funnel to determine the flow time of the mortar	43
Gambar D2.5	The apparatus.	53
Gambar D2.6	the J Ring used in conjunction with the Slump flow	56
Gambar D2.7	V-funnel test equipment (rectangular section)	61
Gambar D2.8	The apparatus L-box	65
Gambar D2.9	U box test method	68
Gambar D2.10	Fill box test method	70
Gambar D2.11	Orimet test	75

Gambar 3.1	Super Plasticizer dalam Material Beton (Karina, 2018)	90
Gambar 4.1	Kurva susut - waktu	108
Gambar 4.2	Efek Rasio Air/Semen dan Kandungan Agregat Terhadap Susut	109
Gambar 4.3	Kurva Regangan - waktu	111
Gambar 4.4	Proses uji kuat lentur	115
Gambar 4.5	Balok menahan momen ultimate	117
Gambar 4.6	Blok tegangan ekuivalen	118
Gambar 4.7	Blok tegangan ekuivalen	119
Gambar 5.1	Slump test beton normal	123
Gambar 5.2	Slump flow test beton self compacting concrete	124
Gambar 5.3	Pengujian Kuat tekan Beton Self Compacting Concrete	126
Gambar 5.4	Pengujian Kuat lentur Beton Self Compacting Concrete	128
Gambar 5.5	Hubungan beban dan lendutan beton normal .	129
Gambar 5.6	Hubungan beban dan lendutan beton self compacting concrete	130
Gambar 5.7	Daktilitas beton self compacting concrete terhadap beton normal	131
Gambar 5.8	Pola retak beton normal	132
Gambar 5.9	Pola retak beton self compacting concrete	132
Gambar 5.10	Pola runtuh beton self compacting concrete	133
Gambar 5.11	Tulangan tekan tertekuk keatas pada beton self compacting concrete	134

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Sifat Mekanis SCC Sumber : Ouchi, 2003	17
Tabel 2.1	List of test methods for workability properties of SCC.	27
Tabel 2.2	Workability properties of SCC and alternative test methods.	27
Tabel 2.3	Acceptance criteria for Self-compacting Concrete	29
Tabel 2.4	Checklist has been designed to aid Specifiers	48
Tabel 2.5	C.1a: Fault-finding for low results	48
Tabel 2.6	C.1b: Fault-finding for high results	48
Tabel 2.7	C.2: Possible corrective actions from identified faults	49
Tabel 3.1	Komposisi Bahan Utama Semen	85
Tabel 3.2	Komposisi Material Kimia Semen (% dalam berat)	87
Tabel 5.1	Pemeriksaan Karakteristik Agregat	122
Tabel 5.2	Mix disain beton self compacting concrete, perencanaan disain 1 m3 beton.	123
Tabel 5.3	Panjang pengaliran L-flow	124
Tabel 5.4	Kuat tekan beton terhadap umur perawatan	126
Tabel 5.5	Hasil pengujian kuat lentur balok beton 10x10x40 cm pada umur 28 hari	127
Tabel 5.6	Hasil uji pembebanan balok beton bertulang	128

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Pengertian Beton

Pengertian beton, Menurut SNI 2847:2013, beton adalah campuran semen portland atau semenhidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*). Material penyusun beton dibagi menjadi dua kelompok yaitu aktif dan pasif. Kelompok bahan aktif, yaitu semen dan air, sedangkan kelompok bahan pasif, yaitu pasir dan kerikil (disebut agregat halus dan agregat kasar). Kelompok bahan pasif disebut pengisi sedangkan yang aktif disebut pengikat/perekat (Tjokrodimulyo, 1996). Material penyusun beton dicampur merata dengan komposisi tertentu menghasilkan suatu campuran yang homogen sehingga dapat dituang ke dalam cetakan yang dibentuk sesuai keinginan.

Campuran tersebut bila dibiarkan akan mengalami pengerasan sebagai akibat dari reaksi kimia antara semen dan air yang berlangsung selama jangka waktu panjang atau dengan kata lain campuran beton akan bertambah keras sejalan dengan umurnya (Istimawan Dipohusodo, 1949). Pada dasarnya, semua beton sama dengan beton normal, yang membedakan adalah material tambahan

yang digunakan untuk memperoleh beton dengan tujuan tertentu. Jenis beton dapat dibedakan berdasarkan material pembentuk dan kegunaan strukturnya, misalnya beton kertas, beton serat, beton dengan HVFA, dan beton yang mampu mengalir dan memadat sendiri (*self compacting concrete*).

Banyak penelitian yang menggunakan berbagai macam material tambahan yang beberapa diantaranya sudah diaplikasikan langsung dilapangan dalam dunia konstruksi. Beton polos didapat dengan mencampurkan semen, agregat (*aggaregate*) halus, agregat kasar, air dan kadang-kadang campuran lain (Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, 1986), beton ringan struktural dapat diproduksi dengan menggunakan agregat ringan alami salah satunya adalah pumice (Aris Sutrisno dan Slamet Widodo, 2013), beton serat oleh (Mudji Suhardiman, 2011) didefinisikan sebagai beton dengan campuran agregat halus, kasar dan sejumlah kecil serat fibre (ACI COMMITTEE 544, 1982).

Beton yang mampu mengalir dan memadat sendiri (*self compacting concrete*) menurut (Kukun Riyandi dkk, 2012) beton memadat mandiri (*self compacting concrete*, SCC) adalah beton yang mampu mengalir sendiri yang dapat dicetak pada bekisting dengan tingkat penggunaan alat pemadat yang sangat sedikit atau bahkan tidak dipadatkan sama sekali. Beton ini, memanfaatkan pengaturan ukuran agregat, porsi agregat dan zat admixture berupa superplastiziser untuk mencapai kekentalan khusus yang memungkinkannya mengalir sendiri tanpa bantuan alat pemadat. Sekali dituang ke dalam cetakan,

beton ini akan mengalir sendiri mengisi semua ruang mengikuti prinsip grafitasi, termasuk pada pengecoran beton dengan tulangan pembesian yang sangat rapat. Beton ini akan mengalir ke semua celah di tempat pengecoran dengan memanfaatkan berat sendiri campuran beton. (Ladwing et Al, 2001). Sedangkan menurut (Mochamad Solikin, 2012) beton dengan penggunaan fly ash dalam prosentase tinggi disebut high volume fly ash concrete (HVFAC) adalah beton dimana setidaknya minimal 50% penggunaan jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan fly ash baik berupa kelas F fly ash maupun kelas C fly ash. Menurut ASTM C-618, penggunaan fly ash untuk tipe F dibatasi pada nilai 15% – 20%, sedangkan untuk tipe C dibatasi pada nilai 25% – 35% dari total berat binder.

Istilah high volume fly ash concrete (HVFA) sendiri pertama kali diperkenalkan oleh peneliti di pusat penelitian CANMET Kanada pada tahun 1980an (Malhotra and Mehta, 2005). Pembentukan beton alternative tersebut pada umunya sama dengan beton normal, yang membedakan pada beton alternative tersebut komposisi material pembentuknya diberikan zat additive atau material pengganti maupun pencampur untuk mencapai beton dengan tujuan yang diinginkan.

B. Self-Compacting Concrete (SCC)

1. Pengertian Self-Compacting Concrete (SCC)

Self Compacting Concrete (SCC) adalah suatu perkembangan teknologi beton di dunia konstruksi. Beton ini dapat mengalir dan memadat dengan sendirinya tanpa

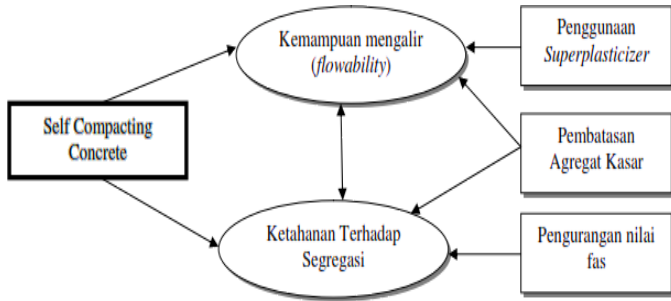
proses pemadatan dengan metode getaran atau metode lainnya sehingga dapat terpenuhi bagian-bagian yang sulit dijangkau pada saat pengecoran. Beton SCC diharapkan dapat jadi solusi permasalahan yang sering kali terjadi pada proses pengecoran beton bertulang. Beton SCC memiliki kandungan yang sama dengan beton konvensional, hanya saja diberi suatu admixture kimiawi berupa viscocrete dan bahan pozzolan. Self compacting concrete atau yang biasa disingkat SCC merupakan beton inovatif yang dapat memadat sendiri dan mampu mengalir dengan beratnya sendiri untuk mengisi cetakan bekisting bahkan pada sudut-sudut yang terkecil dan tanpa mengalami pemisahan bahan-bahan pembentuk beton atau yang dikenal segregasi. Self compacting concrete pertamakali mulai dikembangkan di negara Jepang sekitar tahun 1990. Di negara maju seperti Jepang, self compacting concrete (S.C.C) telah diaplikasikan dengan baik dan mengalami peningkatan penggunaan yang pesat khususnya di dunia concrete production. Penelitian tentang komposisi self compacting concrete masih terus dikembangkan untuk mendapatkan komposisi bahan yang lebih baik lagi.

Beton Memadat mandiri, biasa disebut dengan SCC, adalah campuran beton yang mampu memadat sendiri tanpa menggunakan alat pemadat atau mesin penggetar (vibrator). SCC pertama kali diperkenalkan oleh Okamura 1990-an, sebagai upayamengatasi persoalan pengecoran di Jepang. Campuran SCC segar ini lebih cair daripada campuran beton konvensional. Campuran ini dapat mengalir dan memadatke setiap sudut struktur bangunan yang

sulit dijangkau oleh pekerja dan mengisi tinggi permukaan yang diinginkan dengan rata (*self leveling*) tanpa mengalami bleeding. Selain itu campuran ini mampu mengalir melalui celah-celah antar besi tulangan tanpa terjadi segregasi atau pemisahan materialnya (Sholihin As'ad, 2012). Self compacting concrete m

Memanfaatkan pengaturan ukuran agregat, porsi agregat dan van admixture superplastiziser untuk mencapai kekentalan khusus yang memungkinkannya mengalir sendiri tanpa bantuan alat pemadat. Sekali dituang kedalam cetakan, beton ini akan mengalir sendiri mengisi semua ruang mengikuti prinsip grafitasi, termasuk pada pengecoran beton dengan tulangan pembesian yang sangat rapat. Beton ini akan mengalir ke semua celah di tempat pengecoran dengan memanfaatkan berat sendiri campuran beton. (Ladwing, II – M. Woise, F., Hemrich, W. and Ehrlich, N. 2001).

Untuk memperoleh beton yang mampu mengalir tanpa terjadi pemisahan material, maka digunakan high range water reducer atau “Superplasticizer”. Superplasticizer diperlukan untuk mendispersikan (menyebarkan) partikel semen menjadi merata dan memisahkan menjadi partikel-partikel yang halus sehingga reaksi pembentukan C-SH (tobermorite) akan lebih merata dan lebih aktif (Angelina, 2012). Hubungan penggunaan superplasticizer dan sifat beton segar pada proses produksi SCC dapat dilihat pada Gambar 1.1 sebagai berikut:



Gambar 1.1. Prinsip Dasar Proses Produksi SCC (Dhen dalam Adrianingtias, 2013)

Menurut Okamura H. (1995) kriteria bahan campuran pada beton SCC adalah

- SCC memerlukan agregat halus yang lebih banyak dibandingkan dengan beton konvensional.
- Ukuran agregat kasar biasanya antara 12 mm sampai 20 mm.
- Semen dan fly ash diberikan sesuai perbandingan binder.
- Untuk mendapatkan workabilitas yang tinggi dan homogenitas beton diperlukan viscocrete admixtures.

Perbedaan utama self compacting concrete (SCC) dibandingkan dengan beton konvensional terletak pada komposisi campuran beton, yaitu penggunaan porsi bahan pengisi sekitar 40% dari volume total campuran. Bahan pengisi ini adalah pasir butiran halus dengan ukuran maksimum kurang dari 0,125mm. Porsi besar bahan ini menyebabkan campuran beton cenderung seperti pasta (Okamura dan Ouchi, 2003).

Berdasarkan EFNARC Specification and Guidelines for Self Compacting Concrete tahun 2002, beton dikatakan sebagai SCC apabila memenuhi sifat sebagai berikut:

1) Sifat Beton Segar SCC

- a) Kemampuan mengisi ruang (Filling ability); Filling ability adalah kemampuan beton SCC untuk mengalir dan mengisi keseluruhan bagian cetakan melalui berat sendirinya. Unsur – unsur yang mempengaruhi sifat ini adalah: - Ukuran agregat kasar maksimal 20 mm.
 - Agregat kasar yang digunakan adalah 50% dari volume total, agar mortardapat melewati sela-sela dari agregat kasar yang kurang rapat tersebut.
 - Penggunaan superplasticizer yang memadai 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.
- b) Kemampuan melewati tulangan (Passing ability); Passing ability adalah kemampuan beton SCC untuk mengalir melalui celah-celah antar besi tulangan atau bagian celah yang sempit dari cetakan tanpa terjadi adanya segregasi atau blocking. Sifat passing ability dapat diketahui melalui pengujian J-Ring, L-Box, dan Box Type

c) Ketahanan terhadap segregasi (Segregation resistance); Segregation merupakan perilaku dari butir-butir krikil untuk melepaskan diri dari campuran adukan beton, sehingga Segregation resistance adalah kemampuan beton SCC untuk menjaga tetap dalam keadaan komposisi yang homogen selama waktu transportasi sampai pada saat pengecoran. Faktor penyebab terjadinya segregasi adalah sebagai berikut:

- Ukuran partikel lebih besar dari 25mm
- Berat jenis agregat kasar yang berbeda dengan agregat halus
- Kurangnya jumlah material halus dalam campuran
- Bentuk butir tidak rata dan kurang bulat
- Campuran terlalu basah atau kering.

2) Sifat Beton Padat SCC

a) Kekuatan (Strength)

Kekuatan beton padat meliputi kekuatan tekan dan kekuatan tarik. Faktor air semen(fas) sangat mempengaruhi kuat tekan beton. Semakin kecil faktor air semen (fas), sampai batas tertentu maka semakin tinggi kuat tekan beton.

b) Ketahanan (Durability) yang tinggi

Ketahanan beton dikatakan baik apabila dapat bertahan lama dalam kondisi tertentu tanpa mengalami kerusakan selama bertahun-tahun yang disebabkan oleh 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 yang rendah. Self Compacting Concrete (SCC) memiliki tingkat absorpsi dan permeabilitas yang rendah dikarenakan pada adukan beton segar faktor air-semen sangat rendah sehingga pada waktu mengeras, ruangan-ruangan dari peng-uapan air lebih kecil, sehingga beton dapat lebih kedap.
- d) Mampu membentuk campuran beton yang homogen. Untuk membuat campuran SCC yang baik, metode rencana campuran yang biasa tidak dapat digunakan. Okamura (1993), mengusulkan metode rencana campuran yang sederhana dengan mengacu pada material yang sudah tersedia pada pabrik beton ready-mix. Kadar agregat kasar dan halus ditentukan terlebih dahulu dan self compacting (pemadatan sendiri) didapatkan dengan mengatur faktor water per powder dan dosis superplasticizer saja.

2. Spesifikasi dan Kelebihan

Spesifikasinya antara lain;

- a) Agregat kasar yang digunakan adalah 50% volume solid, agar mortar dapat melewati selasela dari agregat kasar yang kurang rapat tersebut.

- b) Volume agregat halus ditetapkan hanya 40% dari total volume mortar, yang bertujuan mengisi void dari agregat kasar.
- c) Rasio volume untuk air dan powder yang rendah, dan
- d) Dosis superplasticizer yang tinggi.

Pada beton konvensional, faktor air semen digunakan untuk mendapatkan kekuatan akhir, sementara pada SCC faktor air semen digunakan untuk mendapatkan sifat self compacting (pemadatan sendiri). Faktor ini sangat mempengaruhi sifat beton segarnya, dan kekuatan hanya sebagai *quality control*. Kemampuan beton SCC yang dapat mengalir membuat beton jenis ini dapat dipompa dan dialirkan melalui pipa. Hal ini sangat membantu sekali dalam pekerjaan di proyek terutama ketika hendak mengerjakan struktur dengan elevasi yang tinggi. Selain itu, pen-cegahan segregasi agregat yang tinggi membuat SCC lebih unggul karena dengan tinggi jatuh mencapai kurang lebih 2meter beton jenis ini tidak mengalami segregasi. Dalam penelitian ini rencana campuran yang digunakan mengacu pada metode rencana campuran Okamura Jepang.

Superplasticizer mempunyai pengaruh yang besar dalam meningkatkan workabilitas beton. Ini merupakan sarana untuk menghasilkan beton mengalir tanpa terjadi pemisahan (segregasi / bleeding) yang umumnya terjadi pada beton dengan jumlah air yang besar, maka bahan ini berguna untuk pencetakan beton di tempat-tempat yang sulit seperti tempat pada penulangan yang rapat. Superplasticizer dapat memperbaiki workabilitas namun tidak

berpengaruh besar dalam meningkatkan kuat tekan beton untuk faktor air semen yang diberikan. Namun kegunaan superplasticizer untuk beton mutu tinggi secara umum sangat berhubungan dengan pengurangan jumlah air dalam campuran beton. Pengurangan ini tergantung dari kandungan air yang digunakan, dosis dan tipe dari superplasticizer yang dipakai. Kegunaan dari superplasticizer dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Meningkatkan workabilitas sehingga menjadi lebih besar daripada water reducer biasa dan mampu mengurangi kebutuhan air (25-35%).
2. Memudahkan penuangan pada tulangan yang rapat atau pada bagian yang sulit dijangkau oleh pemada-tan yang memadai.

Kelebihan dari beton SCC diantaranya;

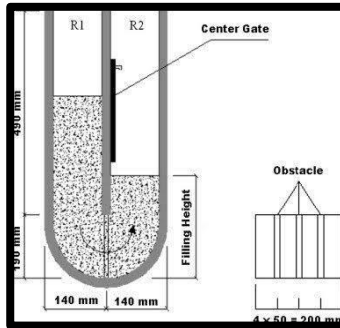
- a. Sangat encer, bahkan dengan bahan aditif tertentu bisa menahan slump tinggi dalam jangka waktu lama (slump keeping admixture).
- b. Tidak memerlukan pemadatan manual.
- c. Lebih homogen dan stabil.
- d. Kuat tekan beton bisa dibuat untuk mutu tinggi atau sangat tinggi.
- e. Lebih kedap, porositas lebih kecil.
- f. Susut lebih rendah.
- g. Dalam jangka panjang struktur lebih awet (durable).
- h. Tampilan permukaan beton lebih baik dan halus karena agregatnya biasanya berukuran kecil sehingga nilai estetis bangunan menjadi lebih tinggi.

- i. Karena tidak menggunakan penggetaran manual, lebih rendah polusi suara saat pelaksanaan pengecoran.
3. Tenaga kerja yang dibutuhkan juga lebih sedikit karena beton dapat mengalir dengan sendirinya sehingga dapat menghemat biaya sekitar 50 % dari upah buruh.
4. Kekurangan dari beton SCC diantaranya; a) Dari segi biaya, SCC lebih mahal dari beton konvensional, b) Pembuatan bekisting beton harus sangat diperhatikan adalah beton tidak boleh mengalami kebocoran akibat keenceran campuran beton, c) Kelemahan yang paling mendasar dan paling penting untuk diperhatikan adalah beton tidak boleh mengalami segregasi namun tetap harus memenuhi syarat flowabilitas.

3. Karakteristik Beton SCC

Berdasarkan spesifikasi SCC dari EFNARC, workabilitas atau kelecakan campuran beton segar dapat dikatakan sebagai beton SCC apabila memenuhi kriteria yaitu;

- a. Filling ability, adalah kemampuan beton SCC untuk mengalir dan mengisi keseluruhan bagian cetakan melalui beratnya sendiri.

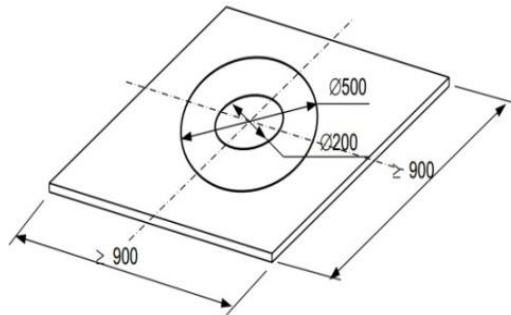


Gambar 1.2.a. U-Box Test (Sumber: EFNARC Standard, 2005)

Untuk menentukan “filling ability” dari beton SCC digunakan Slumpflow Test dengan menggunakan kerucut Abrams dapat diketahui kondisi workabilitas beton berdasarkan kemampuan penyebaran beton segar yang dinyatakan dengan besaran diameter yaitu antara 60-75 cm. Pengujian slump flow dapat dilihat pada gambar 1.2.a

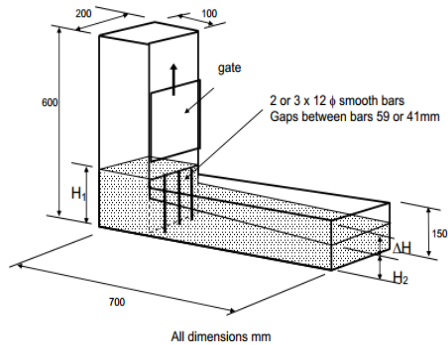
Filling ability, adalah kemampuan beton SCC untuk mengalir dan mengisi keseluruhan bagian cetakan melalui beratnya sendiri. Untuk menentukan “filling ability” dari beton SCC digunakan U-Box Test dengan menggunakan komponen alat terdiri dari dua bagian berbentuk U yang dibagi oleh dinding tengah menjadi dua kompartemen; sebuah bukaan dengan gerbang geser dipasang di antara dua bagian. U-Box Test ini bertujuan mengetahui kondisi workabilitas beton berdasarkan nilai blocking ratio, yaitu nilai yang didapat dari perbandingan $H2/H1$. Semakin besar nilai

blocking ratio, semakin baik beton segar mengalir dengan viskositas tertentu. Untuk kriteria beton SCC nilai blocking ratio berkisar antara 0,8 – 1,0. Untuk U-Box Test dilakukan seperti pada gambar 1.2.b



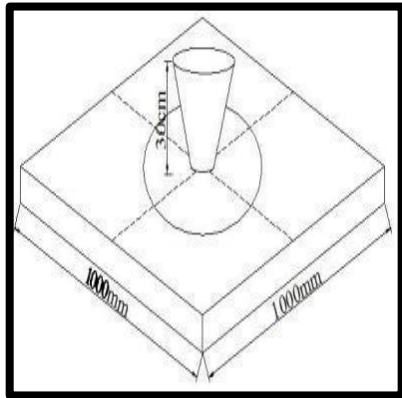
Gambar 1.2.b. Slump-Flow Test (Sumber: EFNARC Standard, 2005)

b. Passing ability, adalah kemampuan beton SCC untuk mengalir melalui celaca antar besi tulangan atau bagian celah yang sempit dari cetakan tanpa terjadi adanya segregasi atau blocking. Untuk menentukan “passing ability” dari beton SCC, digunakan alat uji yaitu L-Shape box. Dengan L-shape box test akan didapatkan nilai blocking ratio, yaitu nilai yang didapat dari perbandingan H_2/H_1 . Semakin besar nilai blocking ratio, semakin baik beton segar mengalir dengan viskositas tertentu. Untuk kriteria beton SCC nilai blocking ratio berkisar antara 0,8-1,0. Pengujian L-Shape Box dilakukan seperti pada gambar 1.3



Gambar 1.3. L-Shape Box Test (Sumber: EFNARC Standard, 2005)

- c. Slumpflow by Abrams cone, pengujian untuk mendapatkan nilai diameter (mm) sebaran pada beton ketika dituangkan. pada gambar 1.4

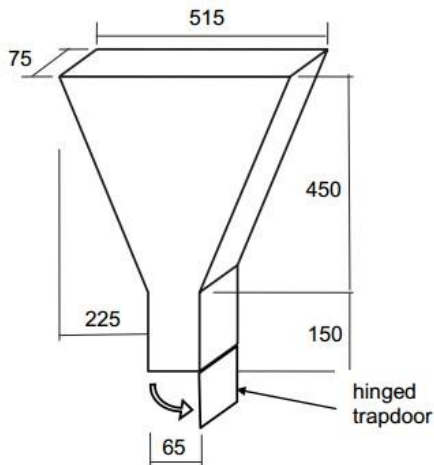


Gambar 1.4. Slump-flow Test (Sumber: EFNARC Standard, 2005)

Untuk menentukan “flow ability” dari beton SCC digunakan Slumpflow Test dengan menggunakan kerucut Abrams dapat diketahui kondisi workabi-

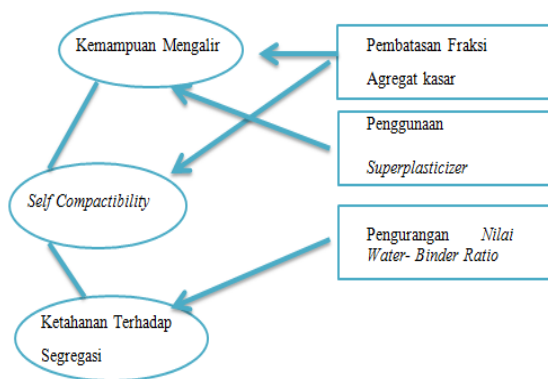
litas beton berdasarkan kemampuan penyebaran beton segar yang dinyatakan dengan besaran diameter yaitu antara 550-850 mm.

- d. Segregation resistance, adalah kemampuan beton SCC untuk menjaga tetap dalam keadaan komposisi yang homogen selama waktu transportasi sampai pada pengecoran. V-Funnel test digunakan untuk mengukur viskositas beton SCC dan sekaligus mengetahui “segregation resistance”. Kemampuan beton segar untuk segera mengalir melalui mulut diujung bawah alat ukur V-funnel diukur dengan besaran waktu antara 3-15 detik. Pengujian V-funnel dapat dilihat pada gambar 1.5.



Gambar 1.5. V-Funnel Test (Sumber: EFNARC Standard, 2005)

- e. Konsep dasar yang diterapkan dalam proses produksi beton SCC ditunjukkan pada gambar 1.6



Gambar 1.6. Konsep Dasar Proses Produksi Beton SCC

- f. Pada tahun 2003, Ouchi mencoba merangkum sifat-sifat mekanis dari sejumlah penelitian beton SCC yang telah dilakukan seperti tercantum pada tabel 1.1.

Tabel 1.1. Sifat Mekanis SCC

Keterangan	Sifat SCC
Faktor air semen (%)	25 – 40
Rongga Udara (%)	4,5 - 6,0
Kuattekan (28 hari)	40 – 80
Kuattekan (91 hari)	55 – 100
Kuattarik (28 hari)	2,4 - 4,8
Modulus Elastisitas (Gpa)	30 – 36
SusutRegangan ($\times 10^{-6}$)	600 – 800

Sumber: Ouchi, 2003

BAB 2

EFNARC, SPECIFICATION AND GUIDELINES FOR SELF COMPACTING CONCRETE

A. Specification

Self-compacting concrete (SCC) has been described as "the most revolutionary development in concrete construction for several decades". Originally developed to offset a growing shortage of skilled labour, it has proved beneficial economically because of a number of factors, including:

- faster construction
- reduction in site manpower
- better surface finishes
- easier placing
- improved durability
- greater freedom in design
- thinner concrete sections
- reduced noise levels, absence of vibration

Safer working environment Originally developed in Japan SCC technology was made possible by the much

earlier development of superplasticisers for concrete. SCC has now been taken up with enthusiasm across Europe, for both site and precast concrete work. Practical application has been accompanied by much research into the physical and mechanical characteristics of SCC and the wide range of knowledge generated has been sifted and combined in this guideline document.

- SCOPE The EFNARC, Specification defines specific requirements for the SCC material, its composition and its application. The Annexes also include a wealth of useful advice to designers, concrete manufacturers, contractors, specifying authorities and testing organizations
- REFERENCED STANDARDS EN 197-1 Cement; Composition, specifications and conformity criteria EN 206-1 Concrete-Specification, performance, production, and conformity EN 450 Fly ash for concrete-Definitions, requirements and quality control EN 934-2 Admixtures for concrete Definitions and requirements EN 1008 Mixing water for concrete EN 12350-1 Testing fresh concrete: Part 1: Sampling EN 12350-2 Testing fresh concrete: Part 2: Slump test EN 12620 Aggregates for concrete EN 12878 Pigments for colouring of building materials based on cement EN 13263 Silica fume for concrete-Definitions, requirements and conformity control EN ISO 9001 Quality management systems – Requirements Note: Some of these EN standards may still be in preparation; the latest version should be referred to.

- DEFINITIONS For the purposes of this specification, the following definitions apply:
 - a) Addition Finely-divided inorganic material used in concrete in order to improve certain properties or to achieve special properties. This specification refers to two types of inorganic additions:
 - Nearly inert additions (Type I);
 - Pozzolanic or latent hydraulic additions (Type II)
 - b) Admixture Material added during the mixing process of concrete in small quantities related to the mass of cement to modify the properties of fresh or hardened concrete
 - c) Binder The combined cement and hydraulic addition in a self-compacting concrete
 - d) Confined flowability see: 4.9 Passing ability
 - e) Filling ability (unconfined flowability) The ability of SCC to flow into and fill completely all spaces within the formwork, under its own weight
 - f) Fines see: 4.10 Powder
 - g) Mortar The fraction of the concrete comprising Paste plus those aggregates less than 4 mm.
 - h) Paste The fraction of the concrete comprising Powder plus water and air.
 - i) Passing ability (confined flowability) The ability of SCC to flow through tight openings such as spaces between steel reinforcing bars without segregation or blocking
 - j) Powder (Fines) Material of particle size smaller than 0,125 mm. It will also include this size fraction of the sand.

- k) Self-compacting concrete (SCC) Concrete that is able to flow under its own weight and completely fill the formwork, even in the presence of dense reinforcement, without the need of any vibration, whilst maintaining homogeneity
 - l) Segregation resistance (stability) The ability of SCC to remain homogeneous in composition during transport and placing.
 - m) Stability see: 4.12 Segregation resistance
 - n) Unconfined flowability see: 4.5 Filling ability
 - o) Workability A measure of the ease by which fresh concrete can be placed and compacted: it is a complex combination of aspects of fluidity, cohesiveness, transportability, compactability and stickiness
1. REQUIREMENTS FOR CONSTITUENT MATERIALS
- a. General The constituent materials, used for the production of Self-Compacting Concrete (SCC) shall generally comply with the requirements of EN 206. The materials shall be suitable for the intended use in concrete and not contain harmful ingredients in such quantities that may be detrimental to the quality or the durability of the concrete, or cause corrosion of the reinforcement.
 - b. Cement General suitability is established for cement conforming to EN 197-1
 - c. Aggregates Aggregates shall conform to EN 12620. The maximum size of the aggregates depends on the particular application and is usually limited to 20 mm. Particles smaller than

0,125 mm contribute to the powder content. The moisture content should be closely monitored and must be taken into account in order to produce SCC of constant quality (see 8).

- d. Mixing Water Suitability is established for mixing water and for recycled water from concrete production conforming to EN 1008
- e. Admixtures Admixtures used shall comply with EN 934-2: 2000 (including Annex A), where appropriate. Superplasticizers are an essential component of SCC to provide the necessary workability. Other types may be incorporated as necessary, such as Viscosity Modifying Agents (VMA) for stability, air entraining admixtures (AEA) to improve freeze-thaw resistance, retarders for control of setting, etc. VMA admixtures are not specifically covered in EN 934, but should conform to the general requirements in Table 1 of that standard. In addition evidence of performance should be provided by the supplier.
- f. Additions (including mineral fillers and pigments) General suitability as Type I (semi-inert) addition is established for: · filler aggregate conforming to EN 12620. Pigments conforming to EN 12878 General suitability as Type II (pozzolanic or latent hydraulic) addition is established for: fly ash conforming to EN 450 silica fume conforming to prEN 13263 ground granulated blastfurnace slag conforming to BS 6699 Due to the special rheological requirements of SCC, both inert and reactive addi-

tions are commonly used to improve and maintain the workability, as well as to regulate the cement content and so reduce the heat of hydration. Type II additions can significantly improve the long-term performance of the concrete. Typical additions are: Stone powder. Finely crushed limestone, dolomite or granite may be used to increase the amount of powder: the fraction less than 0.125 mm will be of most benefit. Note: dolomite may present a durability risk due to alkali-carbonate reaction. Fly Ash. Fly ash is a fine inorganic material with pozzolanic properties, which can be added to SCC to improve its properties. However the dimensional stability may be affected and should be checked. Silica Fume. Silica fume gives very good improvement of the rheological as well as the mechanical and chemical properties. Improves also the durability of the concrete. Ground (Granulated) Blast Furnace Slag. GGBS is a fine granular mostly latent hydraulic binding material, which can also be added to SCC to improve the rheological properties. Ground Glass Filler. This filler is usually obtained by finely grinding recycled glass. The particle size should be less than 0.1 mm and the specific surface area should be $> 2500 \text{ cm}^2/\text{g}$. Larger particle sizes may cause Alkali-Silica reaction. Pigments. The suitability of pigments used in SCC is established in EN 12878.

- g. Fibres Fibres used in SCC shall comply with EN XXXX (European standard in preparation). Com-

monly used types of fibres are steel or polymer. Fibres may be used to enhance the properties of SCC in the same way as for normal concrete. Steel fibres are used normally to enhance the mechanical characteristics of the concrete such as flexural strength and toughness. Polymer fibres may be used to reduce segregation and plastic shrinkage, or to increase the fire resistance. Proposed mixing and placement process, demonstrated through testing and approval by the engineer.

2. REQUIREMENTS FOR SELF-COMPACTING CONCRETE

- a. Application area SCC may be used in precast applications or for concrete placed on site. It can be manufactured in a site batching plant or in a ready mix concrete plant and delivered to site by truck. It can then be placed either by pumping or pouring into horizontal or vertical structures. In designing the mix, the size and the form of the structure, the dimension and density of reinforcement and cover should be taken in consideration. These aspects will all influence the specific requirements for the SCC. Due to the flowing characteristics of SCC it may be difficult to cast to a fall unless contained in a form. SCC has made it possible to cast concrete structures not possible using concrete technology.
- b. Requirements SCC can be designed to fulfil the requirements of EN 206 regarding density, strength development, final strength and durability. Due to the high content of powder, SCC may show more plastic shrinkage or creep than ordinary concrete mixes. These aspects should therefore be considered

during designing and specifying SCC. Current knowledge of these aspects is limited and this is an area requiring further research. Special care should also be taken to begin curing the concrete as early as possible. The workability of SCC is higher than the highest class of consistence described within EN 206 and can be characterised by the following properties: Filling ability Passing ability. Segregation resistance A concrete mix can only be classified as Self-compacting Concrete if the requirements for all three characteristics are fulfilled.

- c. Test methods Many different test methods have been developed in attempts to characterise the properties of SCC. So far no single method or combination of methods has achieved universal approval and most of them have their adherents. Similarly no single method has been found which characterises all the relevant workability aspects so each mix design should be tested by more than one test method for the different workability parameters. Alternative test methods for the different parameters are listed in Tables 1 and 2. The test methods are described in detail in Annex D.

Table 1: List of test methods for workability properties of SCC.

No	Method	Property
1	Slump-flowby Abramscone	Fillingability
2	T50cm slumpflow	Fillingability
3	J-ring	Passingability
4	V-funnel	Fillingability
5	V-funnelat T5minutes	Segregationresistance
6	L-box	Passingability
7	U-box	Passingability
8	Fill-box	Passingability
9	GTMscreens stabilitytest	Segregationresistance
10	Orimet	Fillingability

For the initial mix design of SCC all three workability parameters need to be assessed to ensure that all aspects are fulfilled. A full-scale test should be used to verify the selfcompacting characteristics of the chosen design for a particular application. For site quality control, two test methods are generally sufficient to monitor production quality. Typical combinations are Slump-flow and V-funnel or Slump-flow and J-ring.

Table 2: Workability properties of SCC and alternative test methods.

Property	Test methods		
	Lab (mix design)	Field (QC)	Modification of test According to max. aggregate size
Filling ability	Slump flow T50 cm slump flow 4 V-funnel	Slump flow T50 cm slump flow 4 V-	None Max 20mm

	100Orimet	funnel 100Orimet	
Passing ability	L-box U-box Fill-box	3J-ring	Different opening sinL-box, U-box and J-ring
Segregation resistance	9GTMtest 5V-funnel at T5 minutes	9 GTM test 5V- funnel at T5 minutes	None

- d. Workability criteria for the fresh SCC These requirements are to be fulfilled at the time of placing. Likely changes in workability during transport should be taken into account in production. Typical acceptance criteria for Self-compacting Concrete with a maximum aggregate up to 20 mm are shown in Table 3. These typical requirements shown against each test method are based on current knowledge and practice. However future developments may lead to different requirements being adopted. Values outside these ranges may be acceptable if the producer can demonstrate satisfactory performance in the specific conditions, eg, large spaces between reinforcement, layer thickness less than 500 mm, short distance of flow from point of discharge, very few obstructions to pass in the formwork, very simple design of formwork, etc.

Table 3: Acceptance criteria for Self-compacting Concrete

	Method	Unit	Typical range of values	
			Minimum	Maximum
1	Slump flow by Abrams cone	mm	650	800
2	T50 cm slump flow	sec	2	5
3	J-ring	mm	0	10
4	V-funnel	sec	6	12
5	Time in crease,V-funnel at T5 minutes	sec	0	+3
6	L-box	(h2/h1)	0,8	1,0
7	U-box	(h2-h1) mm	0	30
8	Fill-box	%	90	100
9	GTM Screen stabilitytest	%	0	15
10	Orimet	sec	0	5

Special care should always be taken to ensure no segregation of the mix is likely as, at present, there is not a simple and reliable test that gives information about segregation resistance of SCC in all practical situations. Further important comments on the suitability of the test methods are provided in Annex D

3. MIX COMPOSITION

- a. General The mix composition shall satisfy all performance criteria for the concrete in both the fresh and hardened states. For the fresh concrete, the requirements are set out in 6. In the hardened state, requirements of EN 206 shall be fulfilled.

- b. Initial mix composition: In designing the mix it is most useful to consider the relative proportions of the key components by volume rather than by mass. Indicative typical ranges of proportions and quantities in order to obtain self-compactability are given below. Further modifications will be necessary to meet strength and other performance requirements. Water/powder ratio by volume of 0.80 to 1.10. Total powder content 160 to 240 litres (400-600 kg) per cubic meter. Coarse aggregate content normally 28 to 35 per cent by volume of the mix. Water: cement ratio is selected based on requirements in EN 206. Typically water content does not exceed 200 litre/m³.

The sand content balances the volume of the other constituents. Generally, it is advisable to design conservatively to ensure that the concrete is capable of maintaining its specified fresh properties despite anticipated variations in raw material quality. Some variation in aggregate moisture content should also be expected and allowed for at mix design stage. Normally, viscosity-modifying admixtures are a useful tool for compensating for the fluctuations due to any variations of the sand grading and the moisture content of the aggregates.

- c. Adjustment of the mix Laboratory trials should be used to verify properties of the initial mix composition. If necessary, adjustments to the mix composition should then be made. Once all requi-

rements are fulfilled, the mix should be tested at full scale at the concrete plant or at site. In the event that satisfactory performance cannot be obtained, then consideration should be given to fundamental redesign of the mix. Depending on the apparent problem, the following courses of action might be appropriate: using additional or different types of filler, (if available); modifying the proportions of the sand or the coarse aggregate; using a viscosity modifying agent, if not already included in the mix; adjusting the dosage of the superplasticizer and/or the viscosity modifying agent; using alternative types of superplasticizer (and/or VMA), more compatible with local materials; adjusting the dosage of admixture to modify the water content, and hence the water/powder ratio.

4. PRODUCTION AND PLACING

a. General

The production of self-compacting concrete needs to be carried out in plants where the equipment, operation and materials are suitably controlled. Production should therefore be carried out at ISO 9000 accredited plants or plants with a quality systems that conforms to ISO 9000 or similar. It is recommended that production staff involved in the production of self compacting concrete have been trained and also have experience in self-compacting concrete.

b. Production

- 1) Storage of constituent materials If possible, aggregates should be covered to minimise the fluctuation of surface moisture content. It is also necessary to have good storage capacity for aggregates and additions (if used). Storage of concrete admixtures can be done in the same way as for normal concrete. The supplier's recommendations should be followed.
- 2) Mixing There is no requirement for any specific mixer type. Forced action mixers, including paddle mixers, free fall mixers, including truck mixers, and other types can all be used. The mixing time necessary should be determined by practical trials. Generally, mixing times need to be longer than for conventional mixes. Time of addition of admixture is important, and procedures should be agreed with the supplier after plant trials. If the consistence has to be adjusted after initial mixing, then it should generally be done with the admixtures. If the requirements of EN 206 for the water/cement ratio can be maintained, then the water content can be varied to make the necessary modification.

c. Production Control

- 1) Aggregates During production of SCC, tests of aggregate grading and moisture content should be carried out more frequently than usual,

since SCC is more sensitive than normal concrete to variations

- 2) **Mixing process** At the start of a contract and in the absence of previous experience with the particular mix design, additional resources may be needed for supervision of all aspects of initial production of SCC. Since the quality of freshly mixed concrete may fluctuate at the beginning of production, it is recommended that workability tests should be conducted by the producer on every load, until consistent and compliant results are obtained. Subsequently, every delivered batch should be visually checked before transportation to site, and routine testing carried out to the frequency specified in EN206. More frequent adjustment of mix proportions, particularly water content, may need to be made, depending on the results from monitoring aggregate moisture content.

d. **Delivery and transportation**

Depending on the size of the concrete structure to be produced in SCC, production capacity, journey time and placing capability need to be balanced. Unexpected production stops can result in consistency variations that adversely affect the end result. SCC should be designed so that workability is maintained to meet the requirements of the contract. Placing is faster, especially if a pump is used, but it is still essential to make sure that

delivery and placing can be completed within the workability retention (self compactability) time of the concrete.

e. Placing

- 1) General Before placing SCC, It should be confirmed that reinforcement and form-work are arranged as planned. The form-work must be in good condition but no special measures are necessary to prevent grout loss. Contractors may wish to consider possible advantages of pumping from the bottom of formwork. If concrete is placed by skip, attention should be paid to the closure of the gate. For forms in excess of 3 m in depth, the full hydrostatic head should be taken into consideration. This may require modification of the formwork design and/or the SCC.
- 2) Placing distance Though it is easier to place SCC than ordinary concrete, the following rules are advised to minimise the risk of segregation: limit the vertical free fall distance to 5 m limit the permissible distance of horizontal flow from point of discharge to 10 m. Note: this advice is conservative, and it may be that in favourable circumstances a contractor can demonstrate that the suggested limits can be extended. See 6 for procedures.
- c) Cold joints Although SCC bonds well with previously placed concrete, the likelihood of damage resulting from a cold joint cannot be mitigated

by vibration, as with normal concrete. d) Surface finishing Surfaces of SCC should be roughly levelled to the specified dimensions, and the finishing should then be applied at an appropriate time before the concrete stiffens. Difficulty may be encountered with the conventional process of final surface hardening of horizontal areas of concrete by repeated steel trowelling. Alternative procedures, or different tools may be required.

- f. Curing SCC tends to dry faster than conventional concrete because there is little or no bleed water at the surface. Initial curing should therefore be commenced as soon as practicable after placing in order to minimise the risk of shrinkage cracking.

5. QUALITY CONTROL

- a. Production control All SCC shall be subject to production control under the responsibility of the producer, and this shall be in accordance with the requirements of EN 206-1, clause 9.
- b. Site acceptance In the case of SCC it is particularly important that receiving control be standardised. Producer and purchaser should therefore agree a procedure for acceptance/compliance at the start of a contract. This should include a procedure for action to be taken in the event of non-compliance. Beside the normal check of delivery ticket, a visual check of the concrete should be made. Site quality control should follow the recommendations of 6.3. The purchaser should ensure that all site acceptance

testing is carried out by competent, trained personnel, in a suitable environment – this includes an area protected against the weather, suitably maintained and calibrated equipment, and level, stable ground for performing the test

B. ANNEX A: Guidance Notes

1. SCOPE

The scope of the Guidance Notes section is to provide practical advice on aspects that may not be specified. National practices sometimes vary, often due to availability of cement additions, properties of aggregates or climatic conditions. EFNARC's European network of construction professionals provides an abundance of experience covering useful aspects of designing, producing and placing self-compacting concrete.

2. REQUIREMENTS FOR CONSTITUENT MATERIALS

Cement

All types of cements conforming to EN 197 are suitable. Selection of the type of cement will depend on the overall requirements for the concrete, such as strength, durability, etc. C3A content higher than 10% may cause problems of poor workability retention. The typical content of cement is 350-450 Kg/m³. More than 500 Kg/m³ cement can be dangerous and increase the shrinkage. Less than 350 Kg/m³ may only be suitable with the inclusion of other fine filler, such as fly ash, pozzolan, etc

Aggregates

Sand Aggregates All normal concreting sands are suitable for SCC. Both crushed or rounded sands can be used. Siliceous or calcareous sands can be used. The amount of fines less than 0,125 mm is to be considered as powder and is very important for the rheology of the SCC. A minimum amount of fines (arising from the binders and the sand) must be achieved to avoid segregation.

Coarse Aggregates

All types of aggregates are suitable. The normal maximum size is generally 16-20 mm; however particle sizes up to 40 mm or more have been used in SCC. Consistency of grading is of vital importance. Regarding the characteristics of different types of aggregate, crushed aggregates tend to improve the strength because of the interlocking of the angular particles, whilst rounded aggregates improve the flow because of lower internal friction. Gap graded aggregates are frequently better than those continuously graded, which might experience greater internal friction and give reduced flow

Admixtures

The most important admixtures are the Superplasticizers (high range water reducers), used with a water reduction greater than 20 %. The use of a Viscosity Modifying Admixture (VMA) gives more possibilities of controlling segregation when the amount of powder is limited. This admixture helps to provide very good homogeneity and reduces the tendency to segregation.

Additions

Additions are commonly used in SCC due to the need for substantial contents of fine particles. All additions conforming to the EN standards are suitable. Due to the special rheological requirements of SCC, both inert and reactive additions are commonly used to improve and maintain the workability, as well as to regulate the cement content and so reduce the heat of hydration. Type II additions can significantly improve the long-term performance of the concrete.

Fibres

Very fine synthetic fibres may prevent flow and generally the content should not exceed 1 kg/m³.

3. REQUIREMENTS FOR SELFCOMPACTING CONCRETE

SCC differs from conventional concrete in that its fresh properties are vital in determining whether or not it can be placed satisfactorily. The various aspects of workability which control its Filling ability, its Passing ability and its Segregation resistance all need to be carefully controlled to ensure that its ability to be placed remains acceptable.

Workability

The level of fluidity of the SCC is governed chiefly by the dosing of the Superplasticizer. However overdosing may lead to the risk of segregation and blockage. Consequently the characteristics of the fresh SCC need to be carefully controlled using preferably two of the different types of test.

Segregation resistance

Due to the high fluidity of SCC, the risk of segregation and blocking is very high. Preventing segregation is therefore an important feature of the control regime. The tendency to segregation can be reduced by the use of a sufficient amount of fines ($< 0,125$ mm), or using a Viscosity Modifying Admixture (VMA).

Open time

The time during which the SCC maintains its desired rheological properties is very important to obtain good results in the concrete placing. This time can be adjusted by choosing the right type of superplasticizers or the combined use of retarding admixtures. Different admixtures have different effects on open time, and they can be used according to the type of cement and the timing of the transport and placing of the SCC.

4. MIX DESIGN

General

Mix design selection and adjustment can be made according to the procedure shown in Figure 2.1

In designing the mix it is most useful to consider the relative proportions of the key components by volume rather than by mass. and the event that satisfactory performance cannot be obtained, then consideration should be given to fundamental redesign of the mix.

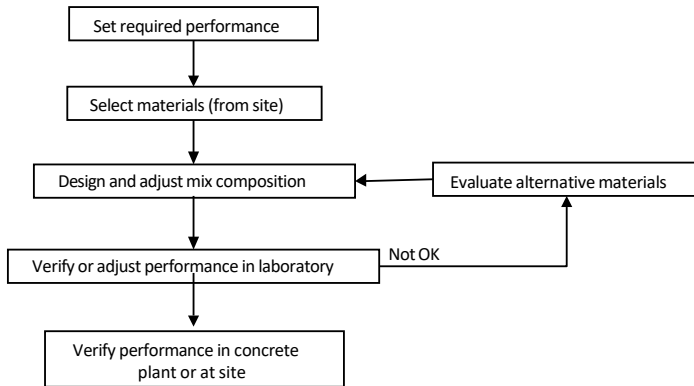


Figure 2.1: Mix design procedure

Depending on the apparent problem, the following courses of action might be appropriate:

- a) the use of additional or different types of filler, (if available);
- b) modify the proportions of the sand or the coarse aggregate;
- c) the use of a viscosity modifying agent, if not already included in the mix;
- d) adjust the dosage of the superplasticizer and/or the viscosity modifying agent;
- e) the use of alternative types of superplasticizer (and/or viscosity modifying agent) which may be more compatible with local materials;
- f) different dosage rates of admixture to modify the water content, and hence the water / powder ratio.

Procedure for mix design

An example of a procedure for efficiently designing SCC mixes is shown below. It is based on a method developed by Okamura. It is important to appreciate that this method may result in parameters which differ from those in Chapter 7.2.

The sequence is determined as:

1) Designation of desired air content (mostly 2 %)

Air content may generally be set at 2 per cent, or a higher value specified when freeze thaw resistant concrete is to be designed

2) Determination of coarse aggregate volume

Coarse aggregate volume is defined by bulk density. Generally coarse aggregate content ($D > 4$ mm) should be between 50 per cent and 60 per cent. When the volume of coarse aggregate in concrete exceeds a certain limit, the opportunity for collision or contact between coarse aggregate particles increases rapidly and there is an increased risk of blockage when the concrete passes through spaces between steel bars.

3) The optimum coarse aggregate content depends on the following parameters:

- Maximum aggregate size. The lower the maximum aggregate size, the higher the proportion of coarse aggregate.
- Crushed or rounded aggregates. For rounded aggregates, a higher content can be used than for crushed aggregates.

4) Determination of sand content

Sand, in the context of this mix composition procedure is defined as all particles larger than 0,125 mm and smaller than 4 mm. Sand content is defined by bulk density. The optimal volume content of sand in the mortar varies between 40 – 50 % depending on paste properties.

5) Design of paste composition

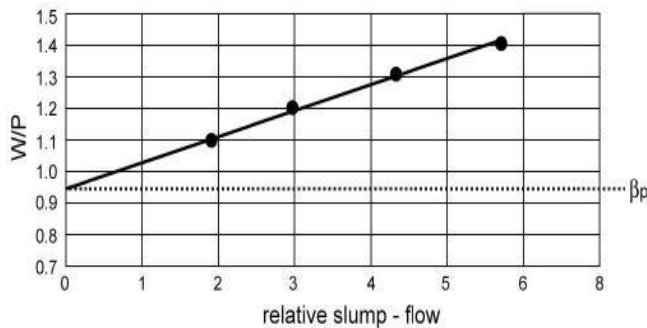


Figure A. 2.2 Determination of water powder ratio β_p

Initially the water:powder ratio for zero flow (β_p) is determined in the paste, with the chosen proportion of cement and additions. Flow cone tests with water/powder ratios by volume of e.g. 1,1, 1,2, 1,3 and 1,4 are performed with the selected powder composition, see Figure A.1 for typical results. The point of intersection with the y - axis is designated the β_p value. This β_p value is used mainly for quality control of water demand for new batches of cement and fillers.

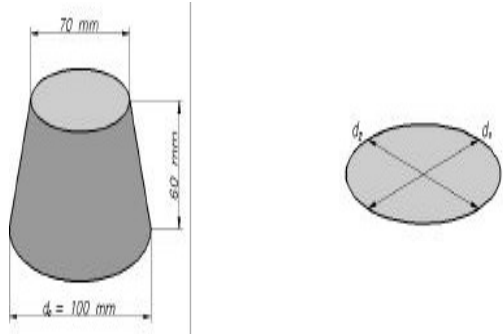


Figure A.2.3 Flow cone and table to determine the relative slump - flow G_p

Definition of G_p/m :

$$G_p/m = (d/d_0)^2 - 1$$

where: $d = \frac{1}{2} (d_1 + d_2)$

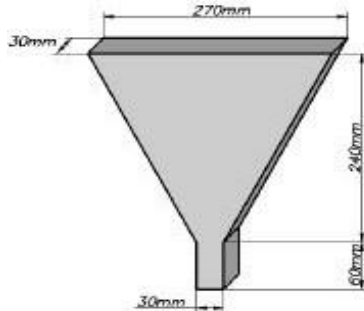


Figure A.2.4 V-funnel to determine the flow time of the mortar

- 6) Determination of optimum water:powder ratio and superplasticizer dosage in mortar

Tests with flow cone and V-Funnel for mortar are performed at varying water/powder ratios in the

range of [0,8-0,9]. bp and dosages of superplasticizer. The superplasticizer is used to balance the rheology of the paste. The volume content of sand in the mortar remains the same as determined above. Target values are slump flow of 24 to 26 cm and V-Funnel time of 7 to 11 seconds. At target slump flow, where V-funnel time is lower than 7 seconds, then decrease the water/powder ratio. For target slump flow and V-funnel time in excess of 11 seconds, water/powder ratio should be increased.

- 7) If these criteria cannot be fulfilled, then the particular combination of materials is inadequate. A trial with a different superplasticizer is the preferred alternative. Second alternative is a new additive, and as a last resort a different cement.
- 8) Finally the concrete properties are assessed by standard tests.
- 9) The concrete composition is now determined and the superplasticizer dosage is finally selected on the basis of concrete test

C. Annex B: Check List

The Checklist has been designed to aid Specifiers, Producers and Contractors in ensuring that all key elements of a SCC application have been considered ahead of the work starting.

Property	Reference	Requirement
MIX CONSTITUENTS		
Cement		Compliance of EN197 -1
		Control of the cement type
		Recommended cement amount:350-450Kg.
Aggregates		Compliance of EN12620
		Control of particles smaller than 0,125mm
		Control of moisture content
		Determination of the sieve curve
		Compatibility with the space between reinforcement
Mixing Water		Compliance of pr EN1008
Admixtures		Compliance of EN934-2
		Determination of the types needed
		Determination of the expected dosage
Additions		Compliance of prEN12620,EN450orprEN13263
		Determination of the sieve curve
		Definition of the addition to be used
		Determination of the increase of the water demand
Pigments		Compliance of 12878
Raw materials		Definition of all raw materials to be used
MIX COMPOSITION		
Mix design		Execute the mix design
		Coarse aggregate<50%
		Water powder ratio=0,8-1,0
		Total powder content 400-

		600Kg/m ³
		Sand content>40% of the mortar(volume)
		Sand<50% of paste volume
		Sand>50% by weight of total aggregate
		Free water<200l
		Paste>40% of the volume of the mix
WORKABILITY TESTS		
Slump flow-Abrams		650–800mm
T _{50cm} slump flow		2–5sec
J Ring		0–10mm
V Funnel		8–12sec
V Funnel-T _{5min}		+3sec.
L Box		H ₂ /H ₁ =0,8-1,0
U Box		H ₂ -H ₁ =30mmmax
Fill Box		90–100%
Screen Stability		0–15%
Orimet test		0–5sec
PROPERTIES OF HARDENED CONCRETE		
Mechanical strength		Achieving the expected values after 24h,7d,28d
Shrinkage		As specified
Mod.of elasticity		Achieving the expected values
CONFIRMATORY TESTS		
Full scale test		Filling ability
		Passing ability
		Segregation resistance
		Maintenance of the workability>1hour

D. Annex C: Trouble Shooting Guide

Causes for not fulfilling the specified requirements can be very diverse. In Tables C.1a and C.1b, a list is provided of possible causes for not fulfilling the requirements of the different tests. If a certain test result is out of range this can have different causes. The possible cause can be found with more certainty by checking the value to other test methods and subjectively checking the workability characteristics. In this way the best possible action for solving a problem can be found. Table C.2 provides a list of possible actions and the effect that usually occurs in concrete. It is obvious that the effect depends upon the size of the action and on the actual workability and composition of the concrete mix. If the test results between different batches or loads vary considerably, the cause can be the variation of; 1) cement characteristics, 2) addition characteristics, 3) grading of aggregates, 4) moisture content of aggregates, 5) temperature, 6) mixing procedure, 7) time of testing.

The use of a viscosity modifying agent (VMA) can suppress some of these variations to a certain extent. For the understanding of these tables the following definitions apply: a) 'Yield value' is the force (shear stress) that must be exerted on a material to initiate flow, b) 'Viscosity' is a measure of the resistance of a material to flow due to internal friction (and is the ratio of applied stress to shear rate), c) 'Blockage' occurs when a material cannot flow through a specified opening (or orifice) due to interlocking of the aggregate particles.

Table C.1a: Fault-finding for low results

			resultless than		Possible cause
1	Slump flow by Abrams cone	mm	650	a	viscositytoohigh
				c	yieldvaluetoohigh
2	T50 cm slump flow	sec	2	b	viscositytoo low
3	J-ring	mm	10	a	viscositytoohigh
				c	yieldvaluetoohigh
				d	segregation
				f	blockage
4	V-funnel	sec	8	b	viscositytoo low
5	IncreaseinV-funnel at T5 minutes	sec		g	doubtfulresult
6	L-box(h2/h1)		0,8	a	viscositytoohigh
				c	yieldvaluetoohigh
				f	blockage
7	U-box (h2-h1)	mm	0	g	falseresult
8	Fill-box	%	90	a	viscositytoohigh
				c	yieldvaluetoohigh
9	Screen stability test	%	5	a	viscositytoohigh
				f	blockage

Table C.1b: Fault-finding for high results

			resultmore than		possiblecause
1	slumpflowbyAbramscone	mm	750	b	viscositytoo low
				d	segregation
2	T50cm slumpflow	sec	5	a	viscositytoohigh
				c	yieldvaluetoohigh
3	J-ring	mm		b	viscositytoo low
				d	segregation
4	V-funnel	sec	12	a	viscositytoohigh

				c	yieldvaluetoohigh
				f	blockage
5	IncreaseinV-funnelatT5minutes	sec	3	d	segregation
				e	rapidlossinworkability
				f	blockage
6	L-box(h2/h1)		1	g	falseresult
7	U-box(h2-h1)	Mm	30	a	viscositytoohigh
				c	yieldvaluetoohigh
				f	blockage
8	Fill-box	%	100	g	falseresult
9	Screenstabilitytest	%	15	d	segregation

Table C.2: Possible corrective actions from identified faults

	possibleaction	effecton:					
		fillingability	passingability	segregationresistance	strength	shrinkage	creep
a	viscositytoohigh						
a1	increasewatercontent	+	+	-	-	-	-
a2	increasepastevolume	+	+	+	+	-	-
a3	increasesuperplasticiser	+	+	-	+	0	0
b	viscositytoolow						
b1	reducewatercontent	-	-	+	+	+	+
b2	reducepastevolume	-	-	-	-	+	+
b3	reducesuperlasticiser	-	-	+	-	0	0
b4	increaseviscositymodifyingagent	-	-	+	0	0	0
b5	usefinerpowder	+	+	+	0	-	-
b6	usefinersand	+	+	+	0	-	0
c	yieldvaluetoohigh						
c1	increasesuperplasticiser	+	+	-	+	0	0

c2	increasepastevolume	+	+	+	+	-	-
c3	increasemortarvolume	+	+	+	+	-	-
d	segregation						
d1	increasepastevolume	+	+	+	+	-	-
d2	increasemortarvolume	+	+	+	+	-	-
d3	reducewatercontent	-	-	+	+	+	+
d4	usefinerpowder	+	+	+	0	-	-
e	rapidlossinworkability						
e1	useslowerreactingcementtype	0	0	-	-	0	0
e2	increaseretarder	0	0	-	-	0	0
e3	usedifferentsuperplasticiser	?	?	?	?	?	?
e4	exchange filler for cement	?	?	?	?	?	?
f	blockage						
f1	reducemaximumaggregate size	+	+	+	-	-	-
f2	increasepastevolume	+	+	+	+	-	-
f3	increasemortarvolume	+	+	+	+	-	-
g	false result						
g1	checktestconditions	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

+	gives usually a better result for concrete
0	has usually no significant result
-	gives usually a worse result for concrete
?	Effect cannot be predicted
n.a.	not applicable

E. Test Methods

It is important to appreciate that none of the test methods for SCC has yet been standardised, and the tests described are not yet perfected or definitive. The methods presented here are descriptions rather than fully detailed procedures. They are mainly ad-hoc methods, which have been devised specifically for SCC. Existing rheological test procedures have not been considered here, though the relationship between the results of these tests and the rheological characteristics of the concrete is likely to figure highly in future work, including standardisation work. Many of the comments made come from the experience of the partners in the EU-funded research project on SCC (7). A further EU project on test methods is about to start.

In considering these tests, there are a number of points which should be taken into account:

- a) one principal difficulty in devising such tests is that they have to assess three distinct, though related, properties of fresh SCC its filling ability (flowability), its passing ability (free from blocking at reinforcement), and its resistance to segregation (stability). No single test so far devised can measure all three properties.
- b) there is no clear relation between test results and performance on site;
- c) there is little precise data, therefore no clear guidance on compliance limits;
- d) duplicate tests are advised;

- e) the test methods and values are stated for maximum aggregate size of up to 20 mm;
- f) different test values and/or different equipment dimensions may be appropriate for other aggregate sizes;
- g) different test values may be appropriate for concrete being placed in vertical and horizontal elements;
- h) similarly, different test values may be appropriate for different reinforcement densities;
- i) in performing the tests, concrete should be sampled in accordance with EN 12350-1. It is wise to remix the concrete first with a scoop, unless the procedure indicates otherwise.

Slump flow test (1) and T50cm test (2)

The slump flow is used to assess the horizontal free flow of SCC in the absence of obstructions. It was first developed in Japan (1) for use in assessment of under-water concrete. The test method is based on the test method for determining the slump. The diameter of the concrete circle is a measure for the filling ability of the concrete.

Assessment of test

This is a simple, rapid test procedure, though two people are needed if the T50 time is to be measured. It can be used on site, though the size of the base plate is somewhat unwieldy and level ground is essential. It is the most commonly used test, and gives a good assessment of filling ability. It gives no indication of the ability of the concrete to pass between reinforcement without blocking, but may give some indication of resistance to segregation. It can be argued that the completely free flow,

unrestrained by any boundaries, is not representative of what happens in practice in concrete construction, but the test can be profitably be used to assess the consistency of supply of readymixed concrete to a site from load to load.

Equipment

The apparatus is shown in figure D.2.5.

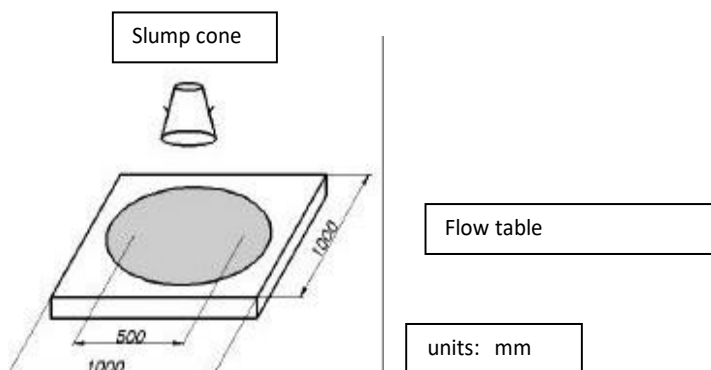


Figure D.2.5 The apparatus.

- Mould in the shape of a truncated cone with the internal dimensions 200 mm diameter at the base, 100 mm diameter at the top and a height of 300 mm, conforming to EN 12350-2
- Base plate of a stiff non absorbing material, at least 700mm square, marked with a circle marking the central location for the slump cone, and a further concentric circle of 500mm diameter
- Trowel
- Scoop
- Ruler
- Stopwatch (optional)

Procedure

- a) About 6 litre of concrete is needed to perform the test, sampled normally.
- b) Moisten the base plate and inside of slump cone
- c) Place baseplate on level stable ground and the slumpcone centrally on the base plate and hold down firmly.
- d) Fill the cone with the scoop. Do not tamp, simply strike off the concrete level with the top of the cone with the trowel.
- e) Remove any surplus concrete from around the base of the cone.
- f) Raise the cone vertically and allow the concrete to flow out freely.
- g) Simultaneously, start the stopwatch and record the time taken for the concrete to reach the 500mm spread circle. (This is the T50 time).
- h) Measure the final diameter of the concrete in two perpendicular directions.
- i) Calculate the average of the two measured diameters. (This is the slumpflow in mm). Note any border of mortar or cement paste without coarse aggregate at the edge of the pool of concrete.

J Ring test (3)

The principle of the JRing test may be Japanese, but no references are known. The JRing test itself has been developed at the University of Paisley. The test is used to determine the passing ability of the concrete. The equipment consists of a rectangular section (30mm x 25mm)

open steel ring, drilled vertically with holes to accept threaded sections of reinforcement bar. These sections of bar can be of different diameters and spaced at different intervals: in accordance with normal reinforcement considerations, 3x the maximum aggregate size might be appropriate. The diameter of the ring of vertical bars is 300mm, and the height 100 mm. The JRing can be used in conjunction with the Slumpflow, the Orimet test, or eventually even the Vfunnel. These combinations test the flowing ability and (the contribution of the JRing) the passing ability of the Figure D.2.5 Slump cone units: mm Flow table concrete. The Orimet time and/or slumpflow spread are measured as usual to assess flow characteristics. The JRing bars can principally be set at any spacing to impose a more or less severe test of the passing ability of the concrete. After the test, the difference in height between the concrete inside and that just outside the JRing is measured. This is an indication of passing ability, or the degree to which the passage of concrete through the bars is restricted.

Assessment of test

These combinations of tests are considered to have great potential, though there is no general view on exactly how results should be interpreted. There are a number of options for instance it may be instructive to compare the slump-flow/JRing spread with the unrestricted slump-flow: to what extent is it reduced? Like the slump-flow test, these combinations have the disadvantage of being unconfined, and therefore do not reflect the way concrete is placed and moves in practice. The Orimet option has

the advantage of being a dynamic test, also reflecting placement in practice, though it suffers from requiring two operators.

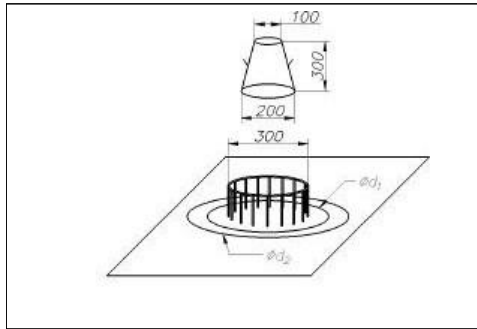


Figure D.2.6: the J Ring used in conjunction with the Slump flow

Equipment

- Mould, WITHOUT foot pieces, in the shape of a truncated cone with the internal dimensions 200 mm diameter at the base, 100 mm diameter at the top and a height of 300 mm.
- Base plate of a stiff non absorbing material, at least 700mm square, marked with a circle showing the central location for the slump cone, and a further concentric circle of 500mm diameter
- Trowel
- Scoop
- Ruler
- JRing a rectangular section (30mm x 25mm) open steel ring, drilled vertically with holes. In the holes can be screwed threaded sections of reinforcement bar (length 100mm, diameter 10mm, spacing 48 +/- 2mm)

Procedure

- About 6 litre of concrete is needed to perform the test, sampled normally.
 - Moisten the base plate and inside of slump cone,
 - Place base-plate on level stable ground.
 - Place the JRing centrally on the baseplate and the and the slump-cone centrally inside it and hold down firmly.
 - Fill the cone with the scoop. Do not tamp, simply strike off the concrete level with the top of the cone with the trowel.
 - Remove any surplus concrete from around the base of the cone.
 - Raise the cone vertically and allow the concrete to flow out freely.
 - Measure the final diameter of the concrete in two perpendicular directions.
 - Calculate the average of the two measured diameters. (in mm).
 - Measure the difference in height between the concrete just inside the bars and that just outside the bars.
 - Calculate the average of the difference in height at four locations (in mm).
 - Note any border of mortar or cement paste without coarse aggregate at the edge of the pool of concrete.
- Figure D.2.6: the J Ring used in conjunction with the Slump flow In conjunction with the Orimet.

Equipment

- Orimet device of a stiff non absorbing material see figure 10.1.
- Trowel
- Scoop
- Stopwatch
- Ruler
- JRing a rectangular section (30mm x 25mm) open steel ring, drilled vertically with holes. In the holes can be screwed threaded sections of reinforcement bar (length 100mm, diameter 10mm, spacing 48 +/- 2mm); see Figure D.3.

Procedure

- About 8 litre of concrete is needed to perform the test, sampled normally.
- Set the Orimet on firm ground.
- Moisten the inside surfaces of the casting pipe and the orifice.
- Keep the trap door open to allow any surplus water to drain.
- Close the trap door and place a bucket underneath.
- Fill the apparatus completely with concrete without compacting or tapping, simply strike off the concrete level with the top with the trowel.
- Open the trap door within 10 seconds after filling and allow the concrete to flow out under gravity.
- Simultaneously, start the stopwatch and record the time

- Start the stopwatch when the trap door is opened, and record the time for the discharge to complete (the flow time). This is taken to be when light is seen from above through the orifice section.
- Measure the final diameter of the concrete in two perpendicular directions.
- The whole test has to be performed within 5 minutes.
- Calculate the average of the two measured diameters. (in mm).
- Measure the difference in height between the concrete just inside the bars and that just outside the bars.
- Calculate the average of the difference in height at four locations (in mm).
- Note any border of mortar or cement paste without coarse aggregate at the edge of the pool of concrete.

Interpretation of result

It should be appreciated that although these combinations of tests measure flow and passing ability, the results are not independent. The measured flow is certainly affected by the degree to which the concrete movement is blocked by the reinforcing bars. The extent of blocking is much less affected by the flow characteristics, and we can say that clearly, the greater the difference in height, the less the passing ability of the concrete. Blocking and/or segregation can also be detected visually, often more reliably than by calculation.

Note: The results of the JRing are influenced by the combination method selected and results obtained with different combinations will not be comparable.

V funnel test (4) and V funnel test at T 5minutes (5)

The test was developed in Japan and used by Ozawa et al (5). The equipment consists of a V-shaped funnel, shown in Fig.D.4.1. An alternative type of V-funnel, the O funnel, with a circular section is also used in Japan. The described V-funnel test is used to determine the filling ability (flowability) of the concrete with a maximum aggregate size of 20mm. The funnel is filled with about 12 litre of concrete and the time taken for it to flow through the apparatus measured.

After this the funnel can be refilled concrete and left for 5 minutes to settle. If the concrete shows segregation then the flow time will increase significantly.

Assessment of test

Though the test is designed to measure flowability, the result is affected by concrete properties other than flow. The inverted cone shape will cause any liability of the concrete to block to be reflected in the result – if, for example there is too much coarse aggregate. High flow time can also be associated with low deformability due to a high paste viscosity, and with high interparticle friction. While the apparatus is simple, the effect of the angle of the funnel and the wall effect on the flow of concrete is not clear.

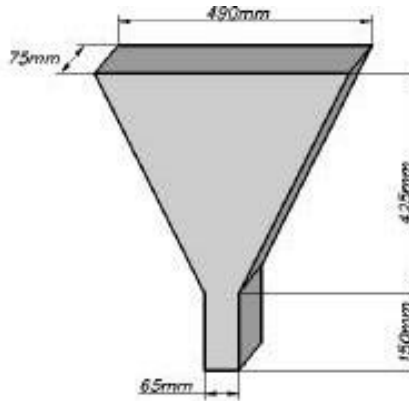


Figure D.2.7: V-funnel test equipment (rectangular section)

Equipment

- V-funnel
- Bucket (± 12 litre)
- Trowel
- Scoop
- Stopwatch

Procedure flow time

- About 12 litre of concrete is needed to perform the test, sampled normally.
- Set the V-funnel on firm ground.
- Moisten the inside surfaces of the funnel.
- Keep the trap door open to allow any surplus water to drain.
- Close the trap door and place a bucket underneath.
- Fill the apparatus completely with concrete without compacting or tamping, simply strike off the concrete level with the top with the trowel.

- Open within 10 sec after filling the trap door and allow the concrete to flow out under gravity.
- Start the stopwatch when the trap door is opened, and record the time for the discharge to complete (the flow time). This is taken to be when light is seen from above through the funnel.
- The whole test has to be performed within 5 minutes.

Procedure flow time at T 5 minutes

- Do NOT clean or moisten the inside surfaces of the funnel again.
- Close the trap door and refill the V-funnel immediately after measuring the flow time.
- Place a bucket underneath.
- Fill the apparatus completely with concrete without compacting or tapping, simply strike off the concrete level with the top with the trowel.
- Open the trap door 5 minutes after filling the second funnel and allow the concrete to flow out by gravity.
- Simultaneously start the stopwatch when the trap door is opened, and record the time for the discharge to complete (the flow time at T 5 minutes). This is taken to be when light is seen from above through the funnel.

Interpretation of result

This test measures the ease of flow of the concrete; shorter flow times indicate greater flowability. For SCC a flow time of 10 seconds is considered appropriate. The inverted cone shape restricts flow, and prolonged flow times may give some indication of the susceptibility of the

mix to blocking. After 5 minutes of settling, segregation of concrete will show a less continuous flow with an increase in flow time.

L box test method (6)

This test, based on a Japanese design for underwater concrete, has been described by Petersson (2). The test assesses the flow of the concrete, and also the extent to which it is subject to blocking by reinforcement. The apparatus is shown in figure D.6.1. The apparatus consists of a rectangular-section box in the shape of an 'L', with a vertical and horizontal section, separated by a moveable gate, in front of which vertical lengths of reinforcement bar are fitted.

The vertical section is filled with concrete, then the gate lifted to let the concrete flow into the horizontal section. When the flow has stopped, the height of the concrete at the end of the horizontal section is expressed as a proportion of that remaining in the vertical section (H_2/H_1 in the diagram). It indicates the slope of the concrete when at rest. This is an indication passing ability, or the degree to which the passage of concrete through the bars is restricted. The horizontal section of the box can be marked at 200mm and 400mm from the gate and the times taken to reach these points measured. These are known as the T20 and T40 times and are an indication for the filling ability.

The sections of bar can be of different diameters and spaced at different intervals: in accordance with normal reinforcement considerations, 3x the maximum aggregate

size might be appropriate. The bars can principally be set at any spacing to impose a more or less severe test of the passing ability of the concrete.

Assessment of test

This is a widely used test, suitable for laboratory, and perhaps site use. It assesses filling and passing ability of SCC, and serious lack of stability (segregation) can be detected visually. Segregation may also be detected by subsequently sawing and inspecting sections of the concrete in the horizontal section. Unfortunately there is no agreement on materials, dimensions, or reinforcing bar arrangement, so it is difficult to compare test results. There is no evidence of what effect the wall of the apparatus and the consequent 'wall effect' might have on the concrete flow, but this arrangement does, to some extent, replicate what happens to concrete on site when it is confined within formwork.

Two operators are required if times are measured, and a degree of operator error is inevitable.

Equipment

- L box of a stiff non absorbing material see figure D.6.1.
- Trowel
- Scoop
- Stopwatch

Procedure

- About 14 litre of concrete is needed to perform the test, sampled normally.

- Set the apparatus level on firm ground, ensure that the sliding gate can open freely and then close it.
- Moisten the inside surfaces of the apparatus, remove any surplus water
- Fill the vertical section of the apparatus with the concrete sample.
- Leave it to stand for 1 minute.
- Lift the sliding gate and allow the concrete to flow out into the horizontal section.
- Simultaneously, start the stopwatch and record the times taken for the concrete to reach the 200 and 400 mm marks.
- When the concrete stops flowing, the distances “H1” and “H2” are measured.
- Calculate $H2/H1$, the blocking ratio.
- The whole test has to be performed within 5 minutes.

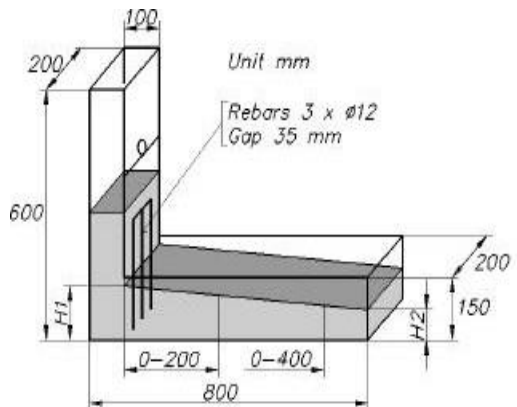


Figure D.2.8: The apparatus L-box

Interpretation of result

If the concrete flows as freely as water, at rest it will be horizontal, so $H_2/H_1 = 1$. Therefore the nearer this test value, the 'blocking ratio', is to unity, the better the flow of the concrete. The EU research team suggested a minimum acceptable value of 0.8. T20 and T40 times can give some indication of ease of flow, but no suitable values have been generally agreed. Obvious blocking of coarse aggregate behind the reinforcing bars can be detected visually.

U box test method (7)

The test was developed by the Technology Research Centre of the Taisei Corporation in Japan (4) Sometimes the apparatus is called a "box-shaped" test. The test is used to measure the filling ability of self-compacting concrete. The apparatus consists of a vessel that is divided by a middle wall into two compartments, shown by R1 and R2 in Fig.D.7.1 An opening with a sliding gate is fitted between the two sections. Reinforcing bars with nominal diameters of 13 mm are installed at the gate with centre-to-centre spacings of 50 mm. This creates a clear spacing of 35 mm between the bars. The lefthand section is filled with about 20 litre of concrete then the gate lifted and concrete flows upwards into the other section. The height of the concrete in both sections is measured.

Note: An alternative design of box to this, but built on the same principle is recommended by the Japan Society of Civil Engineers.

Assessment of test

This is a simple test to conduct, but the equipment may be difficult to construct. It provides a good direct assessment of filling ability – this is literally what the concrete has to do modified by an unmeasured requirement for passing ability. The 35mm gap between the sections of reinforcement may be considered too close. The question remains open of what filling height less than 30 cm. is still acceptable.

Equipment

- U box of a stiff non absorbing material see figure D.7.1.
- Trowel
- Scoop
- Stopwatch Figure D.2.8: L-box

Procedure

- About 20 litre of concrete is needed to perform the test, sampled normally.
- Set the apparatus level on firm ground, ensure that the sliding gate can open freely and then close it.
- Moisten the inside surfaces of the apparatus, remove any surplus water
- Fill the one compartment of the apparatus with the concrete sample.
- Leave it to stand for 1 minute.
- Lift the sliding gate and allow the concrete to flow out into the other compartment.
- After the concrete has come to rest, measure the height of the concrete in the compartment that has

been filled, in two places and calculate the mean (H1). Measure also the height in the other compartment (H2)

- Calculate $H1 - H2$, the filling height.
- The whole test has to be performed within 5 minutes.

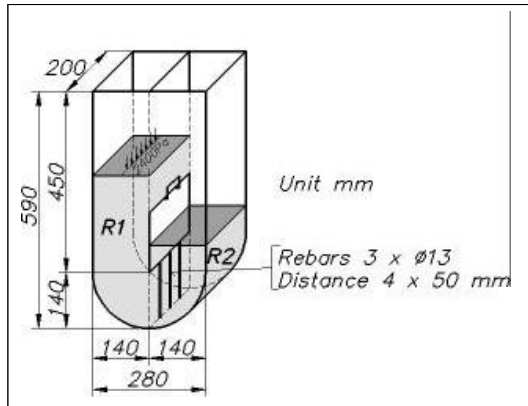


Figure D.2.9 U box test method

Interpretation of result

If the concrete flows as freely as water, at rest it will be horizontal, so $H1 - H2 = 0$. Therefore the nearer this test value, the 'filling height', is to zero, the better the flow and passing ability of the concrete.

Fill box test method (8)

This test is also known as the 'Kajima test'. The test is used to measure the filling ability of selfcompacting concrete with a maximum aggregate size of 20mm. The apparatus consists of a container (transparent) with a flat and smooth surface. In the container are 35 obstacles made of PVC with a diameter of 20mm and a distance

centre to centre of 50mm: see Figure D.8.1. At the top side is put a filling pipe (diameter 100mm height 500mm) with a funnel (height 100mm). The container is filled with concrete through this filling pipe and the difference in height between two sides of the container is a measure for the filling ability.

Assessment of test

This is a test that is difficult to perform on site due to the complex structure of the apparatus and large weight of the concrete. It gives a good impression of the self-compacting characteristics of the concrete. Even a concrete mix with a high filling ability will perform poorly if the passing ability and segregation resistance are poor.

Equipment

- Fill box of a stiff, transparent, non absorbing material
- Scoop ca 1,5 to 2 litre
- Ruler
- Stopwatch

Procedure

- About 45 litre of concrete is needed to perform the test, sampled normally.
- Set the apparatus level on firm ground.
- Wet the surface of the equipment, remove excess water
- Fill the apparatus with the concrete sample.
- Fill the container with every 5 seconds a scoop with 1.5 to 2 liters of fresh concrete into the funnel until the concrete covers the top barrier.

- Measure after the concrete has come to rest, the height at the side at which the container is filled on two places and calculate the average (h_1).
- Do this also on the opposite side (h_2).
- Calculate the average filling percentage:
- Average filling %: $F = \{(h_1 + h_2) / 2 \cdot h_1\} \cdot 100\%$
- The whole test has to be performed within 8 minutes.

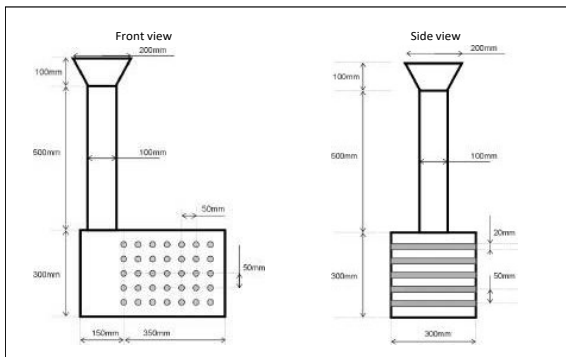


Figure D2.10 Fill box test method

Interpretation of result

If the concrete flows as freely as water, at rest it will be horizontal, so Average filling percentage = 100%. Therefore the nearer this test value, the 'filling height', is to 100%, the better the self-compacting characteristics of the concrete.

GTM screen stability test method (9)

This test has been developed by the French contractor, GTM, to assess segregation resistance (stability). It consists of taking a sample of 10 litre of concrete, allowing it to stand for a period to allow any internal

segregation to occur, then pouring half of it on to a 5mm sieve of 350mm diameter, which stands on a sieve pan on a weigh scale. After two minutes, the mortar which passed through the sieve is weighed, and expressed as a percentage of the weight of the original sample on the sieve.

Assessment of test

Practising engineers who have used this test say it is a very effective way of assessing the stability of SCC. However, though simple, it is not a rapid test, and requires an accurate weigh-scale, so may not be too suitable for site use.

Equipment

- 10 litre bucket with lid
- 5 mm sieve 350 mm diameter
- Sieve pan
- Balance, accuracy 20g minimum capacity 20 kg
- Stopwatch

Procedure

- About 10 litre of concrete is needed to perform the test, sampled normally.
- Allow the concrete in the bucket to stand for 15 minutes covered with a lid to prevent evaporation.
- Determine the mass of the empty sieve pan
- Inspect the surface of the concrete if there is any bleeding water and note it.

- Pour the top 2 litre or approximately 4,8kg $\pm$ 0,2kg only of the concrete sample within the bucket into a pouring container
- Determine the mass of the filled pouring container.
- Determine the mass of the empty sieve pan.
- Pour all the concrete from the pouring container onto the sieve from a height of 500mm in one smooth continuous movement.
- Weigh the empty pouring container.
- Calculate mass of concrete poured onto sieve, Ma. (i.e. the difference between the weights full and empty).
- Allow the mortar fraction of the sample to flow through the sieve into the sieve pan for a period of 2 minutes. Remove sieve and determine mass of 'filled' sieve pan.
- Calculate mass of sample passing sieve, Mb, by subtracting the empty sieve pan mass from the filled sieve pan mass. Calculate the percentage of the sample passing sieve, segregation ratio: $(Mb/Ma) \times 100$.

Interpretation of result

Empirical observations suggest that if the percentage of mortar which has passed through the sieve, the segregation ratio, is between 5 and 15% of the weight of the sample, the segregation resistance is considered satisfactory. Below 5% the resistance is excessive, and likely to affect the surface finish (blow holes likely). Above 15%, and particularly above 30%, there is strong likelihood of segregation

Orimet test (10)

The Orimet was developed at the University of Paisley (3) as a method for assessment of highly workable, flowing fresh concrete mixes on construction sites. The equipment is shown in figure 10.1. The test is based on the principle of an orifice rheometer. The Orimet consists of a vertical casting pipe fitted with a changeable inverted cone-shaped orifice at its lower, discharge, end, with a quick-release trap door to close the orifice. Usually the orifice has an 80 mm internal diameter which is appropriate for assessment of concrete mixes of aggregate size not exceeding 20 mm. Orifices of other sizes, usually from 70 mm to 90 mm in diameter, can be fitted instead. Operation consists simply of filling the Orimet with concrete then opening the trapdoor and measuring the time taken for light to appear at the bottom of the pipe (when viewed from above).

Assessment of test

This test is able to simulate the flow of fresh concrete during actual placing on sites. It is a rapid test, and the equipment is simple and easily maintained. The test has the useful characteristic of being capable of differentiation between highly workable, flowing mixes, and might therefore be useful for compliance testing of successive loads on site. The timing procedure, however, may be subject to error, and ideally requires two people.

Equipment

- Orimet device of a stiff non absorbing material see
- Bucket (± 10 litre)
- Trowel
- Scoop
- Stopwatch

Procedure

- About 8 litre of concrete is needed to perform the test, sampled normally. Set the Orimet on firm ground.
- Moisten the inside surfaces of the casting pipe and the orifice. Keep the trap door open to allow any surplus water to drain. Close the trap door and place a bucket underneath. Fill the apparatus completely with concrete without compacting or tapping, simply strike off the concrete level with the top with the trowel. Open the trap door within 10 seconds after filling and allow the concrete to flow out under gravity
- Start the stopwatch when the trap door is opened, and record the time for the discharge to complete (the flow time). This is taken to be when light is seen from above through the orifice section. The whole test has to be performed within 5 minutes.

Interpretation of result

This test measures the ease of flow of the concrete; shorter flow times indicate greater flowability. For SCC a flow time of 5 seconds or less is considered appropriate. The inverted cone shape at the orifice restricts flow, and

prolonged flow times may give some indication of the susceptibility of the mix to blocking and/or segregation.

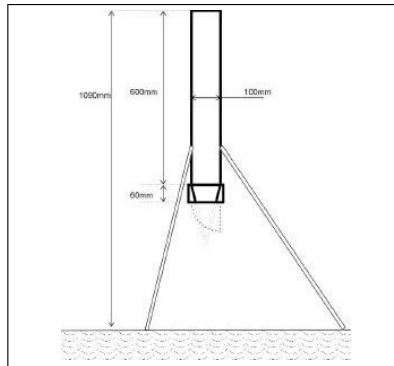


Figure D.2.11. Orimet test

BAB 3

MATERIAL PENYUSUN BETON SELF COMPACTING CONCRETE

Beton umumnya tersusun dari tiga bahan penyusun utama yaitu semen, agregat dan air. Namun dapat pula ditambahkan dengan bahan tambah (admixture) untuk mengubah sifat-sifat beton. Semen merupakan bahan campuran yang bersifat kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton setelah pengadukan selesai dan memperbaiki keawetan beton yang dihasilkan. Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60% - 75%. Untuk mendapatkan beton dengan kualitas yang baik, maka sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan penyusunnya harus diperhatikan dengan teliti.

A. Agregat

Agregat merupakan salah satu material yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton dengan jumlah berkisar 75% dari volume beton. Agregat yang digunakan dalam campuran

beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (artificial aggregates). Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Batasan antara agregat kasar dan agregat halus berbeda antara disiplin ilmu yang satu dengan yang lainnya. Meskipun demikian dapat diberikan batasan ukuran antara agregat halus dengan agregat kasar yaitu 4,80 mm (British Standard) atau 4,75 mm (Standar ASTM).

Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4,80 mm (4,75 mm) dan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4,80 mm (4,75 mm). Agregat dengan ukuran lebih besar dari 4,80 mm dibagi lagi menjadi dua: yang berdiameter antara 4,80 – 40 mm disebut kerikil beton dan yang lebih dari 40 mm disebut kerikil kasar. Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40 mm. Agregat yang ukurannya lebih besar dari 40 mm digunakan untuk pekerjaan sipil lainnya, misalnya untuk pekerjaan jalan, tanggul-tanggul penahan tanah, bendungan, dan lainnya. Agregat halus biasa dinamakan pasir dan agregat kasar dinamakan dengan kerikil, split, atau batu pecah. dalam pekerjaan beton.

Berdasarkan ukuran butirnya, Agregat dibedakan menjadi dua jenis yaitu agregat halus dan agregat kasar.

1. Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami batuan atau pun kerikil yang dihasilkan oleh pemecah batu dan mempunyai

ukuran butir lebih kecil dari 5 - 40 mm (tertahan pada saringan no. 4).

2. Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami batuan atau pun pasir yang dihasilkan oleh pemecah batu dan mempunyai ukuran butir lebih kecil dari 3/16 inci atau 5 mm (lolos saringan no. 4).

B. Agregat kasar (Batu Pecah)

Menurut SK SNI T-15-1991, agregat kasar merupakan kerikil yang berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang didapat dari industri pemecah batu dan memiliki ukuran butiran antara 5 mm - 40 mm. Agregat kasar sebagai material penyusun berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Menurut ASTM C33 dan menurut PBI 1971, ketentuan mengenai penggunaan agregat kasar untuk beton harus memenuhi syarat, antara lain;

1. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Pada umumnya yang dimaksudkan dengan agregat kasar adalah agregat dengan besar butir lebih dari 5 mm.
2. Harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai, apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya. 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). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 1%, maka agregat kasar harus dicuci terlebih dahulu hingga kandungan lumpur $< 1\%$. Menurut Pujianto, dkk (2011).
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang relatif alkali.
5. Kekerasan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji dari Rudeloff dengan beban penguji 20 T, dengan mana harus dipenuhi syarat-syarat berikut;
 - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5 – 19 mm lebih dari 24% berat.
 - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 22% berat.
 - Atau dengan mesin pengaus los angeles dengan mana tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%.
6. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan harus memenuhi syarat-syarat berikut;

- Sisa diatas ayakan 3,15 mm, harus 0% berat.
 - Sisa diatas ayakan 4 mm, harus berkisar antara 90% dan 98% berat.
 - Selisih antara sisa-sisa komulatif diatas dua ayakan berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.
7. Berat butir agregat maksimum tidak boleh lebih daripada seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang smaping dari cetakan, sepertiga dari tebal pelat atau tigaperempat dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau berkas-berkas tulangan. Penyimpangan dari pembatasan ini diijinkan, apabila menurut penilaian pengawas ahli, cara-cara pengecoran beton adalah sedemikian rupa sehingga menjamin tidak terjadinya sarang-sarang kerikil.
8. Berat jenis (Specific Gravity) Pengujian berat jenis agregat kasar dilakukan untuk mendapatkan bulk specific gravity, bulk specific gravity SSD, apparent specific gravity dan absorbtion. Nilai bulk specific gravity SSD agregat kasar yang disyaratkan yaitu berkisar antara 2,5-2,7 gr/cc. Syarat kualitas agregat kasar yang dapat menghasilkan beton mutu tinggi yaitu;
- Porositas rendah
- Hasil penelitian menunjukkan bahwa porositan rendah akan menghasilkan adukan yang seragam (uniform), yang berarti nilai slump dan mutu (kuat tekan) yang seragam. Sangat disarankan untuk menggunakan agregat kasar

dengan tingkat penyerapan air (water absorption) kurang dari 1 %. Jika tidak, akan sulit untuk mengontrol kadar air total pada beton segar, yang dapat menyebabkan ketidakteraturan dan variasi besar dalam mutu dan nilai lump beton. Oleh karena itu, penggunaan sensor kadar air yang ketat pada setiap kelompok agregat yang akan digunakan merupakan langkah penting yang harus dilakukan.

- Bentuk fisik agregat
Studi menunjukkan bahwa batu pecah dengan bentuk kubikal dan tajam menghasilkan beton yang lebih baik dibandingkan dengan kerikil bulat. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa batuan dengan bentuk kubikal dan tajam memiliki daya lekat mekanik yang lebih baik antara mereka dan mortar. Ukuran maksimum agregat.
- Bersih dan kuat tekan hancur yang tinggi.
- Gradasi yang baik dan teratur (diambil dari sumber yang sama).

Oleh karena itu, agregat kasar yang digunakan sebaiknya memiliki butiran yang cukup keras, bebas dari retakan atau bidang-bidang yang lemah, bersih serta permukaannya tidak tertutupi oleh lapisan. Selain itu, sifat-sifat agregat kasar juga mempengaruhi lekatan antara agregat-mortar dan kebutuhan air pencampur. Agregat yang memiliki ukuran butir yang lebih kecil memiliki pontensial untuk menghasilkan beton yang memiliki kekuatan yang tinggi. Sesuai dengan peng-

awasan mutu agregat untuk berbagai mutu beton, maka agregat kasar yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut;

- Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang kasar dan tidak berpori.
- Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan
- Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 % (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm 15 (saringan No. 200). Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci sebelum dipakai.
- Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali. Kekerasan dari butir-butir agregat diperiksa dengan bejana penguji dari Rudeloff dengan 20ton atau dengan mesin pengaus Los Angeles, dimana tidak boleh terjadi kehilangan berat dari 50%
- Agregat kasar halus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya, artinya harus bergradasi baik.

C. Agregat halus (Pasir)

Gradasi dan bentuk butiran halus adalah faktor-faktor yang penting pada produksi beton yang berkekuatan tinggi. Seperti halnya agregat kasar. Agregat halus dengan modulus kehalusan berkisar antara 2,5 sampai 3,2 baik digunakan untuk membuat beton yang berkekuatan tinggi. Adukan beton yang dibuat dengan pasir yang memiliki modulus kehalusan kurang dari 2,5 akan lengket (stickly) sehingga kelecakannya buruk dan untuk memperbaikinya dibutuhkan air dalam jumlah yang lebih banyak. Terkadang dimungkinkan untuk mengkombinasikan pasir dari sumber berbeda untuk memperbaiki gradasi dan meningkatkan kekuatan beton. Wang, Chu-Kia, Charles G. Salmon (1986).

Bentuk butiran dan tekstur permukaan agregat halus dapat mempengaruhi kebutuhan air dan kuat tekan beton. Agregat halus bergradasi sama tetapi kasar porinya berselisih 1 % dapat mengakibatkan perbedaan kebutuhan air sebesar kira-kira 5 liter/m³ beton. Wang, ChuKia, Charles G. Salmon. Disain Beton Bertulang. 1986. Banyak pasta semen yang dibutuhkan per m³ beton berkurang jika rasio volume agregat kasar/bahan halus meningkat. Karena banyaknya jumlah semen yang terkandung pada beton yang berkekuatan tinggi maka jumlah partikel halus juga cenderung meningkat. Akibatnya, pasir dapat juga minimum asalkan cukup untuk mencapai kelecakan dan kepadatan yang diinginkan. Dengan cara ini, dimungkinkan untuk membuat beton yang berkekuatan lebih tinggi meskipun digunakan bahan dasar semen yang sama.

D. Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker terutama yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBL, 1982). 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 atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 15-2049-2004:1).

Tabel 3.1 Komposisi Bahan Utama Semen

Komposisi	Persentase(%)
Kapur(CaO)	60-65
Silika(SiO_2)	17-25
Alumina(Al_2O_3)	3-8
Besi(Fe_2O_3)	0,5-6
Magnesia(MgO)	0,5-4
Sulfur(SO_3)	1-2
Potash($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)	0,5-1

Fungsi semen adalah untuk merekatkan butiran-butiran agregat agar menjadi suatu massa yang kompak, padat, dan kuat. Komposisi dari bahan utama penyusun semen dapat dilihat pada Tabel 3.1. Menurut SNI 15-2049-2004 semen portland dibagi lima tipe yang dikelompokkan berdasarkan jenis dan penggunaanya.

1. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III 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 rendah.
5. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Workability yang tinggi, dapat dilakukan dengan meningkatkan volume pasta semen. Peningkatan ini diperoleh dengan memberikan bahan mineral pada semen seperti fly ash, silica fume, limestone, dan sebagainya. Bahan-bahan tersebut berguna untuk meningkatkan sifat mekanis dan kimiawi serta umur beton (Karina,2018).

Berdasarkan EFNARC 2002, jumlah semen yang diizinkan adalah 400-600kg/m³. semen jenis OPC yaitu semen yang dipergunakan secara luas untuk konstruksi umum atau bangunan yang tidak membutuhkan persyaratan khusus. Semen tipe ini memiliki kadar slika yang terbesar diantara tipe PPC dan PCC. Kajian yang dilakukan oleh Surendra dan Keijin (2003) menunjukkan komposisi material kimia semen OPC dengan semen PPC dimana semen PPC yang diteliti merupakan semen

dengan kandungan fly ash (FA) dan semen dengan kandungan cement kiln dust (CKD) yang dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Komposisi Material Kimia Semen (% dalam berat)

	OPC	CKD1	FA1	CKD2	FA2
SiO ₂	20,35	11,5	46,80	17,67	51,65
Al ₂ O ₃	5,24	4,38	23,89	5,06	23,52
Fe ₂ O ₃	3,58	2,04	15,77	2,75	9,39
CaO	64,29	56,0	4,74	56,99	4,73
MgO	1,13	1,34	0,91	0,91	1,07
SO ₃	2,56	16,7	1,18	6,55	1,42
K ₂ O	0,60	5,86	1,56	3,43	2,32
Na ₂ O	0,11	1,02	0,79	0,30	1,73
(Na ₂ O) _{eq}	0,50	4,80	1,80	2,56	3,26
Cl ⁻	-	0,73	-	0,38	-
LOI	1,10	6,00	2,36	8,00	3,34

Note : (Na₂O)_{eq} = Na₂O + 0.658 K₂O 2.1.5

Semen (Portland) Tipe I

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut ASTM C-150, 1985, semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klin-ker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Mulyono, T. Teknologi Bahan. 2003. Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Jika ditambahkan dengan agregat

halus, pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (concrete). Fungsi utama semen adalah mengikat butiran-butiran agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butiran-butiran agregat. Walaupun komposisi semen di dalam beton hanya 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting.

E. Bahan Tambah (Admixture)

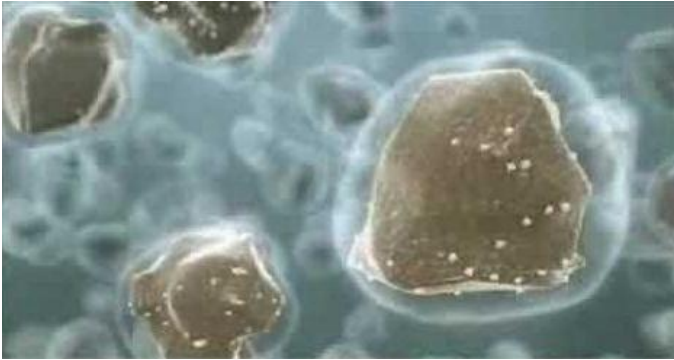
Admixture adalah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton. Tujuannya adalah untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras (Lina, 2011). Admixture yang ditambahkan adalah superplasticizer. Superplasticizer merupakan bahan kimia tambahan yang melarutkan gumpalan-gumpalan yang terbentuk akibat reaksi antara semen dan air dengan cara melapisi pasta semen sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton sehingga memiliki pengaruh dalam meningkatkan workability campuran beton.

Dalam menggunakan superplasticizer yang berasal dari produk BASF yaitu Master Glenium SKY 8614. Produk ini tidak mengandung unsur klorin atau bahan-bahan lain yang dapat menyebabkan karat atau bersifat korosif pada tulangan baja dan bisa digunakan dalam berbagai jenis semen karena sudah sesuai dengan standar

ASTM. Manfaat penggunaan dari Master Glenium SKY 8614 antara lain:

- Penggunaan air yang rendah sehingga meningkatkan kekuatan beton (high waterreduction)
- Kemampuan mengalir yang tinggi sehingga dalam pengerjaannya menjadi lebihmeudah dan mengurangi resiko segregasi dan bleeding (high flowability with nosegregation and bleeding)
- Mengurangi resiko rangkak dan susut sehingga memperbaiki stabilitas dimensi (low shrinkage and creep)
- Memiliki kohesi yang baik sehingga memudahkan dalam proses pemompaan dan mengurangi biaya pemompaan (good cohesion)

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*). Kedua jenis bahan tambah ini diharapkan mampu memudahkan pengerjaan beton maupun meningkatkan kinerja dari beton. Bahan tambah admixture ditambahkan saat pengadukan dan atau saat pelaksanaan pengecoran (*placing*) sedangkan bahan tambah aditif yaitu yang bersifat mineral ditambahkan saat pengadukan dilaksanakan.



Gambar 3.1 Super Plasticizer dalam Material Beton (Karina, 2018) Sumber: master-builders-solution.basf.co.id

Bahan tambah kimia yang dimasukkan lebih banyak mengubah perilaku beton saat pelaksanaan pekerjaan jadi dapat dikatakan bahwa bahan tambah kimia lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja pelaksanaan. Bahan tambah aditif merupakan bahan tambah yang lebih banyak bersifat penyemenan jadi bahan tambah aditif lebih banyak digunakan untuk perbaikan kinerja kekuatannya (Mulyono, T. 2005).

Menurut standar ASTM C494/C494M-13 (2013), jenis dan definisi bahan tambah kimia ini dibedakan delapan tipe yaitu;

- Tipe A “Water - Reducing Admixtures” Water – Reducing Admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. Selain itu juga digunakan dengan tidak mengurangi kadar semen dan nilai slump untuk memproduksi beton dengan nilai perbandingan atau rasio faktor air semen yang rendah

- Tipe B “Retarding Admixtures” Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Penggunaannya untuk menunda waktu pengikatan beton misalnya karena kondisi cuaca yang panas, atau memperpanjang waktu untuk pematatan.
- Tipe C “Accelerating Admixtures” Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan meningkatkan kekuatan awal beton. Bahan ini digunakan untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan (hidrasi) dan mempercepat pencapaian kekuatan pada beton.
- Tipe D “Water Reducing dan Retarding Admixtures” Water Reducing and Retarding Admixtures berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal. Bahan ini digunakan untuk menambah kekuatan beton. Bahan ini juga akan mengurangi kandungan semen yang sebanding dengan pengurangan kandungan air yang digunakan dalam penelilitian sehingga dapat memudahkan dalam pekerjaan.
- Tipe E “Water Reducing, Accelerating Admixtures” Water Reducing and Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

- Tipe F “Water Reducing dan High Range Admixture” Water Reducing, High Range Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih.
- Tipe G “Water Reducing High Range Retarding Admixtures” Water Reducing, High Range Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan gabungan superplasticizer dengan menunda waktu pengikatan beton. Biasanya digunakan untuk kondisi pekerjaan yang sempit karena sedikitnya sumber daya yang mengelola beton yang disebabkan oleh keterbatasan ruang kerja yang dimiliki pada saat pembuatan beton.
- Tipe S “Specific Performance Admixture” Specific performance admixture adalah bahan tambah yang memberikan karakteristik kinerja yang diinginkan selain mengurangi kandungan air atau mengubah waktu setting beton, atau keduanya, tanpa efek yang merugikan pada sifat beton segar, beton keras dan daya tahan beton sebagai kinerja yang ditentukan, termasuk bahan tambah terutama digunakan dalam pembuatan produk beton dry cast. Jenis bahan tambah dapat berupa super-

plasticizer. Superplasticizer berfungsi untuk menaikkan workability campuran beton yang mempengaruhi slump, bleeding, air content dan kekuatan beton.

Superplasticizer Ligno P-100

Ligno P-100 merupakan cairan kimia garam polymer bebas klorin yang berfungsi sebagai aditif untuk beton, dan diformulasikan secara khusus untuk mengurangi air dalam jumlah besar dan menghasilkan beton mutu tinggi, sesuai dengan ASTM C 494M, (2004) type F. Adapun beberapa kelebihan dari Ligno P100 adalah sebagai berikut;

- Menaikan kelecakan (workability) beton hingga mengalir (flow), memudahkan proses pengecoran dengan sedikit atau tanpa getaran.
- Efek superplasticizer sangat baik, kelecakan beton mengalir (flow) mampu mengisi celah sempit dalam cetakan berlekuk.
- Dipakai untuk produksi beton SCC (Self Compacting Concrete) mutu tinggi.
- Mengurangi pemakaian air sampai 40%, meningkatkan kuat tekan beton umur 28 hari dengan signifikan.
- Mengurangi pori-pori dipermukaan beton, untuk memproduksi beton kedap air dan tahan sulfat jika dikombinasi dengan silica fume.
- Cocok untuk industri Pre-cast, Prestressed, dan pengecoran tulangan rapat

Jenis Superplasticizer berdasarkan bahan dasarnya antara lain:

- Nephthaline,
- Melamine,
- Polycarboxylate.

Secara umum penggunaan superplasticizer dari jenis Neptaline akan menghasilkan penurunan kandungan udara dan menaikkan bleeding dan kekuatan, hal tersebut dapat tercapai jika air dalam campuran beton dikurangi. Sedangkan jenis melamine sangat sedikit pengaruhnya terhadap kandungan udara, kekuatan beton, dan menghasilkan pengurangan bleeding. Superplasticizer adalah bahan tambah yang berguna untuk mengurangi penggunaan air secara signifikan dalam proses pembuatan beton namun tetap mempertahankan workability-nya. Efek dari penggunaan superplasticizer ini adalah peningkatan pada kekuatan beton, superplasticizer dapat meningkatkan kekuatan awal beton (umur 24 jam) hingga 50 sampai 75 persen (A.M. Neville, 2005).

Superplasticizer yang diproduksi terdapat berbagai macam antara lain: viscocrete yang menggunakan bahan dasar polycarboxylates. Superplasticizer ini merupakan teknologi baru dari beton aditif menghasilkan beton yang sangat cair, beton tanpa pemadatan (self compacted), mutu sangat tinggi dengan pengurangan air hingga 30%.

Karakteristik reologi dan mekanik SCC dipengaruhi oleh kuantitas superplasticizer. Mariani, Sampebulu, V. dan Ahmad, A.G (2009) telah meneliti pengaruh penambahan admixture terhadap karakteristik SCC, penamba-

han admixture superplasticiser berpengaruh pada workability dan kuat tekan beton. Tjaronge, M.W., Rita Irmawaty dkk., (2006) telah meneliti slump dan kuat lentur SCC, penambahan superplasticizer mempengaruhi slump flow dan tidak mempengaruhi tegangan lentur. Okamura, H. dan Ouchi, M (2003).

SCC pertama kali dikembangkan di Jepang pada pertengahan tahun 1980-an dan mulai digunakan pada konstruksi beton pada awal tahun 1990-an yang merupakan satu solusi pada struktur beton tahan lama yang terikat pada kemampuan pekerjaan konstruksi. SCC mampu untuk memadat sendiri, yang dapat mengalir ke dalam tiap-tiap sudut suatu cetakan, karena berat sendiri dan tanpa kebutuhan akan alat penggetar, dengan komposisi campuran agregat kasar 50% dari volume beton, agregat halus 40% dari volume mortar dan faktor air semen antara 0,25-0,40. Bahan tambah (admixture) adalah bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya. Winter, George, Arthur H Nilson. Perencanaan Struktur Beton Bertulang. 1993.

Penambahan bahan tambah dalam sebuah campuran beton atau mortar tidak mengubah komposisi yang besar dari bahan yang lainnya, karena penggunaan bahan tambah ini cenderung merupakan pengganti atau substitusi dari dalam campuran beton itu sendiri. Karena tujuannya memperbaiki atau mengubah sifat dan karakteristik

tertentu dari beton atau mortar yang dihasilkan, maka kecenderungan perubahan komposisi dalam berat-volume tidak terasa secara langsung dibandingkan dengan komposisi awal beton tanpa bahan tambah. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, penghematan, atau untuk tujuan lainnya seperti penghematan energi.

Superplasticizer

Bahan pencampur beton yang dikenal sebagai superplasticizer telah dikembangkan dan sekarang telah meluas penggunaannya di Jepang dan Jerman. Superplasticizer merupakan jenis bahan tambah baru yang dapat disebut sebagai “bahan tambah kimia pengurang air”, yang terdiri atas 3 jenis, yaitu:

- Kondensasi sulfonat melamin formaldehid dengan kandungan klorida sebesar 0,005%
- Sulfanat naphthalin formaldehid dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan.
- Modifikasi lignosulfonat tanpa kandungan klorida.

Ketiga jenis bahan tambahan ini terbuat dari sulfonat organik dan disebut superplasticizer karena bahan ini dapat mengurangi air pada campuran beton sementara slump beton bertambah sampai 8 in (208 mm) atau lebih. Bahan-bahan ini digolongkan pada sarana untuk menghasilkan beton “mengalir” tanpa terjadinya pemisahan yang tidak diinginkan dan umumnya terjadi pada beton dengan jumlah air yang besar. Bahan ini juga dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton, karena

memungkinkan pengurangan kadar air guna mempertahankan workabilitas yang sama. Karena sifat “mengalir” yang diberikan oleh superplasticizer pada beton, maka bahan ini berguna untuk pencetakan beton di tempat-tempat yang sulit seperti tempat yang terdapat penulangan yang padat. Superplasticizer tidak akan menjadikan “encer” semua campuran beton dengan sempurna, oleh karenanya campuran harus direncanakan untuk disesuaikan.

Dosis yang disarankan adalah 1 sampai 2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan tekan pada beton. Murdock, L.J., K.M. Brook B.Sc. Bahan dan Praktek Beton. Terj. Stephanus Hindarko. 1991. Pada penelitian yang dilakukan terhadap Self Compacting Concrete (SCC), superplasticizer yang digunakan merupakan Glenium 311 merupakan generasi ketiga dari superplasticiser untuk beton dan mortar yang dikhususkan untuk meningkatkan nilai pengaliran beton segar (flow).

Water Reducing and Retarding Admixture

Water Reducing and Retarding Admixture adalah bahan tambah yang memiliki fungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal. Bahan ini digunakan untuk menambah kekuatan beton dan mengurangi kandungan semen yang sebanding dengan pengurangan kandungan air. Bahan ini hampir semuanya berwujud

cair. Air yang terkandung di dalam bahan ini akan menjadi bagian dari campuran beton.

Jadi, dalam perencanaan air ini harus ditambahkan sebagai berat air total dalam campuran beton. Perbandingan antara mortar dengan agregat kasar tidak boleh berubah. Perubahan kandungan air, atau udara, atau semen harus diatasi dengan perubahan kandungan agregat halus sehingga volume tidak berubah. Pada penelitian yang dilakukan terhadap Self Compacting Concrete (SCC), retarder yang digunakan adalah pozzolit.

F. Fly Ash

Abu terbang (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 ACI Manual of Concrete Practice (1993), fly ash dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu;

1. Kelas C

Fly ash yang mengandung CaO di atas 10% 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 CaO mencapai 10%. Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari berat binder.

2. Kelas F

Fly ash yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% 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 CaO < 5%. Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25% dari berat binder.

3. Kelas N.

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

Berikut beberapa kelebihan dan kekurangan penggunaan fly ash sebagai bahan tambah maupun sebagai substitusi semen pada beton

Kelebihan pada beton segar;

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

Kelebihan pada beton keras;

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

Kelemahan

- Pemakaian abu terbang kurang baik untuk pengerjaan beton yang memerlukan waktu pengerasan dan kekuatan awal yang tinggi karena proses pengerasan dan penambahan kekuatan betonnya agak lambat yang disebabkan karena terjadinya reaksi pozzoland.
- Pengendalian mutu harus sering dilakukan karena mutu abu terbang sangat tergantung pada proses (suhu pembakaran) serta jenis abu batubaranya (Kusumo, 2013) 2.1.8

G. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Kriteria penerimaan air untuk beton mutu tinggi tidak perlu diperhatikan secara khusus jika air yang digunakan mutunya baik untuk dapat diminum. Jika tidak, maka air tersebut harus diuji sesuai dengan ASTM C-94. Wang, Chu-Kia, Charles G. Salmon. *Disain Beton Bertulang*, 1986. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila digunakan dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan.

Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan dapat pula mempengaruhi kemudahan pekerjaan. Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen

dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, melainkan perbandingan air dengan semen atau yang biasa disebut dengan Faktor Air Semen (water cement ratio). Air yang berlebihan dapat menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton.

BAB 4

PRILAKU MEKANIS BETON SELF COMPACTING CONCRETE

A. Beton Segar

Beton segar merupakan beton yang masih dalam kondisi cair setelah pengecoran berakhir. Sifat-sifat dari beton segar antara lain; 1) Mudah dalam proses pencampuran dan pengadukan (*mixing*). 2) Mudah dalam proses pengangkutan (*handling*). 3) Mudah dalam proses pengecoran (*pouring*) dan penempatan (*placed*). 4) Mudah untuk mencapai kepadatan yang cukup dan tidak berpori. Dalam pengerjaan beton segar, tiga sifat penting yang harus diperhatikan adalah kemudahan pengerjaan, segregation (pemisahan kerikil) dan *bleeding* (naiknya air).

1. Kemudahan Pengerjaan (*workability*)

Workability adalah sifat atau perihal mudah/ tidaknya beton segar dikerjakan, diangkut, homogenitas, stabil, sifat pemadatan serta memperkecil pori udara beton. Newman (1965) mengusulkan agar pengertian *workability* didefinisikan sekurang-kurangnya pada tiga sifat yang berbeda, yaitu: a) Kompatibilitas atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga-rongga udara

diambil, b) Mobilitas atau kemudahan dimana beton dapat mengalir ke dalam cetakan, c) Stabilitas atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen, koheren dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi segregasi terhadap bahan-bahan utamanya.

Untuk mengukur workability maka digunakan istilah slump sebagai tolak ukur, dengan alat untuk mengukur slump disebut slump test. Unsur-unsur yang mempengaruhi workability antara lain;

- Jumlah air pencampur
Semakin banyak air semakin mudah untuk dikerjakan.
- Kandungan semen
Jika faktor air semen (FAS) tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga sifat plastisnya akan menjadi lebih tinggi.
- Gradasi campuran pasir-kerikil
Jika memenuhi syarat dan sesuai dengan standar, akan lebih mudah dikerjakan.
- Bentuk butiran agregat kasar
Agregat berbentuk bulat-bulat lebih mudah dikerjakan.
- Butir maksimum
- Cara pemadatan dan alat pemadat.

2. Segregasi (Pemisahan Kerikil)

Segregasi merupakan pemisahan unsur-unsur pokok dari campuran yang heterogen sehingga didistribusi atau

proses penyebarannya tidak lagi merata. Pada adukan beton perbedaan dalam ukuran partikel-partikel dan berat jenis masing-masing campuran merupakan penyebab utama segregasi, tapi hal ini dapat diantisipasi dengan pemilihan gradasi yang sesuai dan pengerjaan yang baik. Ada dua bentuk segregasi, yang pertama, partikel-partikel yang lebih besar cenderung bergerak lebih jauh sepanjang kemiringan atau turun lebih dalam dibanding partikel-partikel yang lebih halus. Kedua, bentuk segregasi yang ke dua terjadi pada campuran-campuran yang basah (mengandung air yang banyak) dan dipengaruhi oleh pemisahan mortar dari campuran.

Segregasi dapat disebabkan oleh beberapa hal;

- Campuran kurus atau kurang semen
- Terlalu banyak air
- Besar ukuran agregat maksimum lebih besar dari 40mm
- Permukaan butir agregat kasar; semakin kasar permukaan agregat, semakin mudah terjadi segregasi

Kecenderungan terjadinya segregasi ini dapat dicegah jika Winter, George, Arthur H Nilson. Perencanaan Struktur Beton Bertulang. 1993.

- Tinggi jatuh diperpendek
- Penggunaan air sesuai dengan syarat
- Cukup ruang antara batang tulangan dengan acuan
- Ukuran agregat sesuai dengan syarat
- Pemadatan baik

3. Bleeding (naiknya air kepermukaan)

Kecenderungan air untuk naik ke permukaan pada beton yang baru dipadatkan dinamakan bleeding. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput. Hal ini disebabkan karena ketidakmampuan unsur-unsur padat campuran untuk menahan seluruh air campuran pada saat unsur-unsur tersebut turun ke bawah. Berdasarkan jumlahnya, bleeding dapat dinyatakan sebagai penurunan total tertinggi satuan beton. Winter, George, Arthur H Nilson. Perencanaan Struktur Beton Bertulang.1993.

Bleeding dapat dipengaruhi oleh;

- Susunan butir agregat; Jika komposisinya sesuai, kemungkinan untuk terjadinya bleeding kecil.
- Banyaknya air; Semakin banyak air berarti semakin besar pula kemungkinan terjadinya bleeding.
- Kecepatan hidrasi; Semakin cepat beton mengeras, semakin kecil kemungkinan terjadinya bleeding.
- Proses pemadatan; Pemadatan yang berlebihan bukan menyebabkan terjadinya bleeding.

Bleeding ini dapat dikurangi dengan cara;

- Memberi lebih banyak semen,
- Menggunakan air sesedikit mungkin,
- Menggunakan butir halus lebih banyak,
- Memasukkan sedikit udara dalam adukan untuk beton khusus.

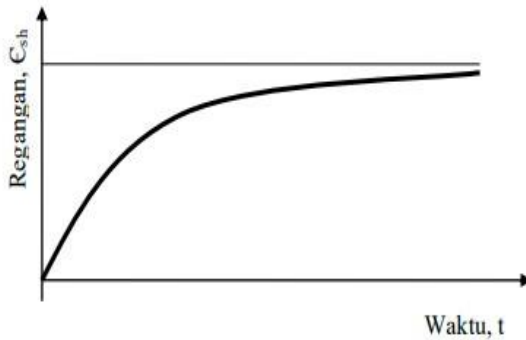
B. Beton Keras

Pada dasarnya, kekuatan beton merupakan hal yang penting karena memberikan gambaran menyeluruh dari mutu beton dimana kekuatan langsung dikaitkan pada stuktur adonan semen yang mengeras. Selain perbandingan air semen dan tingkat pemadatan, kuat hancur beton juga dipengaruhi beberapa faktor seperti; 1) Jenis semen dan kualitasnya; Jenis semen dan kualitasnya mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton. 2) Jenis dan lekuklekuk bidang permukaan ag-regat; Penggunaan agregat kasar berupa batu pecah akan menghasilkan beton dengan kuat desak dan kuat tarik yang lebih besar daripada penggunaan kerikil halus. 3) Efisiensi dan perawatan (curing); Perawatan beton memegang peranan yang cukup penting dalam menentukan kuat hancur beton terutama pada saat beton masih berusia muda atau belum mencapai kuat tekan optimum. 4) Suhu; kecepatan pengerasan beton bertambah meningkatnya suhu. 5) Umur; Pada keadaan yang normal kekuatan beton akan bertambah dengan meningkatnya umur beton. Kecepatan bertambahnya tergantung semen. Proses pengerasan beton berlangsung secara lambat sampai beberapa tahun.

Penyusutan akibat Pengeringan

Penyusutan akibat pengeringan adalah berkurangnya volume elemen beton apabila terjadi kehilangan kandungan air akibat penguapan. Penyusutan bukan merupakan proses yang sepenuhnya dapat balik. Apabila satu unit beton dijenuhkan dengan air sesudah susut

penuhi, maka beton tersebut tidak akan berekspansi ke volume semula.

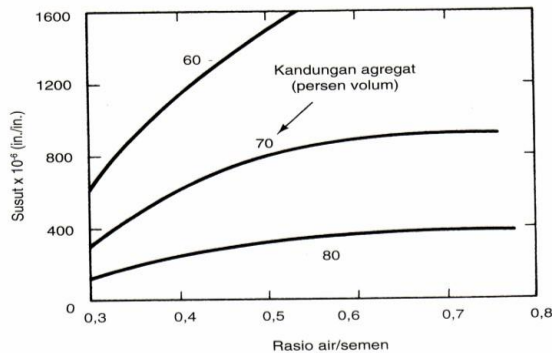


Gambar 4.1 Kurva susut - waktu

Gambar 4.1 menunjukkan peningkatan regangan susut ϵ_{sh} terhadap waktu. Kelajuan berkurang terhadap waktu karena beton yang lebih tua lebih tahan terhadap tegangan dan ini berarti beton tersebut mengalami lebih sedikit susut, sedemikian hingga regangan susut menjadi hampir asimtotis terhadap waktu. Penyusutan yang terus terjadi dengan kecepatan yang kian berkurang dalam beberapa bulan tergantung dari konfigurasi elemennya, dalam beberapa hal merupakan sifat yang merugikan beton. Apabila tidak diperiksa dengan baik, hal ini dapat menyebabkan terjadinya retak-retak yang tidak tampak dan seringkali merugikan. Waktu, t Regangan, ϵ_{sh}

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi besarnya susut akibat pengeringan adalah Nawy, Edward. G. Beton Prategang. 2001.

- Agregat yang beraksi menahan susut pasta semen; jadi, beton dengan lebih banyak kandungan agregat akan lebih sedikit mengalami susut. Selain itu, pengekatan suatu beton ditentukan oleh besaran agregat. Beton dengan modulus elastisitas tinggi atau dengan permukaan kasar lebih dapat menahan susut.
- Rasio air/semen; Semakin tinggi rasio air/semen, semakin tinggi pula efek susut.



Gambar 4.2 Efek Rasio Air/Semen dan Kandungan Agregat Terhadap Susut

Gambar 4.2 adalah plot tipikal yang menghubungkan kandungan agregat dan rasio air/semen.

- Ukuran elemen beton; Baik laju maupun besar total susut berkurang apabila volume elemen beton semakin besar.
- Kondisi kelembaban di sekitar; Kelembaban relatif pada lingkungan sangat mempengaruhi besarnya susut; laju penyusutan lebih kecil pada kelembaban relatif yang lebih tinggi.

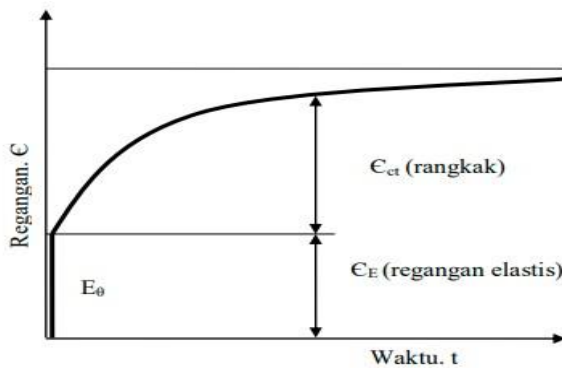
- Banyaknya penulangan; Beton bertulang menyusut lebih sedikit dibandingkan dengan beton polos; perbedaan relatifnya merupakan fungsi dari persentase penulangan. Bahan tambahan. Efek ini bervariasi tergantung pada jenis bahan tambahan.
- Jenis semen; Semen yang cepat mengering akan menyusut lebih banyak dibandingkan jenis-jenis semen lainnya, sedangkan semen pengkompensasi susut akan mengurangi retak susut apabila digunakan bersamaan tulangan pengekang.

Susut akibat perubahan suhu dapat dihindari dengan jalan Akkas, Abdul Madjid. *Rekayasa Bahan / Bahan Bangunan*. 1996;

- Menggunakan kadar semen rendah
- Menghindari pengerasan yang cepat, misalnya dengan adanya penambahan bahan tambah
- Mengusahakan agar agregat dan air pengaduk tetap dingin
- Sedapat mungkin menggunakan acuan baja dan pen-yirama selama masa pemeliharaan beton (curing)
- Membongkar acuan sedini mungkin agar panas hidrasi terlepas
- Sedapat mungkin beton yang mengalami fase pengerasan bebas hambatan terhadap penyusutan, ini untuk menghindari tegangan tarik yang melebihi kemampuan beton.

Adapun untuk menghindari penyusutan pada saat pengerasan berlangsung maka permukaan beton harus dilindungi dari penguapan dengan jalan selalu mengadakan penyiraman atau pembasahan pada muka beton 28 sampai berakhir masa pengerasan yang biasanya pada saat beton berumur 28 hari.

- Rangkak (creep);
Rangkak (creep) atau lateral material flow didefinisikan sebagai penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya beban yang bekerja. Deformasi awal akibat beban adalah regangan elastis, sementara tambahan akibat beban yang sama yang terus bekerja adalah regangan rangkak. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemungkinan berakhir setelah beberapa tahun.



Gambar 4.3 Kurva Regangan - waktu

Gambar 4.3 mengilustrasikan pertambahan regangan rangkak terhadap waktu. Rangkak tidak dapat diamati secara langsung dan hanya dapat di-

tentukan dengan mengurangi regangan elastis dan regangan susut dari deformasi. Nawi, Edward. G. Beton Prategang. 2001.

Nilai rangkak untuk beton mutu tinggi lebih kecil dibandingkan dengan beton mutu rendah. Umumnya, rangkak tidak mengakibatkan dampak langsung terhadap kekuatan struktur tapi akan mengakibatkan timbulnya redistribusi tegangan pada beban yang bekerja dan kemudian mengakibatkan terjadinya peningkatan lendutan (deflection). Rangkak akan semakin besar dengan meningkatnya faktor air semen dan kandungan semen.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya rangkak dapat dijabarkan sebagai berikut:

- Sifat bahan dasar beton (komposisi dan kehalusan semen, kualitas adukan dan kandungan mineral dalam agregat)
- Rasio air terhadap jumlah semen (water cement ratio)
- Suhu pada saat pengerasan
- Kelembaban nisbi pada saat proses penggunaan
- Umur beton pada saat beban bekerja
- Nilai slump (slump test)
- Lama pembebanan
- Nilai tegangan
- Nilai rasio permukaan komponen struktur

C. Kuat Lentur Beton

Beton selain digunakan sebagai kolom untuk menahan gaya tekan, beton juga digunakan sebagai balok di dalam konstruksi. Pada setiap penampang terdapat gaya-gaya dalam yang dapat diuraikan menjadi komponen-komponen yang saling tegak lurus dan menyinggung terhadap penampang tersebut. Komponen-komponen tegak lurus terhadap penampang tersebut merupakan tegangan-tegangan lentur (tarik pada salah satu sisi pada sumbu netral dan tekan pada sisi penampang lainnya). Fungsi dari komponen ini adalah untuk memikul momen lentur pada penampang. Komponen-komponen yang menyinggung penampang dikenal sebagai tegangan geser dan komponen tersebut memikul gaya-gaya geser. Nilson, Arthur H. Design of Concrete Structures. Twelfth Edition. The Mc Graw-Hill Companies. Inc. 1997.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan lentur beton adalah

- Dimensi uji beton; Dimensi yang baku adalah 150 mm x 150 mm x 500 mm dengan rasio bentang terhadap ketinggiannya sebesar tiga kali. Untuk lebar dan bentang yang sama, nilai kekuatan lentur benda uji mengecil dengan bertambahnya ketinggian benda uji.
- Ukuran benda uji; Keseragaman hasil pengujian meningkat dengan membesarnya ukuran benda uji. Secara umum dapat dikatakan bahwa kekuatan lentur beton berkurang dengan membesarnya ukuran benda uji. Ukuran maksimum agregat

kasar. Penggunaan ukuran agregat kasar maksimum yang lebih kecil cenderung menghasilkan beton dengan kekuatan lentur yang lebih besar.

- Laju pembebanan; Sama halnya dengan kuat tarik beton, kekuatan lentur beton umumnya meningkat dengan meningkatnya laju pembebanan yang diterapkan.
- Kelembaban dan suhu; Hasil pengujian lentur sangat dipengaruhi oleh kelembaban benda uji pada saat pengujian. Jika benda uji dites pada saat kondisi kering, nilai kuat lentur yang diperoleh biasanya lebih rendah 10 – 30 % dari kuat lentur yang diperoleh dari benda uji yang jenuh. Penurunan kekuatan lentur juga terjadi pada benda uji yang dites pada temperatur yang lebih tinggi.

Dengan menggunakan prinsip kesetimbangan statika besaran momen dan geser yang terjadi pada setiap penampang balok yang bekerja menahan beban dapat dihitung kemudian yang diperhitungkan adalah kemampuan balok tersebut dengan cara memperhitungkan tegangan-tegangan yang terjadi di dalamnya. Distribusi tegangan-tegangan pada penampang balok sebenarnya sangat rumit, dan hasil perhitungan yang dapat diperoleh berdasarkan teori elastisitas dengan asumsi bahwa bahan homogen (serba-sama), sementara beton bertulang terdiri dari bahan yang tidak serba sama (non homogen) berarti tidak memiliki perilaku elastis pada jenjang kekuatannya.

Konsep lain adalah konsep kopel momen dalam, bila digunakan untuk memperhitungkan kuat balok yang bersifat umum dan dapat digunakan baik untuk bahan balok homogen ataupun tidak juga dapat dipakai untuk balok yang mempunyai distribusi tegangan linear ataupun nonlinear. Cara ini akan memudahkan bila digunakan untuk menjabarkan mekanisme gaya-gaya dalam balok beton bertulang karena mampu menggambarkan pola tahanan dasar yang terjadi. Perilaku Kuat Lentur Balok Uji 10 x 10 x 40 Untuk pengujian kuat lentur dilakukan dengan menggunakan alat 'Universal Testing Machine' dengan kapasitas 2000 N. Metode pengujian yang dilakukan sesuai standar ASTM - C293-68



Gambar 4.4 Proses uji kuat lentur

Pada gambar 4.4. untuk pengujian ini disiapkan benda uji balok berukuran 10 x 10 x 40 cm untuk setiap jenis SCC diuji pada umur 28 hari. Besarnya Kuat Lentur dihitung berdasarkan persamaan:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Sumber : ASTM -C293-68,2000 Dimana :

R = Kuat Lentur (Mpa)

P = Beban maksimum yang diberikan pada balok (N)

L = Panjang Bentang (mm)

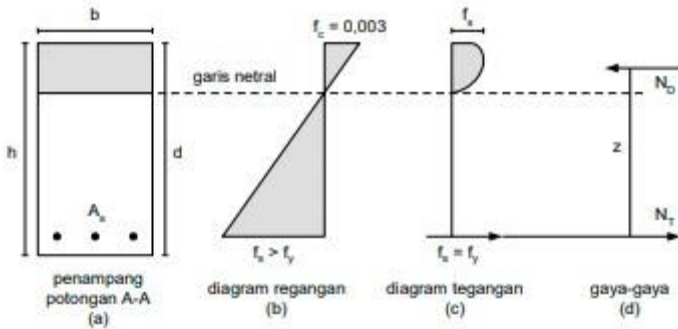
b = Lebar rata-rata dari benda uji (mm)

d = Tinggi rata-rata benda uji (mm)

D. Kuat Lentur Balok Persegi

Pada suatu komposisi tertentu balok dapat menahan beban yang terjadi hingga regangan tekan lentur beton maksimum (ϵ'_{bmaks}) mencapai 0,003 sedangkan tegangan tarik baja tulangan mencapai tegangan luluh f_y . Bila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai keseimbangan regangan (penampang bertulangan seimbang). Berdasarkan pada asumsi yang telah dikemukakan di atas, dapat dilakukan pengujian regangan, tegangan, dan gaya-gaya yang timbul pada penampang balok yang bekerja menahan momen batas, yaitu momen yang timbul akibat beban luar pada saat terjadi hancur. Kuat lentur balok beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan-regangan dalam yang timbul di dalam balok dalam keadaan tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam. Seperti tampak pada Gambar 4.5, di mana N_D adalah merupakan resultan gaya tarik dalam dan merupakan seluruh gaya tarik yang direncanakan untuk daerah yang berada di bawah garis netral. Resultan gaya tekan dalam dan resultan gaya tarik dalam arah garis kerjanya sejajar, sama besar namun berlawanan arah dengan jarak Z sehingga membentuk kopel momen

tahanan dalam yang mana nilai maksimumnya disebut sebagai kuat lentur.



Gambar 4.5 Balok menahan momen ultimit

Momen tahan dalam tersebut akan memikul momen lentur rencana aktual yang diakibatkan oleh beban luar. Untuk tujuan perencanaan pada kondisi balok dibebani harus disusun sesuai dengan komposisi dimensi balok beton dan jumlah luasan baja tulangan yang dapat menahan momen akibat beban luar. Yang paling penting diperhatikan untuk menentukan momen tahan dalam, terlebih dahulu adalah mengetahui resultan total gaya beton tekan N_D , dan letak garis kerja gaya dihitung terhadap serat tepi tekan terluar, sehingga jarak Z dapat dihitung. Nilai N_D dan N_T dapat dihitung dengan menyederhanakan bentuk distribusi tegangan lengkung dirubah dengan bentuk ekuivalen yang lebih sederhana, dengan cara memanfaatkan nilai intensitas tegangan rata-rata agar nilai dan letak resultan tidak mengalami perubahan. Seperti pada Gambar 4.6, intensitas tegangan beton tekan rata-rata ditentukan sebesar $0,85 f_c'$ dan diasumsikan bekerja

pada daerah tekan dari penampang balok selebar b dan sedalam a , yang mana besarnya dapat ditentukan dengan persamaan:

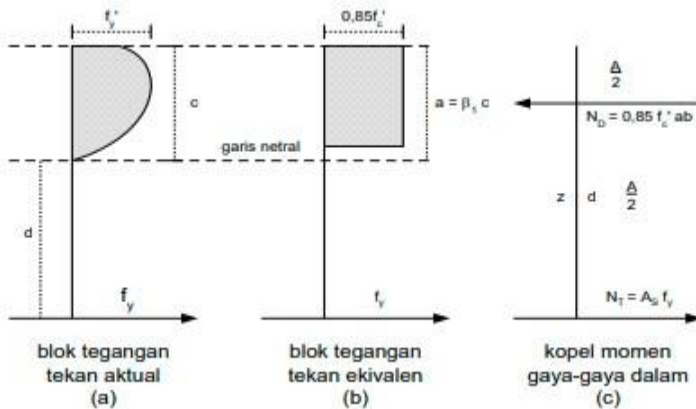
$$a = \beta_1 c$$

dimana:

c = jarak serat tekan terluar ke garis netral

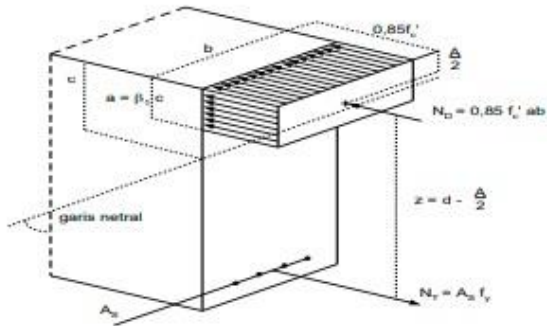
β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton

Berdasarkan bentuk empat persegi panjang,



Gambar 4.6 Blok tegangan ekuivalen

Standar SK. SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai β_1 diambil $0,85 f'_c \leq 30$ MPa, berkurang 0,008 untuk setiap kenaikan 1 MPa kuat beton dan tidak boleh kurang dari 0,65.



Gambar 4.7 Blok tegangan ekuivalen

Dari Gambar 4.7, dapat dilihat hubungan gaya-gaya dalam dengan menggunakan distribusi tegangan bentuk segi empat ekuivalen untuk menentukan momen nominal (M_n) balok beton bertulang segi empat.

BAB 5

PERILAKU LENTUR BETON SELF COMPACTING CONCRETE

Ditemukan hasil kajian, diperoleh melalui pengujian karakteristik bahan pembentuk beton; 1) Pengujian karakteristik agregat kasar. 2) Pengujian karakteristik agregat halus. 3) Pengujian karakteristik beton segar (*fresh concrete*). 4) Pengujian karakteristik beton keras (*hardened concrete*). 5) kuat lentur balok beton bertulang. Dari pengujian beton segar diperoleh hasil: a) Nilai slump, b) Nilai slump flow. Sedangkan beton keras diperoleh hasil:

1. Nilai kuat tekan (f_c').
2. Kuat tarik belah (splitting).
3. Modulus elastisitas pada umur 28 hari.
4. Kuat lentur.

Adapun untuk pengujian kuat lentur balok beton bertulang meliputi:

- a. Pengujian kuat lentur
- b. Lendutan
- c. Pola retak dan
- d. Pola keruntuhan pada umur 28 hari.

A. Pengujian Karakteristik Agregat

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat (agregat halus dan agregat kasar) seperti diperlihatkan pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Pemeriksaan Karakteristik Agregat

No	Jenis Pengujian	Agregat Halus		Agregat Kasar	
		interval	Hasil pengujian	interval	Hasil pengujian
1	Kadar Lumpur	0,2 -5%	4,27%	0,2-1%	0,7%
2	Kadar Organik	< No.3	< No.1	15-50%	23,82%
3	Kadar Air	3 - 5%	3,47%	0,5-2%	1,1%
4	Berat Volume				
	a. Kondisi lepas	1,4 -1,9 kg/ltr	1,40 k/l	1,4 -1,9 kg/ltr	1,55 k/l
	b. Kondisi padat	1,4 -1,9 kg/ltr	1,53 k/l	1,4 -1,9 kg/ltr	1,69 k/l
5	Absorpsi	0,2 -2%	1,63%	0,2-4%	1,42%
6	Berat Jenis Spesifik				
	a. Bj. Bulk	1,6 -3,2	2,20	1,6 -3,2	2,55
	b. Bj. Semu	1,6 -3,2	2,28	1,6 -3,2	2,65
	c. Bj. Kering Permukaan	1,6 -3,2	2,23	1,6 -3,2	2,59
7	Modulus Kehalusan	2,2 -3,1	2,50	5,5 -8,5	7,29

B. Mix Design

Dari hasil perhitungan dan uji coba mix design fas 0,34 dengan menggunakan cara developmet of environment (DoE)

Tabel 5.2 Mix disain beton self compacting concrete, perencanaan disain 1 m³ beton.

Faktor Air Semen (fas)	Volume				Super Plasticizer	Retarder
	Air	Semen	Agregat			
			Pasir	Batu pecah		
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(gr)	(gr)	
0,34	205	602,94	672,32	780,86	0	0
	198,7	602,94	672,32	780,86	4221 (0,7%)	1809 (0,3%)
	192,4	602,94	672,32	780,86	9044 (1,5%)	3015 (0,5%)

C. Slump Flow beton segar

Pengukuran slump dilakukan untuk mengetahui kelecakan (workabilitas) adukan beton. Kelecakan adukan beton merupakan ukuran dari tingkat kemudahan campuran untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan tanpa menimbulkan pemisahan bahan penyusun beton. Tingkat kelecakan ini dipengaruhi oleh komposisi campuran, kondisi fisik dan jenis bahan pencampurnya. Pengaruh penambahan additive terhadap nilai slump flow.



Gambar 5.1 Slump test beton normal

1. Pemeriksaan slump beton dalam menentukan nilai slump flow dan waktu pengaliran beton self compacting concrete. Analisis panjang pengaliran L-flow terhadap kuat tekan beton dengan menggunakan mesin Universal Testing Machine (UTM). Nilai slump flow beton self compacting concrete mempunyai nilai perbandingan yang sangat besar terhadap beton normal. Diameter slump flow beton normal kisaran 23,95 – 26,4 cm dan tinggi slump antara 8,7 – 13 cm.

Tabel 5.3. Panjang pengaliran L-flow

Slump flow (cm)		
Beton Normal	Beton Self Compacting Concrete (0,7% superplasticizer + 0,3% retarder)	Beton Self Compacting Concrete (0,7% superplasticizer + 0,3% retarder)
26,4	68,0	84,9



Gambar 5.2 Slump flow test beton self compacting concrete

Beton self compacting concrete mempunyai tingkat pengaliran dan kelecekan yang tinggi sehingga mampu menyentuh diameter 500 mm pada papan segregasi dengan rentang waktu antara 2,53 – 3,52 detik, dengan diameter slump flow antara 63 – 75 cm (Beton self compacting concrete 0,7% superplasticizer + 0,3% retarder), sedangkan beton self compacting concrete 1,5% superplasticizer + 0,5% retarder slump flow antara 75,5 – 84,9 cm, dengan rentang waktu antara 2,59 – 3,46 detik mampu menyentuh diameter 500 mm pada papan segregasi. diperlihatkan pada tabel 5.3.

2. Pengaruh kadar bahan tambah (superplasticizer dan retarder) terhadap slump beton, slump flow dan waktu pengaliran beton self compacting concrete.
3. Dari hasil pengujian beton self compacting concrete, bahwa bahan tambah superplasticizer dan retarder berperan sebagai pemacu terjadinya tingkat pengaliran yang tinggi, pada komposisi yang optimal dapat menciptakan homogenitas pada campuran beton, sedangkan pada komposisi yang berlebihan justru akan menciptakan beton yang sangat encer dan susah dikontrol, serta kemungkinan terjadinya segregasi pada beton sangat besar yang berdampak pada penurunan nilai dan kualitas beton. Beton self compacting concrete 0,7% superplasticizer dan 0,3% retarder dari berat semen menghasilkan nilai slump flow 63 – 75 cm, sedangkan untuk beton self compacting concrete 1,5% superplasticizer dan 0,5% retarder dari berat semen menghasilkan nilai slump flow 75 – 84,9 cm.

4. Pengaruh kadar bahan tambah (superplasticizer dan retarder) terhadap kuat tekan beton self compacting concrete. Pada umur perawatan beton 7-28 hari, pengaruh reaksi retarder berangsur menghilang yang kemudian digantikan oleh membesarnya reaksi superplasticizer sebagai akselerator kuat tekan. Dengan demikian beton self compacting concrete yang memiliki persentase bahan tambah superplasticizer yang lebih besar cenderung menghasilkan nilai kuat tekan beton yang besar pula.

Tabel 5.4 Kuat tekan beton terhadap umur perawatan

Umur Perawatan (hari)	Beton Normal (Mpa)	Beton Self Compacting Concrete	
		(0,7% superplasticizer + 0,3% retarder) (Mpa)	(1,5% superplasticizer + 0,5% retarder) (Mpa)
3	28,84	25,24	24,11
7	28,90	29,26	33,78
14	35,03	35,92	41,87
21	36,24	38,18	44,84
28	45,02	45,14	46,25



Gambar 5.3 Pengujian Kuat tekan Beton Self Compacting Concrete

Beton normal f'_c sebesar 45,02 Mpa, Beton self compacting concrete 0,7% superplasticizer dan 0,3% retarder f'_c sebesar 45,14 Mpa, dan Beton self compacting concrete 1,5% superplasticizer dan 0,5% retarder f'_c sebesar 46,25 Mpa, meningkat sebesar 2,73% terhadap kuat tekan beton normal. Nilai kuat tekan beton diperlihatkan pada tabel 5.4

Dari tabel terlihat bahwa semakin besar variasi additive yang di tambahkan pada campuran beton maka tingkat kelecakan (workabilitas) adukan beton akan semakin rendah dan nilai kuat tekan relatif tidak terlalu signifikan kenaikannya.

Kuat lentur balok 10 x 10 x 40 cm (f_r')

Tabel 5.5 Hasil pengujian kuat lentur balok beton 10x10x40 cm pada umur 28 hari

No	Jenis beton	Kuat lentur rata2 (Mpa)
1	Normal	6,45
2	Self compacting concrete	6,60

Nilai kuat lentur pada beton self compacting concrete mengalami peningkatan 4,5 % dari kuat lentur beton normal.



Gambar 5.4 Pengujian Kuat lentur Beton Self Compacting Concrete

Implikasi Uji Pembebanan

Pada balok beton bertulang beton 15x30x300 cm beton self compacting concrete terhadap beton normal;

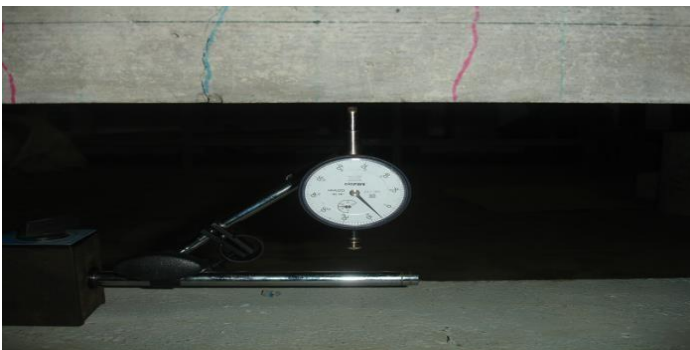
Tabel 5.6 Hasil uji pembebanan balok beton bertulang

N0	Pembebanan	Sat	Eksprimen	
			Beton Normal	Beton Self Compacting Concrete
1	Kuat Lentur	Mpa	22,56	24,96
2	Momen Max	Ton.m	2,940	3,250
3	Beban Total Pcr	Ton	1,400	1,500
4	Beban Leleh Py	Ton	4,500	5,000
5	Beban Ultimit Pu	Ton	4,700	5,200
6	Lendutan pada saat retak awal ΔCr	mm	2,00	1,74
7	Lendutan pada saat Beban Leleh ΔCy	mm	15,42	13,95
8	Lendutan pada saat Beban Ultimit ΔCu	mm	29,00	25,58
9	Daktalitas Lendutan		2,00	2,48

	Daktalitas Kurvatur		1,034	1,015
10	Lebar Retak Awal Wcr	mm	0,16	0,15
11	Lebar Retak Ultimit Wu	mm	3,00	2,60
12	Rerata Panjang Retak	mm	3,7- 27,6	3,6-26,0
13	Rerata sudut retak terhadap sumbu vertikal	(°)	21,6	15,4

Kuat lentur

Dari Tabel 5.6. di atas terlihat jelas bahwa beban retak pada beton normal lebih kecil dari beton self compacting concrete dan beban leleh maksimum terjadi pada self compacting concrete dengan mengalami peningkatan sebesar 11,11 % terhadap beton normal. Demikian halnya dengan beban ultimit. Beton serat mengalami peningkatan kuat lentur 10,64 % terhadap beton normal. Sedangkan kondisi yang terjadi pada lendutan akibat beban dengan lendutan maksimum terjadi pada beton normal sebesar 16,03 % dan beton self compacting concrete 11,79 %, dapat di lihat pada Gambar. 5.1



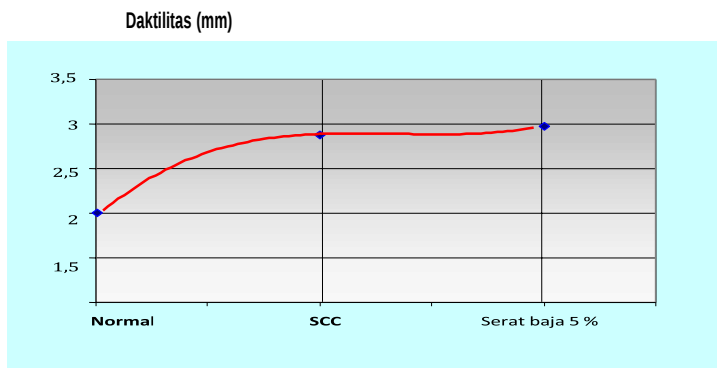
Gambar 5.5 Hubungan beban dan lendutan beton normal



Gambar 5.6 Hubungan beban dan lendutan beton self compacting concrete

Daktilitas

Pada Tabel 5.6, dapat terlihat dengan jelas perbedaan daktilitas antara beton bertulang normal dengan beton self compacting concrete. Untuk menentukan nilai daktilitas masing-masing benda uji dapat dihitung dari kurva beban – lendutan dan kurva hubungan momen - kelengkungan. Balok beton bertulang normal mempunyai daktilitas lendutan masing-masing lebih kecil 24,00 % dari beton self compacting concrete. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar. 5.7.



Gambar 5.7. Daktalitas beton self compacting concrete terhadap beton normal

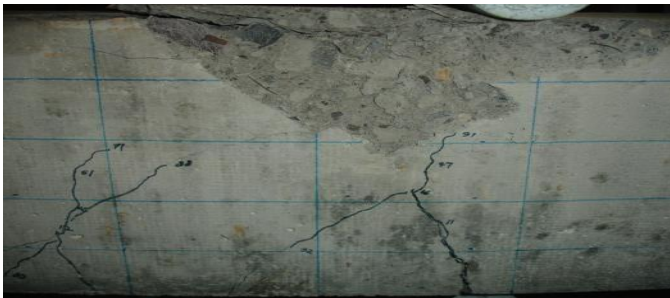
Pola retak

Pola retak diamati berdasarkan model retak yang dapat dilihat pada gridgrid balok beton bertulang. Pada balok beton normal, retak pertama terjadi pada posisi di bawah beban, tepatnya serat bawah penampang bagian tengah balok pada saat P_{cr} 1,4ton demikian pula selanjutnya dengan balok beton self compacting concrete pada saat P_{cr} 1,5 ton. Dari hasil pengamatan retakan sebagaimana terlampir dalam Tabel 5.6 pada balok tersebut terlihat bahwa panjang retak pertama berkisar antara 3,76 – 27,6 mm dengan lebar retak 0,06 – 0,16 mm untuk beton normal, panjang retak pertama berkisar antara 3,60 – 26,00 mm dengan lebar retak 0,04 – 0,15 mm untuk beton self compacting concrete. Dilihat dari posisi awalnya, retak tergolong jenis retak lentur (*flexural crack*) yang mana pola retaknya membentuk garis vertikal sejajar dengan garis sumbu tegak lurus terhadap sum-

bu panjang balok. Seiring dengan meningkatnya penambahan beban maka semakin banyak retakan yang terjadi di sepanjang bentangan balok, pola retak yang terjadi mengalami perubahan kemiringan dengan membentuk sudut masing-masing $68,4^\circ$ untuk beton normal, $74,6^\circ$ untuk beton self compacting concrete terhadap sumbu horisontal balok. Setelah retak lentur terjadi, kemudian retak dikendalikan oleh adanya tulangan tarik sementara pertambahan lebar retak secara berkesinambungan berkembang seiring dengan bertambahnya beban. Untuk lebih jelasnya mengenai perbedaan pola retak diperlihatkan pada Gambar. 5.8 Pola retak beton normal, dan Gambar. 5.9 Pola retak beton self compacting concrete.



Gambar. 5.8 Pola retak beton normal



Gambar. 5.9 Pola retak beton self compacting concrete

Pola Runtuh

Model keruntuhan balok uji dapat diperiksa secara visual dari pola retak sesudah keruntuhan. Pola keruntuhan balok ini dapat di kategorikan sebagai keruntuhan tarik (*tension failure*) dimana tulangan tarik terlebih dahulu mencapai kekuatan leleh yang di ikuti dengan terjadinya penambahan kelengkungan yang besar pada momen lentur sampai akhirnya beton hancur. Pada Gambar 5.10, untuk beton normal memperlihatkan pola keruntuhan geser (*shear failure*) adapun pada Gambar 5.11, untuk beton self compacting concrete memperlihatkan pola keruntuhan geser (*shear failure*). Beban ultimit yang dapat dicapai masing - masing adalah 4,7ton untuk beton normal, 5,2 ton untuk beton self compacting concrete, sampai beton mengalami hancur pada bagian atas tengah bentang. Pada beton normal dan beton self compacting concrete sebelum beton runtuh terdengar suara ledakan keras dan serat atas terlepas



Gambar 5.10 Pola runtuh beton self compacting concrete



Gambar 5.11 Tulangan tekan tertekuk keatas pada beton self compacting concrete

BAB 6

PENUTUP

Berdasarkan penjelasan di atas dapat ditarik benang merah bahwa; 1) pengaruh yang cukup signifikan terhadap peningkatan kuat lentur beton self compacting concrete sebesar 23,40 % terhadap beton normal. 2) Balok beton bertulang self compacting concrete mempunyai nilai daktilitas terhadap lendutan yang paling tinggi pengaruhnya sebesar 1,39 kali atau 39,50% dari balok beton bertulang normal, berpengaruh terhadap pola retak, terutama perbedaan pada lebar retak dengan mengalami pengurangan 0,02-0,11 mm dan panjang retak mengalami perpendekan 2,7-25,2 mm demikian pula sudut retak lebih besar $13,9^\circ$ dari beton bertulang normal terhadap sumbu horisontal. 3) Beton self compacting concrete pada balok beton bertulang juga berpengaruh terhadap pola keruntuhan balok, pola keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan geser (*shear failure*).

Adapun untuk saran diupayakan Disain beton self compacting concrete ditambahkan dengan serat sebagai perlakuan lentur memiliki pola keruntuhan lentur (*flexural failure*) dengan meminimalisir pola retak yang terjadi. Terlebih, penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada Pendanaan RisetMuh 2024, Laboratorium Eco-material Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. (2005). Building Code Requirement for Structural Concrete (ACI 318 M – 05) and Comentary (ACI 318 M – 05/318 R – 05), Amirican Concrete Institute.
- Akkas, Abdul Madjid (1996). Rekayasa Bahan / Bahan Bangunan.
- ASTM-C293-68, (2000), Standard rumus pengujian kuat lentur
- Bartos, P.J.M., 'An appraisal of the Orimet Test as a Method for On-site Assessment of Fresh SCC Concrete', Proceedings of International Workshop on Self-Compacting Concrete, (Japan, August 1998) 121-135.
- Brite-EuRam programme: BE96-3801/BRPR-CT96-0366, 'Rational production and improved working environment through using self-compacting concrete'.
- Chen, J.F., and Teng, J.G. (2003). Shear Capacity of Fiber – Reinforced Polymer – Strengthened Reinforced Concrete Beam: Fiber Reinforced Polymer Ruptur, Jurnal of Structural Engineering, ASCE., Vol. 129, No. 5, May, pp. 615 – 625.
- Clarke, J.L., Garas, F.K. and Armer, G.S.T., (1985). Design of Concrete Structures the use of Model Analysis, Elsevier Applied Scence Publishers Ltd, England.

- Departemen Pekerjaan Umum (2002), Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung dengan Standar SK SNI 03 - 2847 - 2002. Badan Standarisasi Nasional.
- Dipohusodo, I., (1996). Struktur Beton Bertulang, Berdasarkan SK SNI T - 15 - 1991 - 03, Departemen Pekerjaan Umum RI.
- EFNARC (2002)- Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete;
- Feldman, D., Hartono, A.J. (1995), Bahan Polimer Konstruksi Bangunan, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Fukute, T. Yamamoto, K. and Hamada, H. (1990), "Study on the Durability of Concrete Mixed with Sea Water" Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol.29, No.3, pp. 57-89.
- Gambhir, M.L., (1986). Concrete Technology, Tata McGraw Hill Publishing Company, New Delhi.
- Hasaba, S. Kawamura, M. Yamada, H. and Takakuwa, J. (1975). "Several Properties of Concrete Using Sea Waters as Mixing Water", Journal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.24, No.260, pp. 425-431
- Haykawa, M., 'Development and Application of Super Workable Concrete', Proceedings of International RILEM Workshop on 'Special Concretes - Workability and Mixing', edited by Prof. P.J.M. Bartos, (Paisley, 1993) 183-190.
- Henderson N A, Baldwin N J R, McKibbins L D, Winsor D S, & Shanghavi H B, 'Concrete technology for foundation applications', CIRIA Report C569: 2002
- Japan Society of Civil Engineers (2005), "Recommendation on Environmental Performance

Verification for Concrete Structures (Draft)", Concrete Library 125.

Japan Society of Civil Engineers, 'Recommendations for Design and Construction of Antiwashout Underwater Concrete', Concrete library of JSCE, 19 (1992) 89 p.

Lydon, F.D., (1982). Concrete Mix Design, Applied Science Publishers, London.

McCormac, J.C., (1998). Design of Reinforced Concrete, Addison Wesley Longman, Inc., California.

Mori, Y. Otsuki, N. and Shimozawa, O. (1981), "The Durability of Concrete Mixed with Sea Eater under Marine Environment (Ten Year's Test)", Review of the 35th Meeting, the Cement Association of Japan, pp. 341-344.

Mulyono, T., 2004. Teknologi Beton, Penerbit Andi, Yogyakarta.

Neville, A.M., (1981). Properties of Concrete, Pitman Publishing Inc., London.

Nilson, A.H., (1997). Design of Concrete Structures, McGraw – Hill Companies, Inc., New York.

Orchad, D.F., (1982). Concrete Technology, Applied Science Publishers, London.

Otsuki, N. Mori, Y. And Seki, H. (1983), "Some Consideration for the Chloride Content of the Concrete in Narine Environment", Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers, Vol. 332, pp. 107-118.

Ozawa, K., Sakata, N., Okamura, H., 'Evaluation of Self-Compactibility of Fresh Concrete Using the Funnel Test', Concrete Library of JSCE, (25) (June 1995) 59-75.

- Pauly, T. and Park, R., (1993). Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons, A Wiley-Interscience Publication, New York.
- Petersson, Ö., Billberg, P., Van, B.K., 'A model for self-compacting Concrete', Proceedings of International RILEM Conference on 'Production Methods and Workability of Concrete', edited by P.J.M. Bartos, et al. (Chapman & Hall/E & FN Spon) (Paisley, 1996) 483-490.
- Rooney, M., Bartos, P.M.J., 'Development of the settlement column segregation test for fresh selfcompacting concrete (SCC)', to appear in the second international symposium on SCC, Tokyo, Japan (2001).
- Sunggono, (1995). Buku Teknik Sipil, Penerbit Nova, Bandung.
- Takewaka, K. and Kobayashi, K, (1981), "The Corrosion Accelerating Test of Reinforcing Steel in the Concrete by Autoclave", Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol.3, pp.161-164.
- Tanijaya, J., (2001). Perilaku Mekanik Balok – T Beton Bertulang Hibrida dengan Bukaannya pada Badan Akibat Beban Siklik, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 8, No.1, Jan. Hal. 21 – 28.
- Umar, (2005). Analisa Lentur Pelat Beton Serat Pracetak Dengan Variasi Jarak Tulangan, PPS Unhas.
- Uno, Y. and Kobayashi, K. (1990), "Effect of Incorporation of Chloride on the Hardened Cement Paste System of Concrete", Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol.12, No.1, pp.465-470.
- Wahjono dan Sarjono, W., (2003). Pengaruh Penambahan Fiber Bendrat pada Kuat Geser Balok Beton

Bertulang Tanpa Sengkang, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3, No. 2, April, Hal. 77 – 83

Wang, ChuKia, Charles G. Salmon (1986). Disain Beton Bertulang.

Winter, George, Arthur H Nilson (1993). Perencanaan Struktur Beton Bertulang.

Yoda, A. and Yokomuro, T. (2007), "Properties of Concrete Containing Fine Aggregate of Different Chloride Contents"

Tentang Penulis



Dr. Adnan, ST., MT. merupakan Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare. Penulis lahir di Bojo tanggal 08 Agustus 1968. Penulis dilahirkan oleh ibunda tercinta Hj. Naderah Thaif dan Ayah tercinta Muhammad Sadik. Penulis memiliki keluarga dengan pendamping istri Hj. Masdawati, SE dan dua anak Fadhillah Nurafini dan Muthia Ayu Annisa. Penulis adalah Dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare Sejak Tahun 2001. Menyelesaikan pendidikan SDN No. 12 Bojo, pendidikan SMPN 5 Parepare, pendidikan SAMN 2 Parepare. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil, pendidikan S2 Jurusan Teknik Sipil dan melanjutkan pendidikan S3 pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar. Penulis menekuni bidang Menulis dalam bidang Teknik Sipil sampai saat ini. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: ferlywijaya774@gmail.com

INDEXS

A

Air · 139
Akhir · 139

B

Beton · 139

C

Campuran · 139
Compacting · 139
Concrete · 140
Control · 139

E

EFNARC · 140

F

Faktor · 139

G

Guidelines · 140

K

Kekuatan · 139
Kemampuan · 139
Konvensional · 139

P

Pekerjaan · 139
Pipa · 139
Pompa · 139
Proyek · 139

Q

Quality · 139

R

Rencana · 139

S

SCC · 139
Segregasi · 139
Self · 139
Semen · 139
Sifat · 139
Specification · 140

TEKNOLOGI BETON

SELF COMPACTING CONCRETE TERHADAP
PERILAKU LENTUR BALOK BETON

Teknologi beton *Self-Compacting Concrete* (SCC) telah mengubah paradigma dalam industri konstruksi dengan memungkinkan beton untuk mengalir secara merata di sekitar struktur tulangan tanpa perlu getaran tambahan. Dampaknya terasa dalam perilaku lentur balok beton, di mana distribusi yang lebih seragam meningkatkan kekuatan dan kekakuan struktur, mengurangi risiko kegagalan struktural karena segregasi beton. Namun, untuk memastikan keberlanjutan penggunaan SCC, perlu pemahaman mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja SCC dalam berbagai kondisi lingkungan dan kebutuhan struktural.

Sebagai inovasi yang menjanjikan, SCC menawarkan potensi untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam pembangunan infrastruktur. Namun, tantangan terletak pada pengembangan pedoman desain yang lebih baik serta pemahaman yang lebih dalam tentang implementasi SCC agar sesuai dengan persyaratan lingkungan dan kebutuhan struktural yang berbeda. Dengan demikian, kajian dan pengembangan berkelanjutan dalam penggunaan SCC menjadi kunci untuk memastikan bahwa teknologi ini dapat memenuhi harapan dalam membentuk masa depan konstruksi yang lebih efisien, kuat, dan berkelanjutan.



Dr. Adnan, ST., MT. merupakan Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare. Penulis lahir di Bojo tanggal 08 Agustus 1968. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil, pendidikan S2 Jurusan Teknik Sipil dan melanjutkan pendidikan S3 pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar. Penulis menekuni bidang Menulis dalam bidang Teknik Sipil sampai saat ini. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: ferlywijaya774@gmail.com



Duta Media Press

Office: Jl. Ngentak, Bangunjiwo, Kec.
Kasihan, Kab. Bantul,
D.I. Yogyakarta



dutamediapress.com



[dutamediapress](https://www.facebook.com/dutamediapress)



[dutamediapress](https://www.instagram.com/dutamediapress)



0889-5849-917

ISBN 978-623-10-0789-6



9 786231 007896