

# **PEMANFAATAN *HIGH-FLOWABLE CONCRETE* UNTUK PELAKSANAAN KONSTRUKSI BETON DI BAWAH AIR**

Oleh :

**Slamet Widodo**  
Staf Pengajar FT-UNY

## **Abstract**

Concrete used for underwater construction needs to be proportioned to spread readily and self-consolidate. Sika Viscocrete-5, a polycarboxylate-type superplasticizer that able to make fresh concrete becomes high-flowable and self-compactable, has a potentiality to be used as an admixture for underwater concreting. This research proposed to evaluate effects of Viscocrete-5 on fresh concrete properties, compressive strength and water absorption of High-Flowable Concrete for underwater placement. The research has done with 0.40 water/binder ratio and 0.3, 0.6, 0.8, 1.0 and 1.3 percent of Viscocrete-5 by total weight of binder. 60 underwater concrete cylinders ( $\varnothing 15\text{cm} \times 30\text{cm}$ ) and 30 cast in air cylinders were investigated for compressive strength in 7, 14, 28 and 56 days. 15 cubes ( $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 15\text{cm}$ ) of underwater concrete were used for absorption examination. Test result indicates that Viscocrete-5 improve workability up to 45.71%, flowability 35.24% while filling-capability (self-compactibility) increasing 114.29%. The compressive strength of underwater concrete increased up to 40.41%, such mixtures could develop relative compressive strength more than 80%, when the fresh concrete classified as High-Flowable Concrete and Self-Compacting Concrete. Viscocrete-5 also improve impermeability of underwater concrete, indicates by the reduction of water absorption up to 11.11%.

**Keywords** : Underwater construction, High-Flowable Concrete, compressive strength, water absorption

## **PENDAHULUAN**

Kemajuan di bidang konstruksi dan perbaikan beton di bawah air terjadi melalui pengembangan dan penyempurnaan metode penuangan beton segar, penemuan dan pengembangan *chemical admixtures* serta penggunaan bahan substitusi semen untuk memperbaiki kualitas beton. Pelaksanaan konstruksi beton di bawah air tidak memungkinkan untuk dilakukan proses pemadatan secara konvensional sehingga diperlukan beton segar yang mampu mengalir dan memadat dengan memanfaatkan berat sendiri.

Beton segar yang akan digunakan untuk konstruksi dan perbaikan beton di bawah air memerlukan perancangan campuran adukan yang seimbang antara sifat beton segar (*rheological properties*) dan sifat mekanis (*mechanical properties*) yang berhubungan dengan kualitas beton yang dihasilkan. Kondisi yang ada di lingkungan perairan memerlukan beton yang memiliki daya alir yang tinggi (*high-flowable*) sehingga dapat melewati hambatan (tulangan) yang terpasang, mengisi tinggi permukaan yang diinginkan dengan rata (*self-leveling*) dan memadat dengan baik (*self-compactable*) sehingga dihasilkan beton *insitu* yang memiliki kekuatan (*strength*), lekatan (*bond*) dan kededapan (*impermeability*) yang baik.

*Japan Society of Civil Engineers* (JSCE) memberikan batasan beton yang dituang di dalam air minimum memiliki kekuatan sebesar 80% kekuatan beton yang dituang di daratan, dengan nilai faktor air semen (f.a.s.) maksimum 0.55 untuk pekerjaan di air tawar dan 0.50 untuk pekerjaan di air laut, dan nilai *slump flow* berkisar antara 450 sampai 500 mm untuk struktur beton bertulang dan 550 sampai 600 mm untuk tulangan yang lebih rapat. Nilai faktor air semen yang lebih rendah diperlukan pada pelaksanaan konstruksi dengan kebutuhan durabilitas yang baik, misalnya untuk perbaikan pondasi struktur bangunan lepas pantai disyaratkan nilai faktor air semen berkisar antara 0,38 sampai 0,45 (Sonebi dan Khayat, 2001).

Pelaksanaan konstruksi beton di bawah air yang menggunakan *tremie method* disyaratkan nilai slump berkisar antara 150 sampai 225 mm, sedangkan ukuran agregat maksimum diberikan batasan sebesar 19 mm untuk beton bertulang dan 36 mm untuk beton tidak bertulang, dengan proporsi agregat halus berkisar antara 45% sampai 55% dari jumlah total agregat yang digunakan (Malisch, 1986).

Beton segar yang memiliki sifat *high-flowable* dan *self-compactable* dapat dicapai dengan memanfaatkan *high range water reducer* (HRWR) berbasis *polycarboxylate* yang biasa digunakan untuk menghasilkan *High-Flowable Concrete* (HFC). Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh takaran sika *viscocrete-5* (HRWR berbasis *polycarboxylate*) pada kuat tekan dan serapan air di bawah air.

## BAHAN DAN METODA

Campuran adukan beton dalam penelitian ini menggunakan portland semen tipe I merk Semen Gresik, *silica fume* yang telah ditambah *anti-washout admixture* (AWA) dengan merk Sikacrete-W, air bersih dan *superplasticizer* berbasis *polycarboxylate* merk *Sika Viscocrete-5*. Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah *well-graded* asal Purworejo dengan ukuran maksimum 20 mm dan nilai modulus halus butiran 6,56, sedangkan pasir Kali Progo bergradasi agak kasar dengan modulus halus butiran 2,70 digunakan sebagai Agregat halus. Peralatan berupa *slump test*, *flow-table test* dan *U-Flow Test* digunakan untuk menguji sifat beton segar, *compression testing machine* digunakan untuk uji kuat tekan beton, sedangkan timbangan dan oven diperlukan untuk menguji nilai serapan air beton.

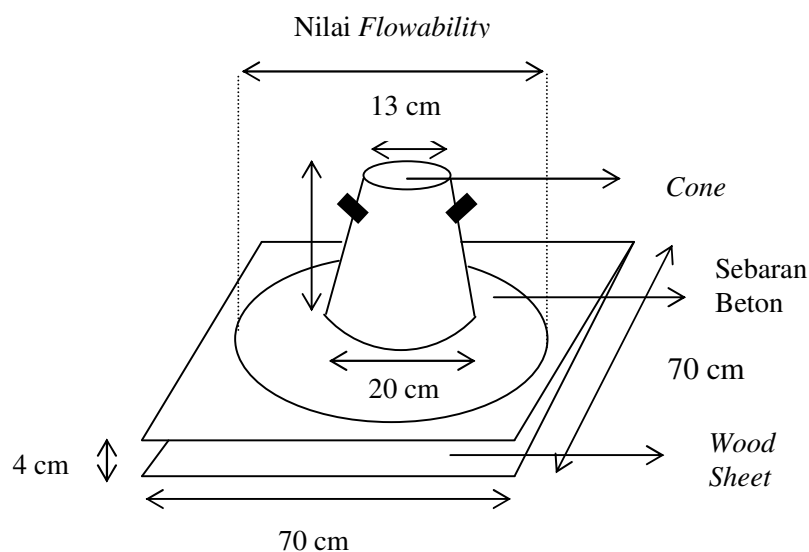
Penelitian dilakukan dengan nilai faktor air semen (f.a.s.) 0,40, fraksi agregat halus ditetapkan sebesar 50% dari total berat agregat untuk mengurangi kecenderungan segregasi dan meningkatkan daya alir beton segar. *Silica fume* digunakan sebagai bahan substitusi semen dengan takaran 10% berat semen untuk meningkatkan viskositas beton segar, sedangkan AWA ditambahkan untuk meminimalkan larutnya massa beton di dalam air. *Sika Viscocrete-5* ditambahkan dengan variasi takaran 0,3%, 0,6%, 0,8%, 1,0% dan 1,3% dihitung berdasarkan berat *binder*. Rancangan campuran adukan beton selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Campuran Adukan Beton

Material	Takaran <i>viscocrete</i> menurut berat <i>binder</i>				
	0,3%	0,6%	0,8%	1,0%	1,3%
<i>Viscocrete-5</i> (lt/m <sup>3</sup> )	1,4	2,8	3,8	4,7	6,1
Air (lt/m <sup>3</sup> )	203,5	202,0	201,0	200,0	198,5
Semen (kg/m <sup>3</sup> )	462,0	462,0	462,0	462,0	462,0
<i>Silica fume</i> (kg/m <sup>3</sup> )	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0
Agregat Kasar (kg/m <sup>3</sup> )	811,0	811,0	811,0	811,0	811,0
Agregat Halus (kg/m <sup>3</sup> )	811,0	811,0	811,0	811,0	811,0
Berat total (kg/m <sup>3</sup> )	2340,0	2340,0	2340,0	2340,0	2340,0

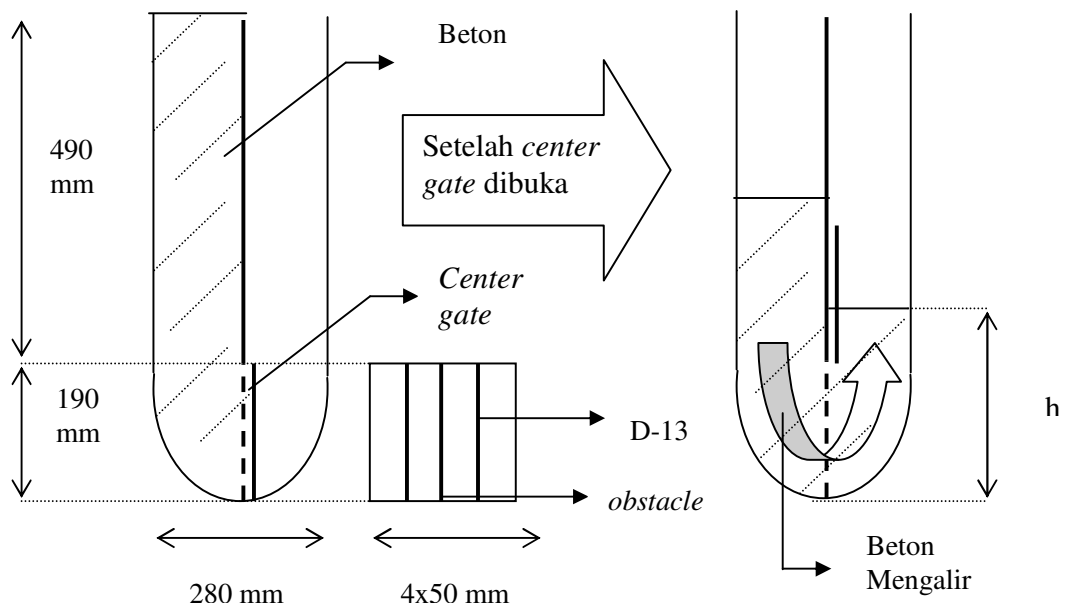
Pencampuran beton dilakukan di dalam *concrete mixer* agar diperoleh campuran yang homogen. Agregat kasar dan pasir dalam kondisi *SSD*, semen dan *silica fume* ditimbang lalu dimasukkan ke dalam *mixer*, selanjutnya air dan *viscocrete* ditakar sesuai dengan kebutuhan, kemudian *mixer* mulai diputar sambil menambahkan air. *Viscocrete* yang telah disiapkan dicampur dalam air dan ditambahkan ke dalam campuran setelah *mixer* diputar selama kurang lebih dua menit, pencampuran di dalam *mixer* dilakukan selama tiga menit.

Pengujian sifat beton segar yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi *slump test* mengacu standar ASTM C 143-78 untuk menguji *workability* beton. *Flow-table test* untuk menguji *flowability* mengacu pada BS-1881 dengan peralatan yang meliputi dua papan kayu berukuran 70cmx70cm berlapis logam di bagian atasnya. Kerucut terpancung dengan tinggi 20 cm, diameter bagian dasar 20 cm dan diameter atas 13 cm diletakkan di atas papan kayu. Beton segar diisikan ke dalam kerucut sampai penuh dan dibiarkan sampai 30 detik kemudian cetakan diangkat dan papan kayu bagian atas diangkat setinggi 4 cm lalu dijatuhkan lagi, hal ini dilakukan setiap 4 detik sebanyak 15 kali. Setelah itu diukur diameter sebaran beton dalam dua sumbu utama lalu dihitung rata-ratanya. Cara pelaksanaan *flow-table test* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sketsa *Flow Table Test* (BS 1881)

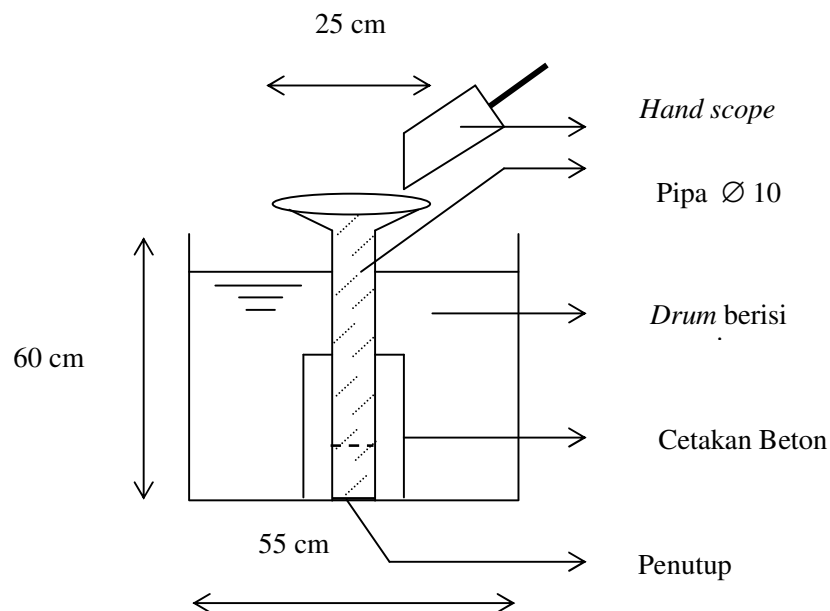
*U-Flow Test* dilakukan untuk mengetahui *filling-ability* beton segar mengacu pada usulan Taisei Group dan NIST, dengan metode ini kemampuan beton segar untuk memadat sendiri dan mengisi celah pada ruangan dapat diketahui berdasarkan tinggi beton yang mengalir melalui *obstacle*. Jika beton segar dapat mencapai ketinggian 70% dari kemungkinan bejana mencapai keseimbangan (24 cm), maka dapat dikategorikan sebagai *self-compacting concrete* (Ferraris dkk, 2000). Sketsa cara pengujian dengan metode *U-Flow Test* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sketsa *U-Flow Test* (Ouchi, 2001)

Setelah semua tahapan pengujian terhadap sifat beton segar selesai dilakukan maka penuangan beton segar dapat mulai dilaksanakan. Beton segar dituangkan ke dalam cetakan yang telah terendam di dalam air dengan bantuan sebuah pipa dan *handscope*, pada bagian dasar pipa diberikan penutup plastik untuk mencegah masuknya air ke dalam pipa selama penuangan. Setelah semua alat dan beton segar yang akan dituang siap, penuangan tahap pertama dilakukan dengan mengisikan beton segar ke dalam pipa yang ujungnya telah ditutup dengan plastik sampai penuh,

tahap selanjutnya merusak atau membuka penutup plastik dengan cara menusukkan baja tulangan (dua atau tiga kali) sehingga beton segar mulai mengalir ke bawah, jika beton sudah mulai mengalir pipa diangkat perlahan-lahan sambil menambahkan beton segar ke dalam pipa dengan *hand-scope* agar air tidak bercampur dengan beton, tahapan ini dilakukan sampai cetakan silinder terisi penuh dengan beton segar. Pelaksanaan penuangan beton segar ke dalam cetakan silinder dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penuangan Beton Segar dengan Pemodelan Sistem *Tremie*

## HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian dalam penelitian ini dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu beton segar dan beton keras. Pengujian beton segar dilakukan dengan *slump test*, *flow-table test* dan *U-Flow Test*, sedangkan pada beton yang mengeras dilakukan pengujian kuat tekan dan serapan air.

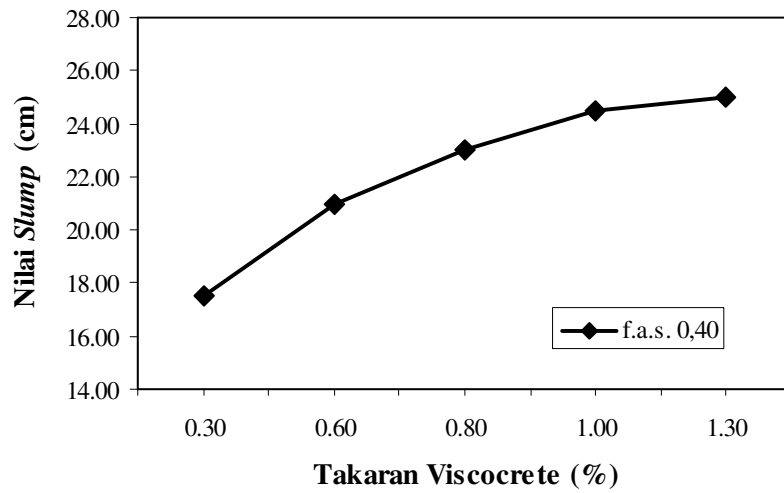
### **Pengaruh Sika Viscocrete-5 Terhadap Sifat Beton Segar**

Hasil pengujian sifat beton segar menunjukkan penambahan *viscocrete* pada campuran adukan beton dapat meningkatkan kelecakan, daya alir dan kemampuan memadat pada beton segar. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Yamada dkk (2000), bahwa penggunaan *polycarboxylate* mampu mendispersikan partikel semen sehingga dapat meningkatkan daya alir pasta semen.

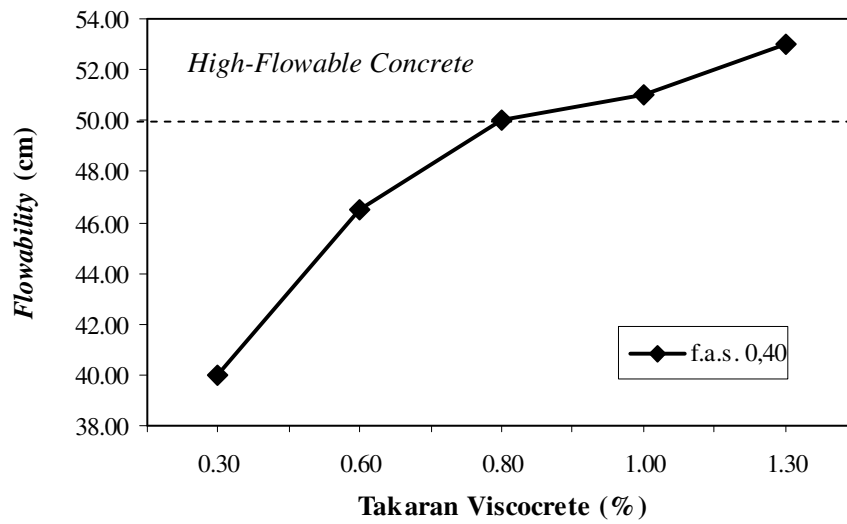
*Sika-Viscocrete-5* dapat membuat beton segar menjadi bersifat *high-flowable* (*flowability* lebih dari 50 cm) dan *self-compactable* (*filling height* lebih dari 24 cm) pada penggunaan dengan takaran 0,8% berat *binder* yang digunakan. Hasil pengujian sifat beton segar dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 4, 5, dan 6.

Tabel 2. Pengaruh Takaran *Viscocrete* Terhadap Sifat Beton Segar

Takaran <i>Viscocrete</i>	Nilai <i>Slump</i> Rata-rata (cm)	<i>Flowability</i> Rata-Rata (cm)		<i>Filling-Ability</i> Rata-Rata (cm)	
	f.a.s. 0,40	f.a.s. 0,40	Syarat minimal 50 cm	f.a.s. 0,40	Syarat minimal 24 cm
0,3%	17,5	40		14	
0,6%	21	46,5		20	
0,8%	23	50		25	
1,0%	24,5	51		28	
1,3%	25,5	54,5		30	

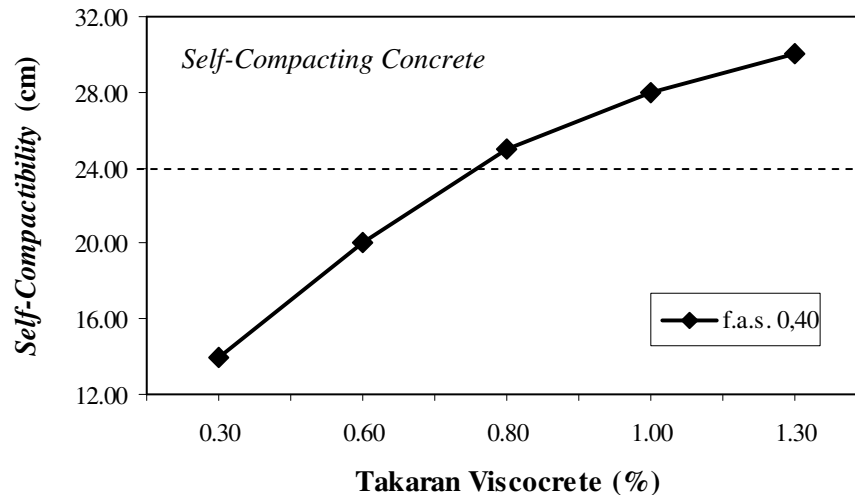


Gambar 4. Pengaruh Takaran *Viscocrete* Terhadap *Workability* Beton



Gambar 5. Pengaruh Takaran *Viscocrete* Terhadap *Flowability* Beton





Gambar 6. Pengaruh Takaran *Viscocrete* Terhadap *Filling-Ability* Beton

### Pengaruh Sika *Viscocrete-5* Terhadap Kuat Tekan Beton

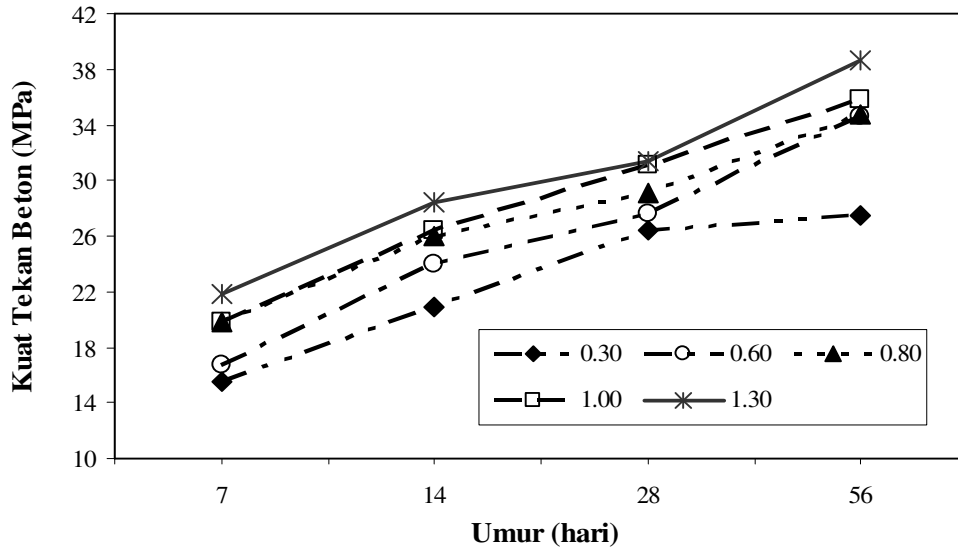
Pada Gambar 7 terlihat beton umur 56 hari mengalami peningkatan kuat tekan sampai 40,41% pada penggunaan *High-Flowable Concrete* dengan takaran *viscocrete* 1,3% jika dibandingkan dengan penggunaan beton *non-high flowable* dengan takaran *viscocrete* 0,3% pada pelaksanaan pekerjaan beton di bawah air dengan faktor air semen 0,40. Perkembangan kuat tekan beton di bawah air sebagaimana terlihat pada Gambar 8, lebih lambat jika dibandingkan dengan beton normal yang dituangkan di darat dengan bahan perekat semen, tetapi lebih cepat jika dibandingkan dengan beton normal yang menggunakan bahan perekat berupa semen dan *fly ash*.

Korelasi kuat tekan antara beton di bawah air dengan beton yang dituang di daratan yang ditunjukkan pada Gambar 9 terlihat bahwa untuk beton dengan nilai f.a.s. 0,40 diperoleh nilai korelasi lebih dari 80% pada penggunaan *viscocrete* 0,8% di mana beton tergolong jenis *HFC*. Penambahan *viscocrete* pada beton segar ternyata dapat meningkatkan kuat tekan maupun nilai korelasi kuat tekan beton di

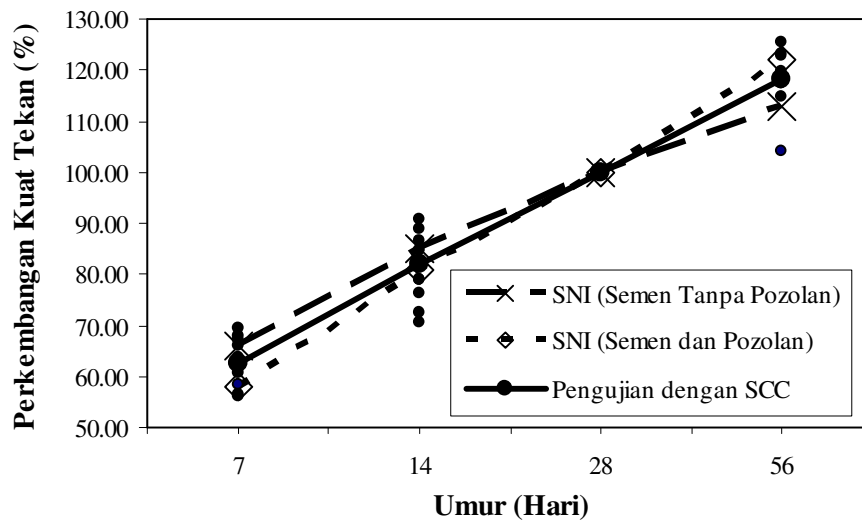
bawah air dengan beton kontrol yang dituangkan di darat ( $f_{c_{uw}}/f_{c_r}$ ) sehingga memenuhi persyaratan yang ditetapkan *Japan Society of Civil Engineer*, dimana disyaratkan nilai korelasi minimum sebesar 80% (Sonebi dan Khayat, 2001).

Peningkatan kuat tekan beton terjadi karena *viscocrete* dapat meningkatkan sifat *workability*, *flowability* dan *filling-ability* pada beton segar, di mana *viscocrete* berfungsi untuk mendispersikan (menyebarkan) partikel semen menjadi merata dan memisahkan menjadi partikel-partikel yang halus sehingga reaksi pembentukan C-S-H (*tobermorite*) akan lebih merata dan aktif serta beton segar menjadi dapat mengalir dan memadat dengan mengandalkan berat sendiri. Secara visual juga terlihat bahwa beton yang menggunakan *viscocrete* kurang dari 0,6% terlihat keropos (*honey-comb*).

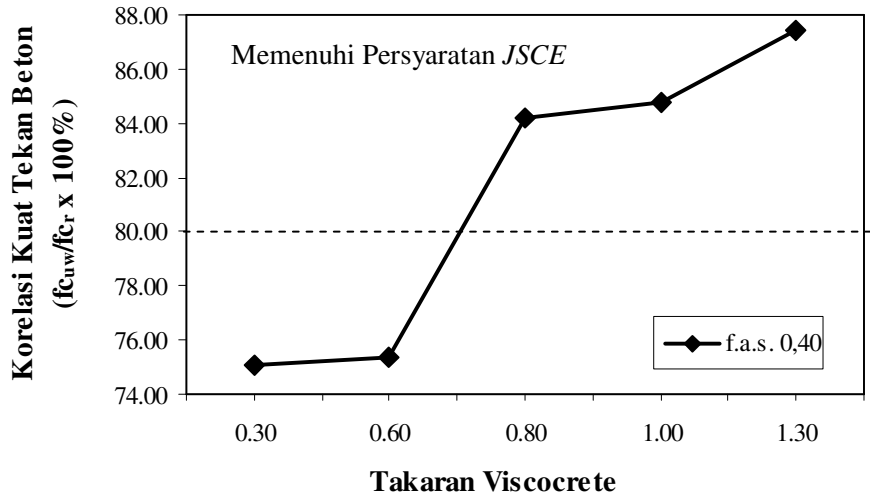
Pada Gambar 10 yang menunjukkan pengaruh *viscocrete* terhadap kuat tekan beton beton yang dituang di daratan terlihat bahwa penggunaan *viscocrete* sampai sebesar 1,3% mampu meningkatkan kuat tekan beton yang tidak dipadatkan, hal ini disebabkan karena penambahan *viscocrete* dapat meningkatkan *workability*, *flowability* dan *filling-ability* dengan sangat baik sehingga beton segar bersifat *high-flowable* dan *self-compactable*, yang dapat mengalir dan memadat dengan memanfaatkan berat sendirinya. Beton non-*hfc* yang dituang tanpa dipadatkan mengakibatkan terjadinya volume rongga yang cukup besar (keropos) sebagaimana terlihat adanya *honey-comb* pada bagian permukaan. Penambahan *viscocrete* menyebabkan kuat tekan benda uji yang dipadatkan cenderung menurun, hal ini terjadi karena adanya fenomena *bleeding* dan segregasi yang terlihat jelas pada saat pemadatan dan dibuktikan kerusakan pada saat dilakukan uji tekan terjadi pada bagian atas silinder.



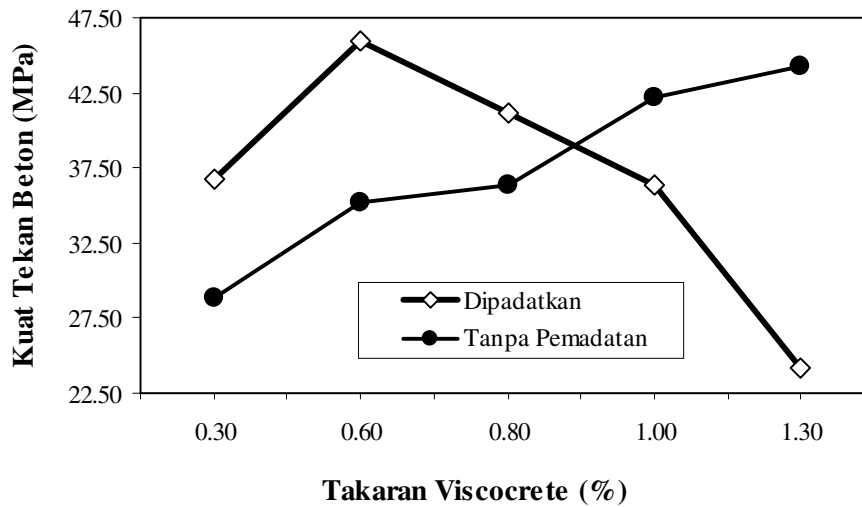
Gambar 7. Pengaruh *Viscocrete* Pada Kuat Tekan Beton di Bawah Air (f.a.s. 0,40)



Gambar 8. Perkembangan Kuat Tekan Beton di Bawah Air



Gambar 9. Pengaruh *Viscocrete* Pada Korelasi Kuat Tekan Beton di Bawah Air

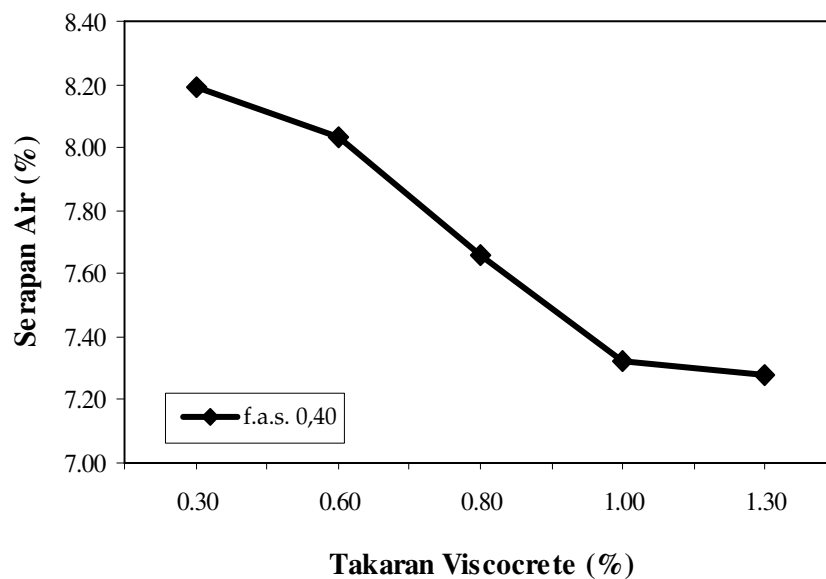


Gambar 10. Pengaruh *Viscocrete* Terhadap Kuat Tekan Beton di Darat (f.a.s. 0,40)

### Pengaruh *Sika Viscocrete-5* Terhadap Serapan Air Beton

Gambar 11 menunjukkan penambahan *viscocrete* dapat mengurangi nilai serapan air pada beton yang dituang di bawah air, hal ini dimungkinkan karena penambahan *viscocrete* dapat meningkatkan sifat *workability*, *flowability* dan *filling-ability*, yang

menunjukkan beton segar lebih mudah mengalir dan dapat mengisi ruangan yang kosong sehingga dapat menghasilkan beton keras yang lebih padat dengan volume pori lebih kecil sehingga kekedapan air meningkat.



Gambar 11. Pengaruh *Viscocrete* Terhadap Nilai Serapan Air Beton di Bawah Air

## SIMPULAN

- a.) Penambahan *viscocrete* dapat meningkatkan sifat *workability* (nilai *slump*) sebesar 45,71%, *flowability* meningkat 36,25% sedangkan *filling-ability* meningkat sebesar 114,29% untuk nilai faktor air semen 0,40.
- b.) Kuat tekan beton di bawah air meningkat berkaitan dengan penambahan takaran *viscocrete* pada beton segar. Penambahan *viscocrete* sampai sebesar 1,3% pada beton dengan nilai faktor air semen 0,40 dapat meningkatkan kuat tekan sampai 40,41%.

- c.) Nilai korelasi kuat tekan beton bawah air dengan beton kontrol yang dituang di darat mencapai nilai 80%, setelah beton segar bersifat *high-flowable* dan *self-compactable* dengan penambahan *viscocrete* sebesar 0,8%.
- d.) Penambahan *viscocrete* dapat menurunkan nilai serapan air. Penggunaan *viscocrete* sebesar 1,3% pada beton dengan nilai faktor air semen 0,40 dapat mengurangi nilai serapan air sampai 11,11%.
- e.) Kuat tekan, nilai korelasi kuat tekan dan kekedapan beton di bawah air akan meningkat sesuai dengan peningkatan sifat beton segar (*workability*, *flowability* dan *filling-ability*). Penggunaan beton segar yang memiliki sifat *High-Flowable Concrete* dan *Self-Compacting Concrete* memberikan peningkatan kualitas beton yang signifikan.

#### **SARAN**

- a.) Pada pelaksanaan konstruksi beton di bawah air dapat memanfaatkan beton yang memiliki sifat *highly-flowable* dan *self-compactable*, sehingga perlu dilakukan pengujian beton segar yang meliputi sifat *workability*, *flowability* dan *filling-ability*.
- b.) Untuk menghasilkan beton segar yang tergolong *High-Flowable Concrete* perlu ditambahkan *superplasticizer* yang berupa *Sika Viscocrete-5* dengan takaran minimal 0,8 % dihitung dari total berat *binder* yang digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dehn, F., Holschemacher, K. and Weiße, D., 2000, Self-Compacting Concrete (SCC) Time Development of the Material Properties and the Bond Behaviour, LACER No.5., Leipzig.
- Ferraris, C.F., 1999, Measurement of the Rheological Properties of High Performance Concrete : State of the Art, *Journal of Research of National of Standard and Technology*, Vol. 104, No.4, 1999, Gaithersburg.
- Ferraris, C.F., Lynn, B., Celik, O. and Daczko, J., 2000, Workability of Self-Compacting Concrete, *International Simposium of High Performance Concrete*, Orlando.
- Malisch, 1986, Tremie Concrete Methods for Placing High Quality Concrete Underwater, The Aberdeen Group, Aberdeen.
- Mather, B., 1994, High-Performance concrete in the U.S. Army Corps of Engineers, SP-159 : International Workshop on High Performance Concrete, Michigan.
- Neville, A.M. and Brooks, 1987, Concrete Technology, Longman Scientific & Technical, Essex.
- Okamura, H. and Ozawa, K., 1994, Self-Compacting high-Performance Concrete in Japan, *ACI SP-159 : International Workshop on High Performance Concrete*, Michigan.
- Ouchi, M., 2001, Self-Compacting Concrete Development, Applications and Investigations, Kochi University of Technology.
- Sonebi, M. and Khayat, K.H., 2001, Effect of Free Fall Height in Water on the Performance of Highly Flowable Concrete, *ACI Material Journal*, Vol. 28, No. 1, Michigan.
- Sonebi, M. and Khayat, K.H., 2001, Effect of Mixture Composition on Relative Strength of Highly Flowable Underwater Concrete, *ACI Material Journal*, Vol. 28, No. 3, Michigan.
- Yamada, K., Takahashi, T., Hanehara, S. and Matsuhisa, M., 2000, Effects of Chemical Structures on the Properties of Polycarboxylate-Type Superplasticizer, *Cement and Concrete Research*.

# PEMANFAATAN *HIGH-FLOWABLE CONCRETE* UNTUK PELAKSANAAN KONSTRUKSI BETON DI BAWAH AIR

Oleh :

Slamet Widodo  
Staf Pengajar FT-UNY

## INTISARI

Pelaksanaan konstruksi beton di bawah air tidak memungkinkan untuk dilakukan proses pemadatan secara konvensional sehingga diperlukan beton segar yang mampu mengalir dan memadat dengan memanfaatkan berat sendiri. Penuangan beton segar ke dalam lingkungan perairan juga beresiko terhadap fenomena *wash-out* yang dapat menyebabkan hilangnya sebagian massa beton sehingga diperlukan bahan tambah berupa pozolan dan *anti-washout admixture*. Penemuan *superplasticizer* berbasis polimer yang dinamakan *polycarboxylate* dapat menghasilkan *High-Flowable Concrete* yang mampu mengalir dan memadat dengan sangat baik. Penelitian bertujuan untuk mengkaji pengaruh *Sika Viscocrete-5* (*superplasticizer* berbasis *polycarboxylate*) terhadap sifat beton segar, kuat tekan dan serapan air beton di bawah air.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan nilai faktor air semen 0,40, sedangkan takaran *viscocrete* ditambahkan dengan variasi 0,3, 0,6, 0,8, 1,0 dan 1,3 persen berdasarkan berat *binder* yang digunakan. Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap 60 benda uji yang dituang di bawah air berumur 7, 14, 28 dan 56 hari serta 30 benda uji berumur 56 hari yang dituang di daratan, untuk mengetahui korelasi kuat tekan antara beton di bawah air dengan beton di daratan ( $f_{c_{uw}}/f_{c_r}$ ). Benda uji tersebut masing-masing berukuran  $\varnothing 15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$  dengan cara pengujian mengacu pada SNI : 03-1974-1990. 15 benda uji berumur 56 hari dengan ukuran  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$  digunakan untuk mengetahui serapan air beton di bawah air dalam kondisi jenuh-kering muka, dengan tata cara pengujian mengacu standar ASTM C-127-68.

Hasil penelitian menunjukkan penambahan *viscocrete* dapat meningkatkan kuat tekan beton di bawah air, pada takaran *viscocrete* 1,3% dengan nilai faktor air semen 0,40 kuat tekan meningkat sampai 40,41%. Nilai korelasi kuat tekan beton bawah air dengan beton kontrol yang dituang di darat mencapai nilai 80%, setelah beton segar memiliki sifat *highly-flowable* dan *self-compactable*. Penambahan *viscocrete* sampai sebesar 1,3% pada beton dengan nilai faktor air semen 0,40 mampu mengurangi nilai serapan air sampai 11,11%.

Kata Kunci : Beton di bawah air, *High-Flowable Concrete*, kuat tekan, serapan air