

# STUDI EKSPERIMENTAL KUAT LEKAT TULANGAN PADA PENGECORAN BETON DI BAWAH AIR DENGAN BAHAN TAMBAH POLYCARBOXYLATE

Slamet Widodo

*Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan  
Fakultas Teknik - Universitas Negeri Yogyakarta*

## 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. Penemuan *superplasticizer* berbasis *polycarboxylate* dapat menghasilkan *self-compacting concrete* yang mampu mengalir dan memadat dengan sangat baik. Kuat lekat tulangan merupakan parameter penting dalam menentukan panjang penyaluran dan performa kritis struktur beton bertulang. Penelitian ini mengkaji pengaruh *Polycarboxylate* terhadap kuat lekat tulangan beton di bawah air. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan nilai faktor air semen 0,40 dan takaran *polycarboxylate* 0,3, 0,6, 0,8, 1,0 dan 1,3 persen berdasarkan berat *binder* yang digunakan. Uji banding terhadap kuat lekat tulangan dilakukan pada 15 benda uji berumur 56 hari dengan ukuran beton 15cmx15cmx15cm dan diameter tulangan 16 mm, mengacu pada SNI : 03-4809-1998, ASTM dan RILEM. Pengujian kuat tekan beton di bawah air juga dilakukan pada 15 buah silinder yang berumur 56 hari dengan ukuran Ø15cmx30cm. Hasil penelitian menunjukkan *polycarboxylate* dapat meningkatkan kuat lekat tulangan dan kuat tekan beton di bawah air. Penambahan *polycarboxylate* sampai takaran 1,3% pada beton dengan nilai faktor air semen 0,40 mampu meningkatkan kuat lekat tulangan sampai 127,17%.

## Abstract

*Concrete that used for underwater construction and rehabilitation needs to be proportioned to spread readily and self-consolidate, and to develop high resistance to segregation and water dilution. Sika Viscocrete-5, a polycarboxylate type of high range water reducer (HRWR) that able to make fresh concrete to be high-flowable and self-compactable, has a potentiality to be used as an admixture for underwater concreting. Bond strength between plain concrete and steel reinforcement is an important parameter to determine anchorage length and critical performance of reinforced concrete. This research was prepared to evaluate effects of Polycarboxylate on the bond strength of SCC for underwater placement. The research has done with 0.40 water per binder ratio and 0.3, 0.6, 0.8, 1.0 and 1.3 percent of Polycarboxylate by total weight of binder. 15 underwater concrete cubes (15cmx15cmx15cm) with 16 mm steel reinforcement were investigated for bond strength referred to SNI : 03-4809-1998, RILEM and ASTM standards while 15 underwater concrete cylinders (Ø15cmx30cm) were investigated for compressive strength in 56 days according to SNI 03-1974-1990. Test results indicate that the use of Polycarboxylate at 1.3% could improve the bond strength between plain concrete and steel reinforcement for underwater placement up to 127.27% while the compressive strength increasing up to 40.41%.*

**Keywords** : Bond Strength, Underwater Concrete, Self-Compactable, HRWR.

## 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 kedap air (*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).

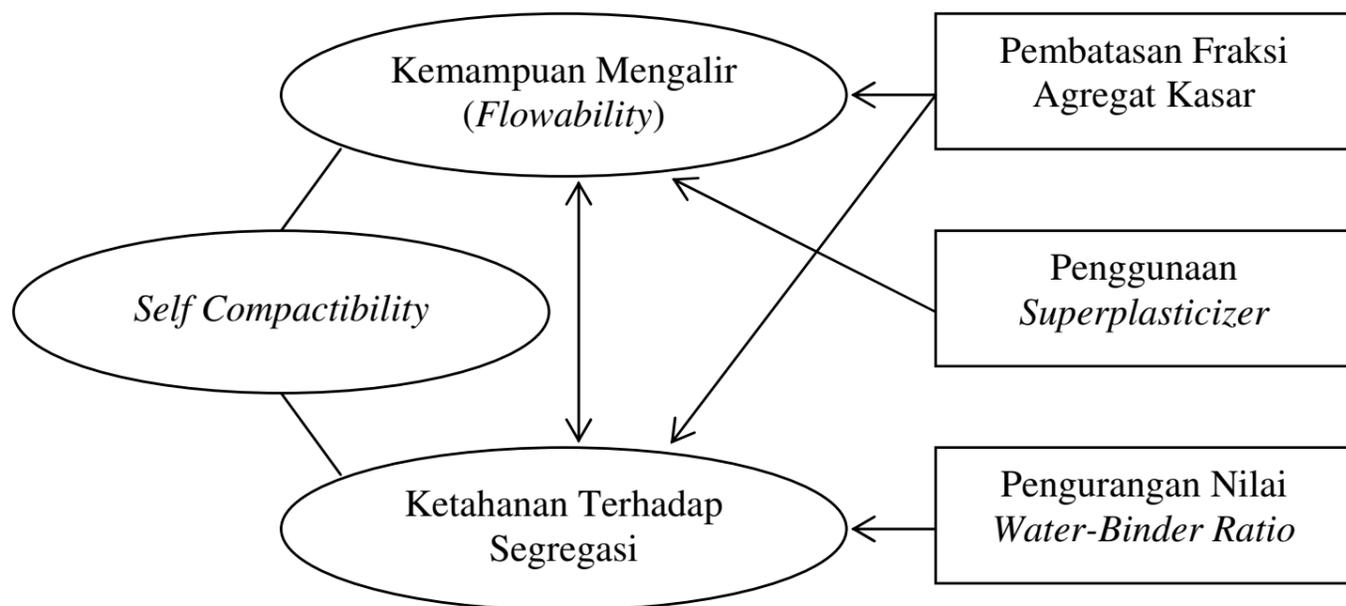
Selain kualitas dan durabilitas beton (*plain concrete*), berbagai parameter lain juga berpengaruh terhadap performa struktur beton bertulang, satu diantaranya adalah kekuatan lekat (*bonding*) antara beton dengan baja tulangan. Kuat lekat antara beton dengan tulangan sangat berpengaruh terhadap performa kritis struktur beton bertulang, ketika terjadi *slip* antara tulangan dengan beton, maka kekuatan lentur dan daktilitas struktur beton bertulang akan merosot tajam (Almusallam, 2001). Lekatan antara beton dengan baja tulangan sangat tergantung pada komposisi campuran adukan beton yang berkaitan dengan sifat beton segar yang dihasilkan (Fu dan Chung, 1998).

Beton segar yang memiliki sifat *high-flowable* dan *self-compactable* dapat dicapai dengan memanfaatkan *high range water reducer (HRWR)* berbasis *polycarboxylate* yang juga digunakan untuk menghasilkan *self-compacting concrete (SCC)*. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh *HRWR* berbasis *polycarboxylate* pada kuat lekat tulangan beton yang dituang di bawah air.

### **Kuat Lekat Tulangan**

*Self-compacting Concrete (SCC)* dapat didefinisikan sebagai suatu jenis beton yang dapat dituang, mengalir dan menjadi padat dengan memanfaatkan berat sendiri, tanpa memerlukan proses pemadatan dengan getaran atau metode lainnya, selain itu beton segar jenis *self-compacting concrete* bersifat kohesif dan dapat dikerjakan tanpa terjadi segregasi atau *bleeding*. Beton jenis ini lazim digunakan untuk pekerjaan beton pada bagian struktur yang sulit dijangkau dan dapat menghasilkan struktur dengan kualitas yang baik.

*High range water reducer* diperlukan untuk menghasilkan *self compacting concrete* dengan *workability* dan *flowability* yang tinggi. Untuk meningkatkan homogenitas dan viskositas beton segar yang dibutuhkan dalam pelaksanaan *underwater concreting*, perlu ditambahkan *filler* yang berupa *fly ash*, *silica fume* ataupun serbuk *limestone* (Persson, 2000). *Self Compacting Concrete* mensyaratkan kemampuan mengalir yang cukup baik pada beton segar tanpa terjadi segregasi, sehingga viskositas beton juga harus diperhatikan untuk mencegah terjadinya segregasi (Okamura dan Ozawa, 1994). Konsep dasar proses produksi *SCC* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Prinsip Dasar Produksi *Self-Compacting Concrete* (Dehn dkk, 2000)

Perilaku kuat lekat tulangan pada *self-compacting concrete* lebih baik jika dibandingkan dengan lekatan tulangan pada beton normal (Dehn dkk, 2000). Hasil ini sesuai dengan kesimpulan yang disampaikan oleh Fu dan Chung (1997) bahwa kuat lekat beton sangat dipengaruhi oleh daya alir beton segar, semakin tinggi faktor air semen akan meningkatkan kelecakan dan daya alir beton segar sehingga beton dapat menyelimuti permukaan tulangan secara sempurna.

Beton bertulang dapat berfungsi sebagai bahan komposit dengan baik jika batang baja tulangan saling bekerja sama sepenuhnya dengan beton, maka perlu diusahakan supaya terjadi penyaluran gaya yang baik dari satu bahan ke bahan yang lain. Untuk menjamin hal ini diperlukan adanya lekatan yang baik antara baja dengan tulangan dan penutup beton yang cukup tebal. Agar batang tulangan dapat menyalurkan gaya sepenuhnya melalui lekatan, baja harus tertanam hingga suatu kedalaman tertentu yang dinyatakan dengan panjang penyaluran ( $l_d$ ).

Total gaya anker (gaya yang ditahan oleh lekatan antara baja tulangan dan beton di sekelilingnya, tepat sebelum baja terlepas dari beton) harus sama dengan gaya maksimum (gaya yang dapat ditahan oleh tulangan sebagai fungsi dari kuat tarik dan luas penampang), yang dapat dirumuskan pada persamaan 1.

$$l_d \cdot (\pi \cdot \phi) \cdot f_b = \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2\right) \cdot f_y \quad (1.)$$

di mana;

$l_d$  = panjang penyaluran (mm).

$\varnothing$  = diameter tulangan (mm).

$f_y$  = tegangan leleh baja (MPa).

$f_b$  = kuat lekat beton yang diijinkan (MPa).

SK SNI T-15-1991-03 Pasal 3.5.2 memberikan nilai-nilai untuk panjang penyaluran dasar ( $l_{db}$ ) dari tulangan tarik tergantung pada diameter serta mutu baja dan beton.

Untuk batang deform  $\leq 36$  mm yang terbebani tarik berlaku :

$$\text{Panjang penyaluran dasar } l_{db} = 0,02.A_b. \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \geq 0,06.\varnothing_D.f_y \text{ atau } 300 \text{ mm.}$$

Untuk tulangan bagian atas berlaku faktor pengali sebesar 1,4.

Untuk batang deform  $\leq 36$  mm yang terbebani tekan berlaku :

$$\text{Panjang penyaluran dasar } l_{db} = \varnothing_D. \frac{f_y}{4.\sqrt{f'_c}} \geq 0,04.\varnothing_D.f_y \text{ atau } 200 \text{ mm.}$$

Lekatan antara beton dengan baja tulangan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Hasil pengujian metode *pull-out test* menunjukkan lekatan antara beton dengan baja tulangan dipengaruhi oleh kuat tekan dan kuat tarik beton, susut dan gejala *bleeding* pada beton, faktor air semen, kelecakan dan *flowability* beton segar serta diameter dan bentuk permukaan tulangan. Faktor-faktor yang ikut mempengaruhi hasil uji lekatan antara lain ukuran benda uji, posisi baja tulangan, arah penuangan beton maupun kondisi perawatan benda uji (Almeida, 1996).

## **BAHAN DAN METODE PENELITIAN**

Adukan beton dalam penelitian ini menggunakan portland semen tipe I merk Semen Gresik, *silica fume* dengan merk dagang Sikacrete-W dan *high range water reducer* berbasis *polycarboxylate* merk Sika Viscocrete-5. Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah *well-graded* 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. Tulangan yang digunakan berupa tulangan ulir berdiameter 16 mm dengan tegangan leleh 5701,42

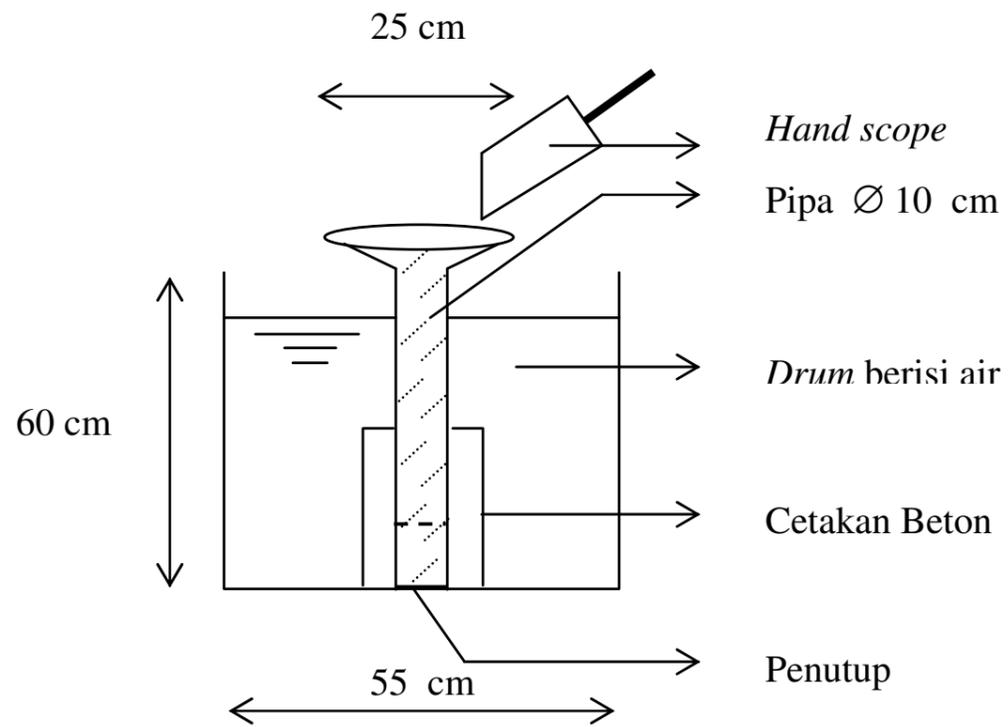
kg/cm<sup>2</sup>. Peralatan berupa *slump cone*, *flow-table test* dan *U-Type Test* digunakan untuk menguji sifat (*workability*, *flowability* dan *filling-ability*) beton segar, sedangkan *universal testing machine* digunakan pada uji kuat lekat tulangan.

Tabel 1. Rancangan Campuran Adukan Beton

Material	Faktor air semen 0.40				
	Takaran <i>polycarboxylate</i> menurut berat <i>binder</i>				
	0,3%	0,6%	0,8%	1,0%	1,3%
<i>Polycarboxylate</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

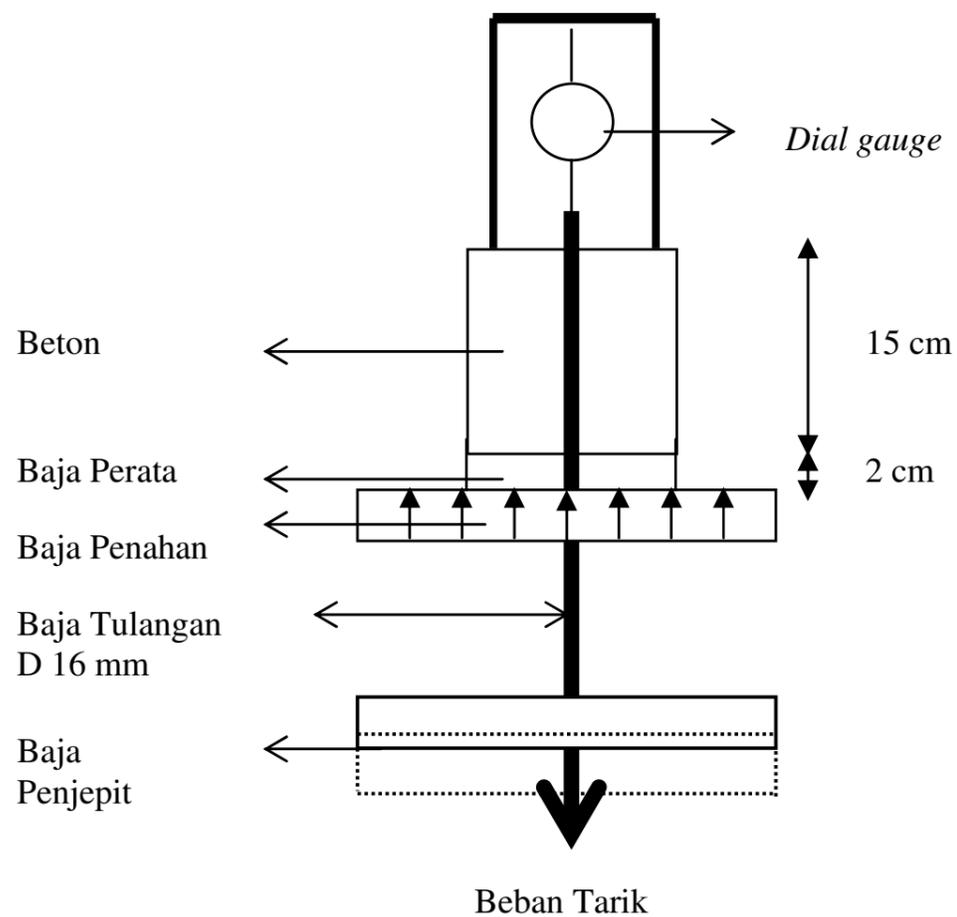
Pencampuran beton dilakukan di dalam *concrete mixer*. Agregat kasar dan pasir dalam kondisi SSD, semen dan *silica fume* ditimbang lalu dimasukkan ke dalam *mixer*, selanjutnya air dan *polycarboxylate* ditakar sesuai dengan kebutuhan, kemudian *mixer* mulai diputar sambil menambahkan air. *Polycarboxylate*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

Pengujian beton segar yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi *slump test* mengacu standar ASTM C 143-78 untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*). *Flow-table test* untuk menguji daya alir (*flowablity*) beton segar mengacu pada standar BS-1881 dan *self-compactibility* beton segar diukur dengan metode *U-Type Test* yang diusulkan Taisei Group di Jepang (Ouchi, 2000) dan NIST (Ferraris, 1999). Jika Beton tersebut dapat mengisi ketinggian bejana (*filling-capability*) mencapai 70% dari kemungkinan keseimbangan pada bejana (24 cm), maka dapat dikategorikan sebagai beton jenis *self-compacting concrete* (Ferraris dkk, 2000).

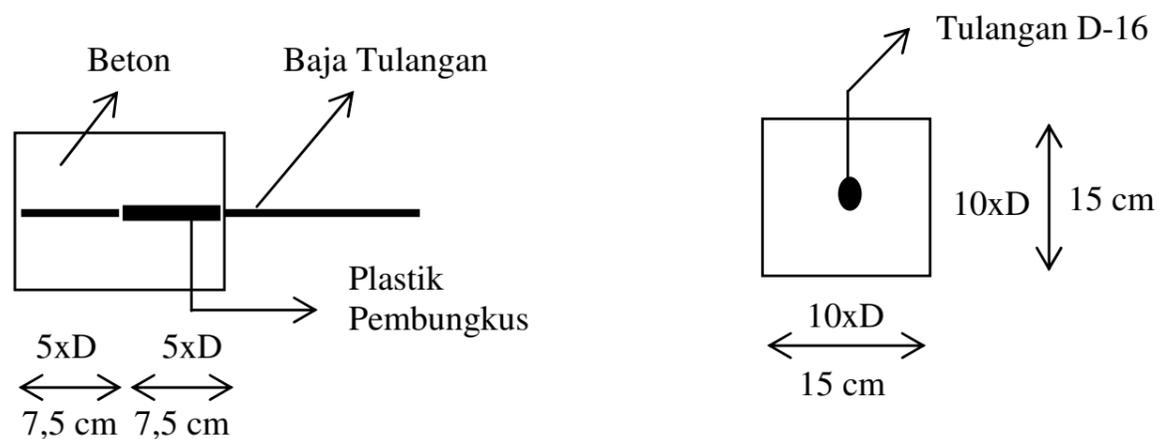


Gambar 2. Penuangan Beton Segar dengan Pemodelan Sistem *Tremie*

Beton segar dituangkan ke dalam cetakan yang telah terendam di dalam air dengan pemodelan *tremie method*, pada bagian dasar pipa diberikan penutup plastik untuk mencegah masuknya air ke dalam pipa selama penuangan. Pelaksanaan penuangan beton segar ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 3. Sketsa Pelaksanaan Uji Kuat Lekat Tulangan



Gambar 4. Detail Benda Uji Kuat Lekat Tulangan

Gambar 3 dan 4 menunjukkan cara pengujian kekuatan lekat antara baja tulangan dengan beton dilakukan berdasarkan SNI : 03-4809-1998 tentang metode pengujian untuk membandingkan kuat lekat antara beton dengan tulangan, ASTM dalam Almeida (1996) dan RILEM dalam Dehn dkk (2000). *Pullout test* dilakukan pada benda uji yang telah mencapai umur rencana dengan menggunakan *universal testing machine*. Kecepatan penambahan beban maksimum 22 kN/menit dan pembacaan dilakukan setiap 15 detik, kemudian dihentikan bila dicapai titik leleh batang tulangan, beton penutup pecah atau tulangan telah bergeser minimum 2,5 mm. Analisis kuat lekat baja tulangan dengan beton dihitung dengan Persamaan 2.

$$U_{av} = \frac{P_{lolos}}{\pi \cdot d \cdot l} \quad (2.)$$

di mana;  $U_{av}$  = Kuat lekat tulangan (MPa)

$P_{lolos}$  = Beban Lolos (kN)

$d$  = Diameter tulangan (mm)

$l$  = Panjang tulangan yang tertanam (mm)

## HASIL PENELITIAN

Hasil pengujian sifat beton segar menunjukkan penambahan *polycarboxylate* pada campuran adukan beton dapat meningkatkan kelecakan, daya alir dan kemampuan memadat pada beton segar dengan baik, hasil pengujian beton segar tersebut selengkapnya disajikan pada Tabel 2.

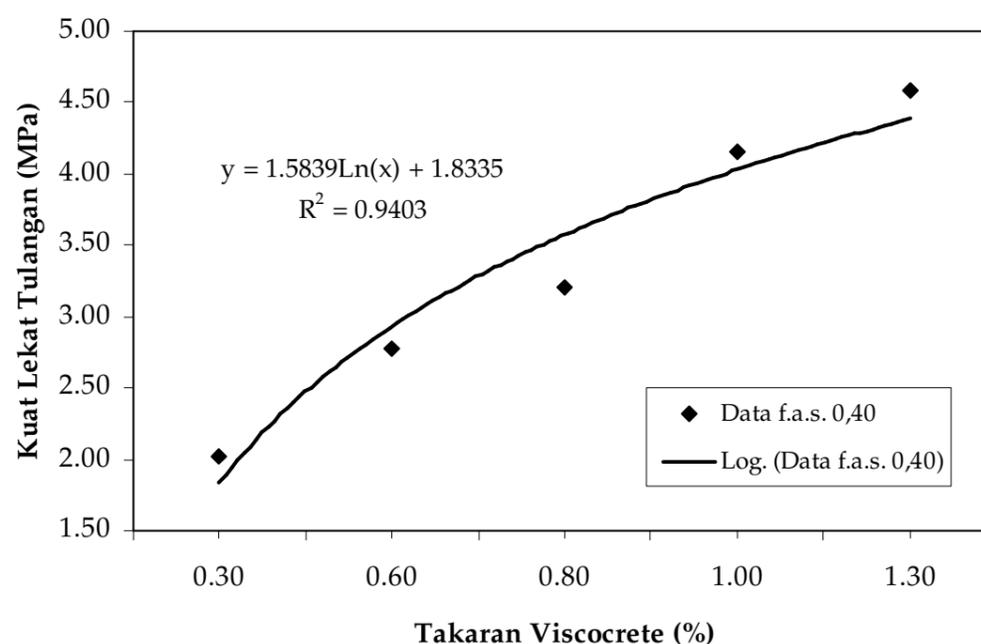
Tabel 2. Pengaruh Takaran *Polycarboxylate* Terhadap Sifat Beton Segar

Takaran <i>Polycarboxylate</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 <i>HFC</i> 50 cm	f.a.s. 0,40	Syarat minimal <i>SCC</i> 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	

Hasil pengujian kuat lekat tulangan pada beton dengan bahan tambah *polycarboxylate* ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 5.

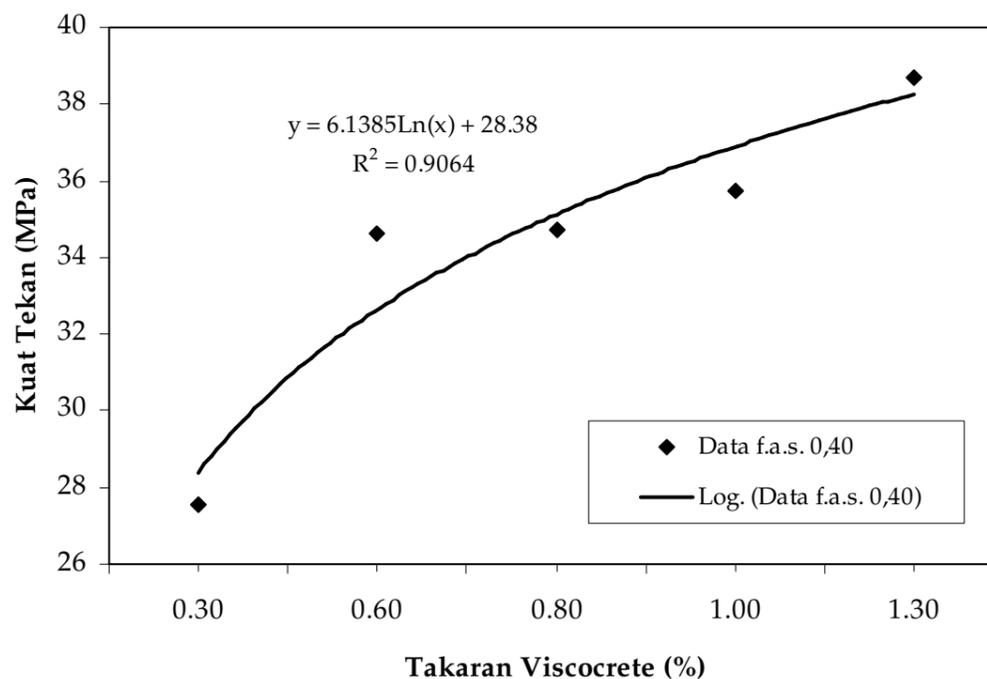
Tabel 3. Pengaruh Takaran *Polycarboxylate* Terhadap Kuat Lekat Tulangan

Takaran <i>Polycarboxylate</i>	Faktor Air Semen 0,40	
	Kuat Lekat (MPa)	Fenomena Kerusakan
0,3	2,021	<i>Pulled-out</i>
0,6	2,775	<i>Pulled-out</i>
0,8	3,203	<i>Pulled-out</i>
1,0	4,162	<i>Pulled-out</i>
1,3	4,591	<i>Pulled-out</i>



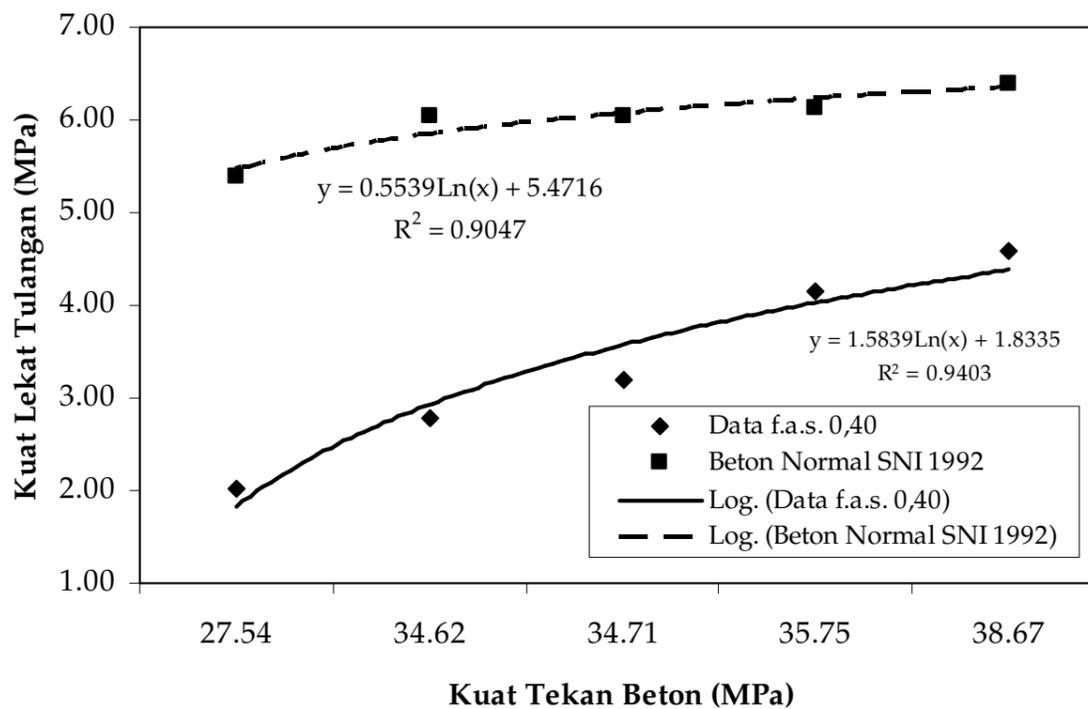
Gambar 5. Pengaruh *Polycarboxylate* Terhadap Kuat Lekat Tulangan Beton di Bawah Air

Hasil pengujian kuat tekan beton di bawah air dengan penambahan *polycarboxylate* disajikan pada Gambar 6.

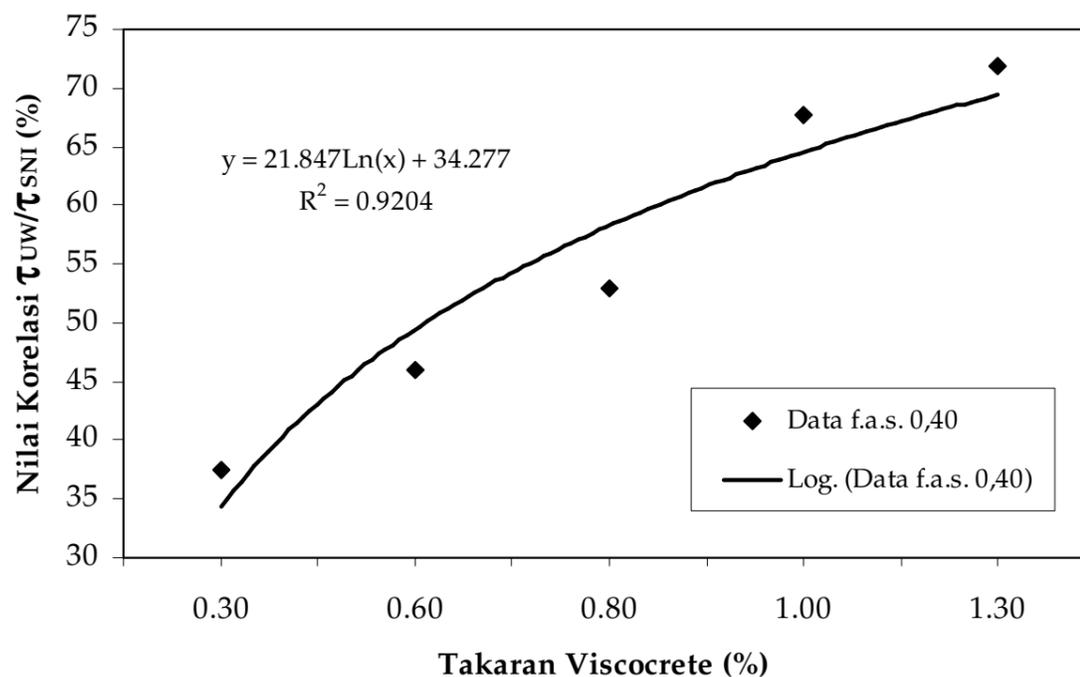


Gambar 6. Pengaruh *Polycarboxylate* Terhadap Kuat Tekan Beton di Bawah Air

Analisis terhadap korelasi antara kuat lekat tulangan dan kuat tekan beton ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lekat Tulangan



Gambar 8. Pengaruh *Polycarboxylate* Terhadap Korelasi Kuat Lekat Tulangan Beton di bawah Air dan Standar SNI 1992 ( $\tau_{UW}/\tau_{SNI}$ )

## PEMBAHASAN

Hasil pengujian sifat beton segar menunjukkan penambahan *polycarboxylate* pada campuran adukan beton dapat meningkatkan kelecakan, daya alir dan kemampuan memadat pada beton segar dengan baik. 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 menjadikan beton segar tergolong *Highly-Flowable Concrete (HFC)* dan *Self-Compacting Concrete (SCC)* pada penambahan sebesar 0,8% dari berat *binder*.

Hasil pengujian kuat lekat tulangan menunjukkan penambahan *polycarboxylate* dapat meningkatkan kuat lekat tulangan beton di bawah air. Hal ini dimungkinkan karena *polycarboxylate* dapat meningkatkan *workability*, *flowability* dan *self-compactibility* pada beton segar sehingga beton menjadi mudah mengalir untuk mengisi ruangan yang kosong dan membuat beton lebih padat. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Fu dan Chung (1997) pada beton normal, yang menyatakan bahwa kuat lekat tulangan dapat meningkat sejalan dengan penambahan nilai faktor air semen, karena semakin tinggi nilai faktor air semen

dapat meningkatkan daya alir beton segar untuk mengisi celah-celah yang ada di sekeliling baja tulangan sehingga terjadi lekatan yang lebih sempurna antara beton dengan tulangan.

Kuat tekan beton di bawah air juga dapat ditingkatkan sejalan dengan penambahan *polycarboxylate*. Peningkatan tersebut dapat terjadi karena *polycarboxylate* berfungsi untuk mendispersikan partikel semen menjadi merata dan memisahkan menjadi partikel-partikel yang halus sehingga *workability*, *flowability* dan *self-compactibility* beton segar meningkat dan reaksi pembentukan C-S-H (*tobermorite*) akan lebih merata dan aktif serta beton segar menjadi dapat mengalir dan memadat dengan mengandalkan berat sendiri dan kekuatan tekan beton meningkat. Secara visual juga dapat diamati beton yang menggunakan *polycarboxylate* kurang dari 0,6% berat *binder* terlihat keropos (*honey-combing*).

Analisis yang dilakukan terhadap korelasi antara kuat lekat tulangan dan kuat tekan beton menunjukkan bahwa kuat lekat tulangan beton di bawah air berada di bawah batas minimal kuat lekat yang dipersyaratkan dalam SNI 1992 tentang panjang penyaluran berdasarkan diameter tulangan, mutu baja dan beton yang digunakan. Lekatan tulangan beton di bawah air mempunyai nilai kekuatan yang lebih rendah dimungkinkan karena daerah di sekeliling tulangan telah terisi air, sehingga beton segar yang dituangkan tidak dapat membungkus tulangan dengan sempurna. Hasil penelitian juga menunjukkan penambahan *polycarboxylate* dapat meningkatkan nilai korelasi antara kuat lekat tulangan beton di bawah air dengan batasan kuat lekat tulangan yang dihitung berdasarkan batasan SNI-1992 untuk beton normal ( $\tau_{UW}/\tau_{SNI}$ ). Hal ini disebabkan karena penambahan *polycarboxylate* mampu meningkatkan *self-compactibility* dan *flowability* beton segar, sehingga dapat memperbaiki daya alir beton segar untuk mengisi daerah di sekeliling tulangan.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan:

1. Penambahan *polycarboxylate* sampai dengan 1,3% dari total berat *binder*, dapat meningkatkan *workability* (*slump*) sebesar 45,71%, *flowability* meningkat 36,25% dan *filling-ability* meningkat 114,29% pada faktor air semen 0,40.

2. Kuat lekat tulangan beton di bawah air berbanding lurus dengan penambahan *polycarboxylate* pada beton segar. Penambahan *polycarboxylate* sebesar 1,3% dari total berat *binder* dapat meningkatkan kuat lekat tulangan sampai 127,17%.
3. Nilai kuat tekan dan kuat lekat tulangan beton yang dituang di bawah air akan meningkat sejalan dengan peningkatan kelecakan beton segar. Penggunaan beton segar yang tergolong *self-compacting concrete* dan *highly-flowable concrete* dapat meningkatkan kualitas beton secara signifikan.
4. Beton yang dituang di bawah air memiliki nilai kuat lekat tulangan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan standar kuat lekat tulangan beton normal menurut SNI 1992. Penambahan *polycarboxylate* dapat meningkatkan nilai korelasi antara kuat lekat tulangan beton di bawah air dengan standar kuat lekat tulangan beton normal yang dihitung menurut SNI 1992 ( $\tau_{UW}/\tau_{SNI}$ ) hingga mencapai nilai 71,83% pada penggunaan *polycarboxylate* dengan takaran 1,3%.

Saran yang dapat diajukan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan:

1. Dalam rancang campur beton yang digunakan pada pelaksanaan konstruksi di bawah air, sebaiknya digunakan *Sika Viscocrete-5 (polycarboxylate)* minimal 0,8% dari total berat *binder* yang digunakan.
2. Panjang penyaluran pada penulangan struktur beton di bawah air perlu diberikan lebih panjang daripada beton normal yang dituang di daratan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat diselesaikan dengan bantuan berbagai pihak, untuk itu disampaikan rasa terima kasih kepada PT Sika Nusa Pratama dan PT Semen Gresik atas bantuan material untuk pelaksanaan penelitian, serta Fakultas Teknik UNY atas bantuan biaya yang telah diberikan.

## DAFTAR PUSTAKA

Almeida, I.R., 1996, *Bond Between Reinforcing Steel and High Strength Concrete*, 4th International Symposium on Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete, Paris.

- 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.
- Fu, X. and Chung, D.D.L., 1997, *Improving the Bond Strength Between Steel Rebar and Concrete by Increasing the Water/Cement Ratio*, Cement and Concrete Research Vol. 27, No. 12, Pergamon.
- 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.
- Persson, B., 2000, *A Comparison Between Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete and the Corresponding Properties of Normal Concrete*, Cement and Concrete Research, Vol. 31, Pergamon.
- 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, Vol. 30, Pergamon.

## BIODATA

**Slamet Widodo**, lahir di Boyolali pada tanggal 3 November 1976. Lulus Sarjana Teknik Sipil UNS tahun 1999, Pendidikan Magister Teknik Sipil dengan Bidang Keahlian Teknik Struktur diselesaikan di UGM pada tahun 2002. Mengajar di Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta (UNY) mulai tahun 2000. Bidang Penelitian yang diminati dan pernah dilakukan meliputi: analisis struktur dengan metode elemen hingga, teknologi bahan yang berkaitan dengan pelaksanaan konstruksi beton di bawah air, beton mutu tinggi, *self-compacting concrete*, beton ringan dan perilaku elemen struktur beton. Karya ilmiah yang telah dipublikasikan antara lain; 1.) *Korosi Baja Tulangan di Lingkungan Laut* (Jurnal Poltek - PPKP, 2002), 2.) *Pengaruh Polycarboxylate Terhadap Sifat Beton Segar dan Kuat Tekan Self-Compacting Concrete* (Jurnal Penelitian Saintek - Lemlit UNY, 2003), 3.) *Pemanfaatan Self-Compacting Concrete untuk Pelaksanaan Konstruksi Beton di Bawah Air* (Jurnal Teknik Sipil – Unika Soegijapranata Semarang, 2003) dan sebuah buku berjudul *Mekanika Bahan untuk Teknik Sipil* (ISBN 979-3417-11-0) yang diterbitkan oleh Penerbit Ar-Ruzz pada tahun 2003.