

PERILAKU SLUMP LOSS DAN KUAT TEKAN BETON POZZOFUME DENGAN PENAMBAHAN BERTAHAP SUPERPLASTICIZER

F.X. Supartono
Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia

✓✓

ABSTRAK

Tulisan ini menyampaikan hasil penelitian yang dilakukan di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia bekerja sama dengan PT. Jaya Readymix, tentang kinerja "slump loss" pada beton segar yang menggunakan bahan tambahan pozzofume dan superplasticizer. Dengan memberikan tambahan superplasticizer secara bertahap pada selang waktu tertentu, yang bertujuan untuk menjaga tingkat kelecakan atau slump beton pada waktu pengecoran, telah diteliti pengaruh negatif cara penambahan tersebut terhadap kuat tekan beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa memang telah terjadi penurunan kuat tekan beton akibat dari cara penambahan superplasticizer dengan bertahap tersebut, namun penurunan kuat tekannya ternyata masih berada dalam batas-batas yang bisa ditoleransi.

1. PENDAHULUAN

Beton yang dikenal sebagai material konstruksi yang telah digunakan sejak lebih dua ribu tahun lalu, mempunyai dua kinerja penting yang selalu menjadi persyaratan spesifikasi utama dalam produksi dan pelaksanaannya, yaitu kuat tekan dan kelecakan atau *workability*-nya. Kuat tekan merupakan syarat utama untuk meyakini kekuatan elemen strukturnya, sedangkan kelecakan merupakan syarat utama untuk menjamin kemudahan dan kesempurnaan pelaksanaan pengecorannya. Kedua kinerja tersebut merupakan syarat penting yang tidak bisa diabaikan salah satunya dalam menjamin keberhasilan pelaksanaan suatu konstruksi beton.

Namun dalam proses produksi sampai ke pengecorannya, beton segar (*fresh concrete*) seringkali membutuhkan transportasi yang cukup jauh, yang ternyata bisa mengakibatkan tingkat kelecakan beton (sering dinyatakan oleh nilai slump) yang dihasilkan pada saat pencampurannya,

menjadi berkurang atau malah berkurang banyak selama proses pengangkutannya, terutama dalam cuaca panas seperti di Jakarta, sehingga seringkali menyulitkan tercapainya kesempurnaan proses pengecorannya. Fenomena ini dikenal sebagai *slump loss*.

Dari penelitian yang telah lama dilakukan oleh para ahli teknologi beton tentang perilaku *slump loss*, secara umum ditunjukkan bahwa semua jenis beton akan mengalami kehilangan slump yang besarnya dan kecepatannya bisa relatif bervariasi. Beton yang dibuat dengan menggunakan bahan tambahan kimia (*chemical admixture*) akan mengalami kehilangan slump yang umumnya lebih besar daripada beton yang tidak memakai *admixture*. Nilai rasio air semen (w/c) juga bisa mempengaruhi besarnya *slump loss*. Semakin rendah rasio air-semen yang dipakai, dan bila karena hal itu digunakan bahan tambahan plasticizer atau superplasticizer yang kadarnya perlu semakin besar, maka nilai slump akan

menjadi semakin cepat menurun dalam waktu yang relatif singkat.

Kehilangan slump juga merupakan fungsi dari slump awal yang digunakan, dimana semakin besar nilai slump awal, semakin besar pula kehilangan slump yang terjadi. Faktor lain yang juga merupakan penyebab kehilangan slump adalah temperatur, baik temperatur udara maupun temperatur beton yang terjadi akibat reaksi hidrasi semen dengan air, yang merupakan reaksi eksotermis dengan melepaskan panas hidrasi. Panas hidrasi yang terjadi akan meningkatkan kecepatan reaksi kimia.

Penggunaan *super fly ash* (pozzofume) sebagai bahan tambahan atau aditif mineral pada beton, diharapkan akan mengurangi *slump loss* pada beton mutu tinggi. Hal ini mengingat sifat yang menguntungkan dari bahan ini, antara lain dapat menahan atau menurunkan panas hidrasi dan memperbaiki gradasi adukan sehingga akan meningkatkan kelecakan beton.

Begitu juga pemakaian kombinasi gradasi agregat yang berlainan akan juga mempengaruhi kecepatan *slump loss*, karena hal ini akan bisa menghasilkan nilai slump yang berbeda untuk setiap gradasi dan akan mempengaruhi kebutuhan pemakaian plasticizer.

Untuk mendapatkan persentase pozzofume yang optimum dilakukan penelitian dengan mendasarkan pada Formulasi Feret, dimana berdasarkan penelitian sebelumnya untuk beton mutu tinggi ^[1] ^[2] dapat dipakai persentase bahan aditif mineral antara 7,5 % sampai 10 %. Sedangkan untuk menunjang aspek kemudahan pengerjaan, digunakan rasio agregat halus terhadap total agregat (S/A) antara 40 % sampai 50 %.

Dalam pada itu untuk mempertahankan target slump dari beton cair, akan digunakan superplasticizer, yang dalam penelitian ini akan dibandingkan 2 metode pemberian bahan *admixture* tersebut dalam dua prosedur yang berbeda, yaitu

secara langsung dan bertahap, yang kemudian akan diteliti pengaruhnya terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan.

2. FENOMENA SLUMP LOSS

2.1. Slump loss

Slump Loss adalah suatu fenomena proses berkurangnya tingkat kelecakan beton, yang sering ditunjukkan oleh berkurangnya nilai slump pada campuran beton segar, yang terjadi karena adanya proses pengikatan pada adukan beton, sebagai akibat reaksi kimia antara material-material pembentuk beton sehingga menyebabkan terjadinya *stiffening* pada pasta beton.

Slump Loss akan terjadi pada semua jenis beton, walaupun tingkat kehilangannya bisa berbeda-beda, sehingga usaha yang dapat dilakukan hanya membatasi sekecil mungkin slump loss yang terjadi. Slump loss merupakan fenomena yang merugikan dalam proses produksi sampai pengecoran beton, karena dapat mengakibatkan pekerjaan pengecoran dan pemadatan yang tidak sempurna, yang pada akhirnya akan bisa mengurangi kesempurnaan pelaksanaan beton, terutama yang berhubungan dengan aspek kekuatan dan keawetan beton.

2.2. Pengaruh slump loss pada kinerja beton

Slump loss yang terjadi pada beton dapat menyebabkan kinerja beton yang dihasilkan tidak sesuai dengan persyaratan spesifikasi teknik, antara lain :

1. Pada beton fase plastis:

- Kelecakan beton akan cepat menurun.
- Pengecoran yang tidak sempurna.
- Pemadatan yang tidak optimum.
- Kemungkinan terjadi segregasi akibat pemadatan yang berlebihan.
- Kesulitan pemompaan beton untuk bangunan yang bertingkat tinggi.

2. Pada beton fase keras:

- Kepadatan beton yang tidak baik akan mengurangi keawetan dan ketahanan

beton dari pengaruh luar yang agresif (bahan kimia, garam-garam sulfat dan nitrat, dlsb).

- Kekedapan beton menjadi berkurang.
- Kekuatan tekan menjadi lebih rendah.
- Kemungkinan terjadi retak akibat proses penyusutan.
- Kemungkinan tidak seluruh tulangan terselimuti oleh beton, terutama pada daerah yang memiliki tulangan yang rapat, yang akan bisa mengakibatkan terjadinya korosi pada tulangan secara cepat.

3. BAHAN ADITIF DAN ADMIXTURE

3.1. Pozzofume

Pozzofume atau *super fly ash* termasuk dalam kelompok pozzolan, berbutiran sangat halus berbentuk partikel *spherical* (bulat) dengan kandungan utama silika dan alumina, yang bisa diperoleh dari pengumpulan gas-gas hasil pembakaran batu bara.

Seperti pozzolan lainnya, pozzofume tidak memiliki sifat seperti semen, tetapi dengan keberadaan air dapat bereaksi dengan kalsium-hidroksida $[Ca(OH)_2]$ hasil pelepasan hidrasi semen, membentuk gel yang memiliki sifat semen sehingga dapat meningkatkan kekuatan beton.

3.2. Sifat-sifat fisik dan kimiawi pozzofume

Pozzofume memiliki komposisi kimia yang kompleks, dengan kandungan kimia yang dominan adalah silika dan alumina.

Secara garis besar pozzofume sama dengan fly ash, hanya ada beberapa perbedaan, yang meliputi ukuran partikel dan besarnya persentase kandungan silika dan alumina, dimana pozzofume pada umumnya memiliki ukuran butiran partikel yang lebih kecil dibandingkan fly ash biasa serta kandungan silikanya lebih dari 70 %, sehingga pozzofume juga disebut sebagai *super fly ash*, dan baik untuk bahan tambahan campuran pada beton mutu tinggi.

3.3. Sifat beton dengan campuran pozzofume

Penambahan pozzofume pada campuran beton akan mengakibatkan perubahan pada kinerja beton, baik pada fase plastis maupun fase keras, antara lain^[3]:

1. Memperbaiki kecacakan atau shump beton
2. Mengurangi bleeding dan segregasi beton segar
3. Meningkatkan kekuatan beton.
4. Menurunkan panas hidrasi pada proses pengikatan beton
5. Meningkatkan kerapatan dan kededapan beton
6. Meningkatkan durabiliti atau keawetan beton
7. Mengurangi rangkat dan susut beton.

Dalam hal ini kekuatan beton akan meningkat karena adanya reaksi hidrasi sekunder dari pasta beton yang membentuk kalsium-silikat-hidrat $[3CaO.2SiO_2.3H_2O]$, yaitu reaksi antara kalsium hidroksida $[Ca(OH)_2]$ dengan silika-dioksida $[SiO_2]$ dari pozzofume.

3.4. Superplasticizer

Sebagaimana telah diketahui, bahwa untuk menghasilkan beton mutu tinggi, salah satu faktor terpenting ialah mengurangi penggunaan air dalam beton. Namun pengurangan air ini pada umumnya akan menimbulkan pengaruh lain yang kurang menguntungkan, yaitu menurunkan tingkat kecacakan atau kemudahan pengerjaan beton (*workability*), yang telah disebutkan sebagai faktor penting dalam proses pengecoran beton untuk bisa menghasilkan kualitas beton yang baik, terutama pada kondisi tulangan baja yang cukup rapat.

Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dalam hal ini plasticizer (untuk beton mutu menengah tinggi) atau superplasticizer (untuk beton mutu tinggi dan sangat tinggi) dapat digunakan sebagai bahan tambahan pencampur beton (admixture). Selanjutnya penggunaan plasticizer atau superplasticizer

bisa dipertimbangkan bila memenuhi salah satu tujuan di bawah ini^[4] :

1. Mengurangi kadar air atau menurunkan rasio air-semen (w/c) tanpa mengurangi workability beton.
2. Meningkatkan workability tanpa menambah kadar air atau w/c, sehingga tidak mengurangi mutu beton.
3. Meningkatkan mutu beton, terutama untuk beton mutu tinggi atau sangat tinggi.

Khusus untuk butir 3 di atas, bila penggunaan plasticizer dirasakan masih kurang dalam mendukung peningkatan kinerja beton, maka bisa dipertimbangkan penggunaan super-plasticizer atau high range water reducer, dengan cara penggunaan yang cermat. Dalam hal ini, penggunaan superplasticizer harus sesuai dengan spesifikasi ASTM-C.494-81 tipe F.

Ketepatan dosis pemakaian campuran plasticizer atau superplasticizer umumnya perlu dibuktikan dengan membuat campuran percobaan (trial mixes) dengan beberapa variasi dosis penambahan plasticizer hingga mendapatkan hasil yang optimum dalam memenuhi syarat kelecakan yang direncanakan. Dalam penelitian ini, digunakan superplasticizer merk Sikament dari produksi Sika sesuai ASTM-C.494-81 tipe F, dengan dosis berdasarkan hasil penelitian terdahulu sebesar 2 %.

4. TAHAPAN DAN PROSEDUR PENELITIAN

4.1. Penetapan parameter campuran

Pada penelitian ini guna mendapatkan suatu formula rancang campuran beton mutu tinggi yang relatif sederhana tetapi baik, dipakai suatu metode pendekatan berdasarkan penelitian terpisah, yaitu dari hasil penelitian pendahuluan dengan menggunakan Formulasi Feret, yang kemudian diidentifikasi dengan material lokal di sekitar Jakarta. Formulasi ini dikemukakan oleh *Rene Feret* dan kemudian

dimodifikasikan oleh *Francois De Larrard* dalam penelitiannya di Perancis^[1].

Dalam penelitiannya guna mendapatkan suatu formulasi yang baik untuk rancang campuran beton mutu tinggi, *Rene Feret* telah mengemukakan suatu formulasi dasar campuran, yang kemudian telah dikembangkan dan dimodifikasi oleh *François de Larrard*, sehubungan dengan penggunaan aditif mineral pada campuran beton, dimana telah diformulasikan hubungan empiris antara kuat tekan beton mutu tinggi dengan empat variabel dasar campuran beton, yaitu:

- rasio air semen (w/c)
- kadar mikrosilika yang ditambahkan (s/c)
- kuat tekan mortar semen sebagai pembentuk dasar beton yang berdasarkan material lokal
- agregat lokal dan kondisi lokal lainnya.

Dalam penelitian sebelumnya telah dilakukan identifikasi formulasi Feret berdasarkan material-material beton lokal yang digunakan di sekitar Jakarta^[3]. Berdasarkan hasil penelitian tersebut maka diperoleh besarnya variabel-variabel dasar penelitian sebagai berikut:

1. Rasio air-semen (W/C) = 0.32
2. Rasio bahan mineral terhadap semen (S/C) = 7,5 % dan 10 %. Nilai ini telah memenuhi kekuatan tekan yang ditargetkan.
3. Rasio total agregat terhadap semen (A/C) = 3,5 dan
4. Rasio Pasir terhadap agregat total (S/A) = 40 % dan 50 %.

Dengan berdasarkan variabel-variabel di atas, telah dilakukan kombinasi variabel penelitian sehingga diperoleh 4 tipe campuran beton dengan 2 alternatif cara pemberian tambahan superplasticizer, yaitu secara langsung dan bertahap, dengan dosis 2 %.

4.2. Formulasi Feret

Berikut ini diberikan formulasi Feret yang telah dimodifikasi oleh de Lerrard

secara matematik, dan dapat dinyatakan sebagai berikut ini:

$$f_{cm}' = \frac{K_g \cdot R_c}{\left[1 + \frac{3.1w/c}{1.4 - 0.4e^{(-11s/c)}}\right]^2}$$

dimana $f_{cm}' = K_g \times B_c$, dan

$$B_c = \frac{R_c}{\left[1 + \frac{3.1w/c}{1.4 - 0.4e^{(-11s/c)}}\right]^2}$$

dimana :

f_{cm}' = Kuat tekan target beton (dihitung sebagai kuat tekan rata-rata benda uji beton pada umur 28 hari) dalam satuan MPa.

R_c = Kuat tekan mortar semen pada umur 28 hari (dalam MPa), sebagai pembentuk dasar beton (berdasarkan material lokal) yang dibuat dengan proporsi campuran 1 bagian semen, 3 bagian pasir dan 0,5 bagian air (dalam proporsi berat).

w/c = Rasio air semen (rasio berat)

S/c = kadar micro silika yang ditambahkan (terhadap berat semen)

B_c = Besaran dasar kuat tekan beton

K_g = Konstanta dasar campuran beton yang besarnya tergantung dari type agregat yang digunakan dan kondisi lokal lainnya. (untuk daerah Jakarta dan sekitarnya $K_g = 4,64$)

Selanjutnya Nilai B_c/R_c dihitung sebagai berikut:

Type 1. untuk $w/c = 0,32$ dan $s/c = 7,5 \%$

$$\frac{B_c}{R_c} = \frac{1}{\left[1 + \frac{3.1 \cdot 0.32}{1.4 - 0.4e^{(-11 \cdot 0.075)}}\right]^2} =$$

$$\frac{1}{1.81^2} = 0,305$$

Type 2. untuk $w/c = 0,32$ dan $s/c = 10 \%$

$$\frac{B_c}{R_c} = \frac{1}{\left[1 + \frac{3.1 \cdot 0.32}{1.4 - 0.4e^{(-11 \cdot 0.1)}}\right]^2} =$$

$$\frac{1}{1.783^2} = 0,314$$

4.3. Pengujian beton segar (*Slump Test*)

Test ini bertujuan untuk meneliti kelecakan (*workability*) beton segar, dan penurunan tingkat kelecakan atau *slump loss* yang terjadi sebagai fungsi waktu. Sesuai dengan tujuan penelitian, maka pemberian tambahan superplasticizer akan dilakukan dengan 2 cara yang berbeda (untuk kemudian diteliti pengaruhnya), yaitu:

1. Metode langsung:

pemberian superplasticizer dilakukan hanya satu kali yaitu pada awal pencampuran beton, dengan pengujian slump dilakukan setiap 15 menit sampai waktu 2 jam.

2. Metode bertahap:

pemberian superplasticizer dilakukan secara bertahap, yaitu pada saat pencampuran awal beton dan kemudian diulang pada selang menit ke-45 dan 90 setelah pengadukan awal beton, dengan tujuan untuk meningkatkan kembali nilai slump yang sudah berkurang (akibat fenomena *slump loss*) ke tingkat yang kurang lebih sama dengan nilai slump semula, dengan pengecekan slump juga dilakukan setiap 15 menit sampai waktu 2 - 2,5 jam.

Sebagaimana telah disampaikan sebelumnya, pada penelitian ini dibuat empat

macam atau tipe komposisi campuran, dengan parameter yang digunakan sebagai berikut:

- Beton Tipe A (Pozzofume = 7,5%; F/A = 40 %)
- Beton Tipe B (Pozzofume = 7,5%; F/A = 50 %)
- Beton Tipe C (Pozzofume = 10 %; F/A = 40 %)
- Beton Tipe D (Pozzofume = 10 %; F/A = 50 %);

dan dengan pemakaian rasio air-semen W/C = 0,32 dan rasio agregat-semen A/C = 0,35.

4.4. Hasil pengujian

4.4.1. Hasil pengujian slump pada cara pemberian superplasticizer yang langsung

Hasil pengujian slump yang dilakukan setiap selang waktu 15 menit pada beton segar dari semua tipe campuran telah ditunjukkan pada Grafik 4.1 dan 4.2, dengan perilaku sebagai berikut:

- Pada campuran beton dengan rasio F/A = 40 % dan pozzofume = 7,5 %, *slump loss* yang terjadi ternyata lebih kecil dibandingkan campuran beton dengan pozzofume = 10%.
- Pada campuran beton dengan rasio F/A = 50 %, ternyata bahwa kedua campuran menunjukkan kecepatan *slump loss* yang relatif hampir sama, dimana campuran dengan persentase pozzofume = 10 % telah mengalami kehilangan slump yang sedikit lebih kecil dari campuran beton dengan persentase pozzofume = 7,5 %.

Hal ini menunjukkan bahwa pada campuran dengan rasio F/A = 40%, persentase optimum pozzofume (sehubungan dengan fenomena *slump loss*) berada diantara 7,5% - 10%, karena nilai kehilangan slump ternyata menjadi lebih kecil bila persentase pozzofume yang digunakan kurang dari 10 %^[6].

Tetapi bila pemakaian rasio F/A dinaikkan menjadi 50%, maka kebutuhan

pozzofume untuk mengatasi slump loss akan meningkat pula sehingga campuran dengan persentase pozzofume = 10% mengalami kehilangan slump yang lebih kecil dibandingkan dengan campuran beton yang mengandung persentase pozzofume = 7,5%.

4.4.2. Hasil pengujian slump pada cara pemberian superplasticizer yang bertahap

Hasil pengujian slump yang dilakukan setiap selang waktu 15 menit pada beton segar dari semua tipe campuran ditunjukkan pada Grafik 4.3.

4.4.3. Hasil pengujian kuat tekan pada pemberian superplasticizer yang langsung

Tipe Beton	Kekuatan Tekan Rata-Rata (F °C)					Berat (Ton/M ³)
	3 Hari (Mpa)	7 Hari (Mpa)	14 Hari (Mpa)	21 Hari (Mpa)	28 Hari (Mpa)	
A	38.6	47.1	56.6	61.5	66.9	!Syntax
B	41.9	54.3	57.6	59.7	67.3	!Syntax
C	47.7	53.1	60.5	65.0	71.1	!Syntax
D	40.4	49.6	56.6	60.9	66.1	!Syntax

Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada benda uji silinder 15cm/30cm dengan jumlah 32 buah benda uji untuk tiap tipe campuran beton, terdiri dari 4 x 3 buah benda uji yang diuji masing-masing pada umur 3, 7, 14, dan 21 hari, serta 20 buah benda uji yang ditekan hancur pada umur 28 hari.

4.4.4. Hasil pengujian kuat tekan pada pemberian superplasticizer yang bertahap

TIPE BETON	KEKUATAN TEKAN (f °c)		BERAT (Ton/M ³)
	28 HARI (MPa)	RATA-RATA 28 (MPa)	
A	65.8	66.1	2.36
	68.1		2.40
	64.4		2.37
	63.5		2.39
B	68.1	63.9	2.37
	60.2		2.35
	70.6		2.37
C	68.5	69.1	2.40
	68.1		2.36
	60.3		2.36
D	63.2	63.0	2.29
	65.6		2.40

Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada benda uji silinder 15cm/30cm dengan jumlah 20 buah benda uji untuk tiap tipe campuran beton, yang kesemuanya diuji tekan hancur pada umur 28 hari.

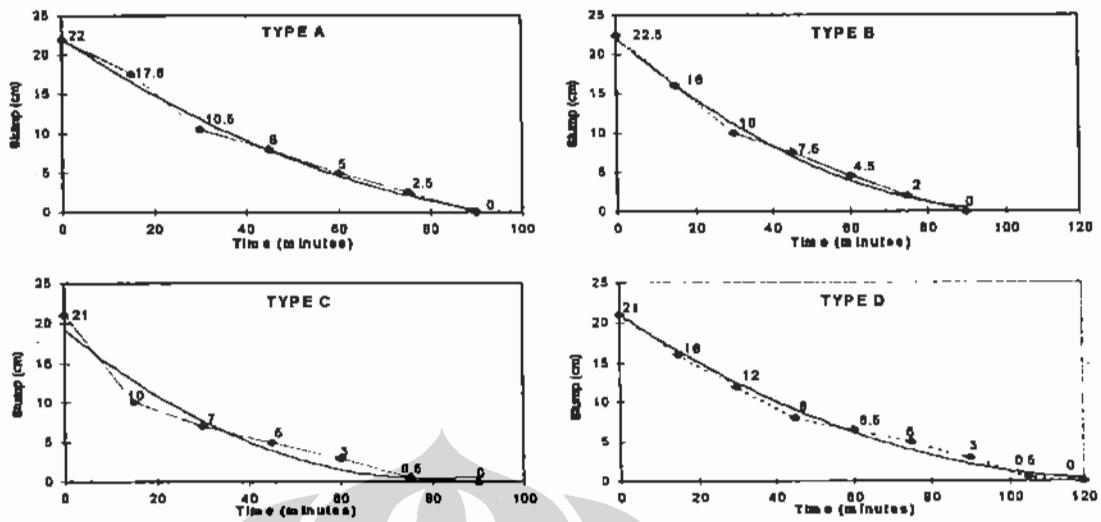
5. KESIMPULAN

1. Dengan menggunakan bahan tambahan (aditif) pozzofume dan superplasticizer pada campuran beton dengan dosis yang tepat, ternyata bisa dihasilkan beton dengan W/C = 0,32 yang mencapai kuat tekan silinder rata-rata 65 – 70 MPa, namun dengan kelecakan yang tinggi, yaitu dengan nilai slump mencapai 21 – 23 cm.
2. Dari hasil pengukuran nilai slump, ternyata bahwa dalam selang waktu 30 menit, beton pozzofume tersebut telah mengalami *slump loss* sebesar 10 – 14 cm atau telah kehilangan 45 – 65 % dari nilai slump awalnya. Dalam selang waktu 60 menit, pada adukan beton yang sama telah terjadi *slump loss* sebesar 15 – 18 cm atau kehilangan 70 – 85 % dari nilai slump awalnya.
3. Dengan memberikan tambahan ulang superplasticizer setelah selang waktu 45 menit dan 90 menit dari saat pengadukan awal, ternyata kelecakan beton atau nilai slump bisa ditingkatkan kembali sampai mendekati atau menyamai nilai slump awalnya.
4. Memang ada penurunan kuat tekan beton (umur 28 hari) untuk campuran beton yang ditambahkan ulang superplasticizer setelah selang waktu 45 dan 90 menit dari saat pengadukan awalnya, namun besarnya penurunan kuat tekan sebesar 1 – 5 % masih merupakan besaran yang bisa diterima, dalam arti bisa diberikan koreksi awal pada kuat tekan target beton, berupa peningkatan sebesar 5 %, tanpa menimbulkan penambahan yang berarti pada biaya produksi beton, terutama bila dibandingkan dengan manfaat yang diperoleh pada nilai kelecakan yang tinggi.

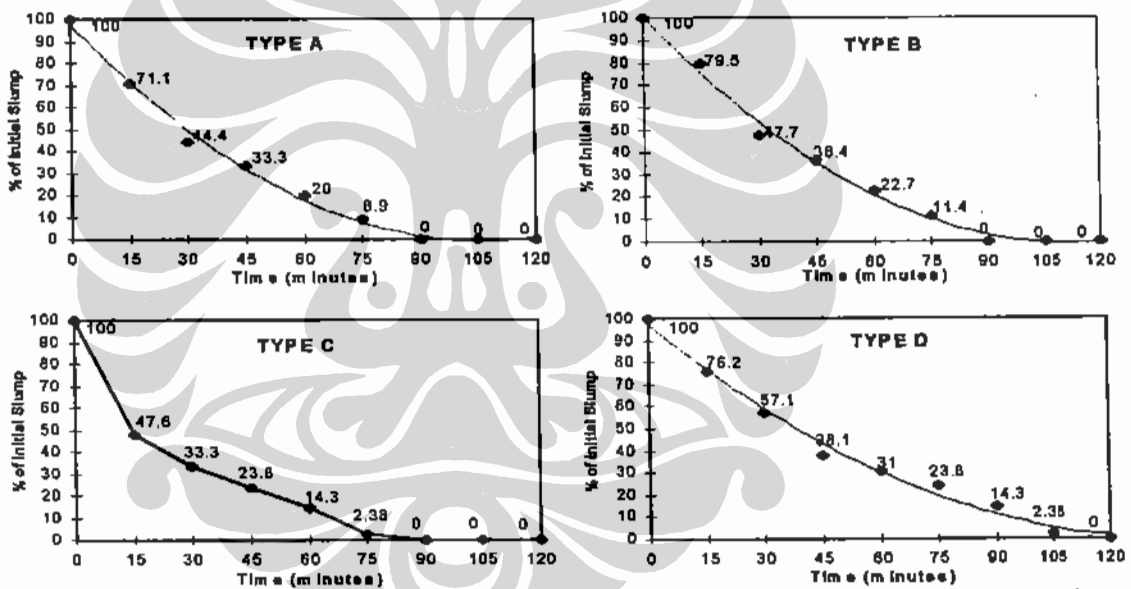
5. Namun dalam segala hal perlu diwaspadai bahwa penambahan ulang superplasticizer perlu dilakukan sebelum terjadinya pengikatan beton. Bila perlu, *retarder* bisa ditambahkan dalam hal ini.

DAFTAR PUSTAKA

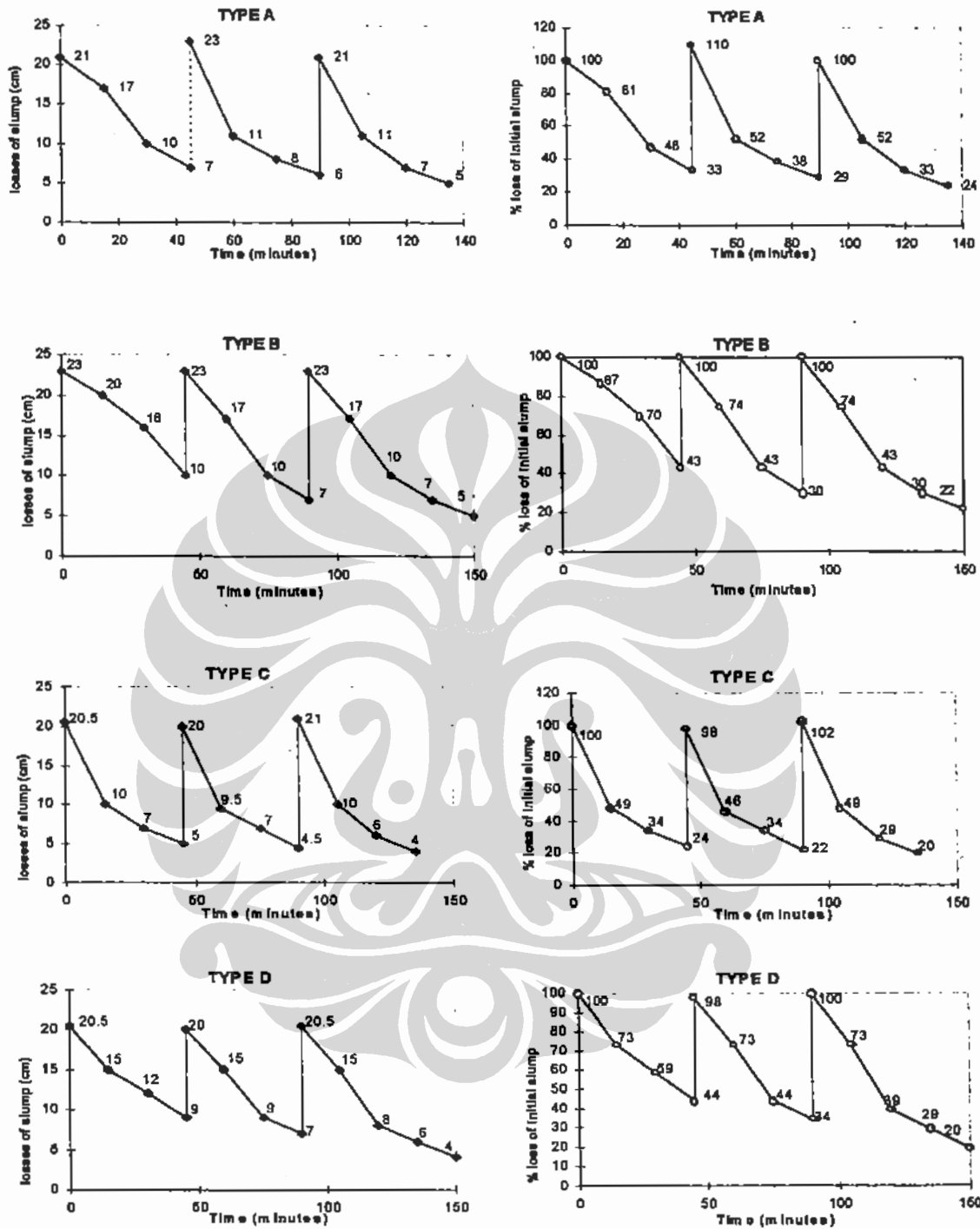
1. F. de Larrard: "A method for proportioning high strength concrete", Cement, Concrete and Aggregates, vol. 12 no. 2, 1990, pp. 47-52.
2. F.X. Supartono: "Rancang campuran beton mutu tinggi berdasarkan formulasi Feret yang diidentifikasi pada kondisi lokal", Journal of Technology FTUI, Maret 1996.
3. F.X. Supartono: "Ketahanan beton abu terbang terhadap korosi sulfat", Majalah Konstruksi, Februari 1996.
4. F.X. Supartono dan tim peneliti : "Rancang campuran dan perilaku mekanik beton mutu sangat tinggi (mix design and mechanical behaviour of very high strength concrete)", Laporan Penelitian Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Februari 1991.
5. M.R. Tjondronegoro: "Formulasi beton mutu tinggi dengan kondisi lokal", Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Trisakti, Agustus 1995.
6. A. Yazid: "Studi perilaku slump loss pada beton mutu tinggi dengan menggunakan bahan tambahan pozzofume", Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Indonesia, Januari 1997.



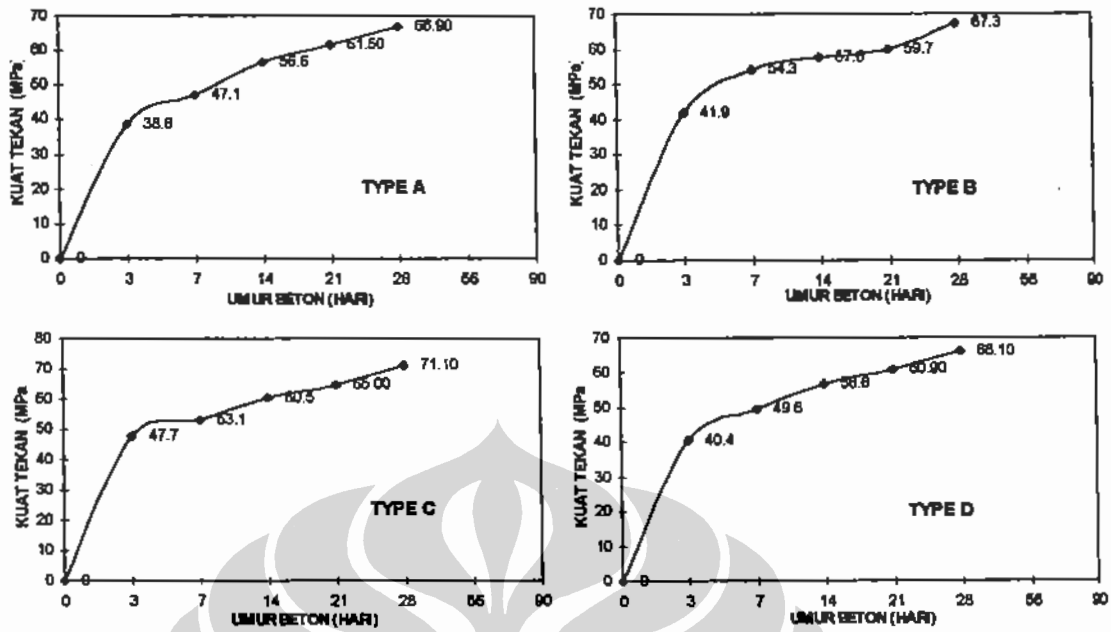
Grafik 4.1 Hubungan slump (cm) dengan delay time (menit)



Grafik 4.2 Hubungan % slump terhadap slump awal dengan delay time (menit)



Grafik 4.3 Hubungan slump (cm) dan % slump terhadap slump awal (%) dengan delay time (menit)



Grifik 4.4 Perkembangan kekuatan beton (metode langsung)