

OPTIMIZATION OF MIXED CONCRETE “SELF COMPACTING” MATERIAL USING FLY ASH, SILICA FUME AND THEIR INFLUENCE OF IRON SLAG STRONG CONTRIBUTION TO THE PRESS

by Dwiputro Raharjo^a, Aman Subakti^b and Tavio^b

ABSTRACT

Self-compacting Concrete (SCC) is an innovation of concrete that does not require the process to occupy formwork vibration (Placing) and compacted (compaction). SCC is able to flow under its own weight, unable to meet or fill formwork (formwork) and reached its highest density. SCC requires a mineral Admixture fly ash and chemical form of Viscocrete a high viscosity in order to meet the specified flowability, whereas other compounds are iron slag waste from steel mill wastes in the form of fine aggregate. Trial mix performed on materials such as fly ash, mineral Admixture fly ash, silica fume, chemical Admixture Sika is viscocrete 10 from Indonesia, and the material is a mixture of iron slag from PT Ispat Indo to determine the optimal composition and meet the requirements of filling ability, passing ability, viscosity and segregation. Tests using the slump cone filling ability, passing ability to use L-box, while the viscosity and segregation using the V-funnel. Compressive strength testing performed with a cylindrical test piece 10 x 20 cm at the age of concrete 3.7, 14, 28 and 56 days. With as many as 495 test specimen for the test object 33 composition of concrete mix design. Each dose was given viscocrete composition from 0.5 to 1.8% by weight of cementitious according to the dose required by Sika Indonesia. While the dose of Silica Fume composition using 0%, 10% and 20% of fly ash pozzolan. The final aim of this study are expected to obtain the optimal material composition of the mixture by generating a maximum compressive strength and price efficient as well.

KEYWORDS: *compressive strength; flowability; fly ash; iron slag; self compacting concrete; silica fume; viscocrete; workability.*

PENDAHULUAN

Beton bertulang merupakan salah satu komponen bangunan yang banyak digunakan sebagai bahan konstruksi karena merupakan material yang cukup ekonomis dan biaya pembuatannya relatif murah. Disamping itu material beton juga mudah didapat seperti pasir, kerikil, dan semen. Alasan lain mengapa banyak konstruksi bangunan menggunakan beton adalah karena mudah dibentuk sesuai permintaan konsumen.

Dalam pekerjaan konstruksi beton, pemadatan atau vibrasi beton adalah pekerjaan yang mutlak harus dilakukan untuk suatu pekerjaan struktur beton bertulang konvensional. Tujuan dari pemadatan itu sendiri adalah meminimalkan udara yang terjebak dalam beton segar sehingga diperoleh beton yang homogen dan tidak terjadi rongga-rongga di dalam beton. Konsekuensi dari beton bertulang yang tidak sempurna pematatannya, diantaranya menurunkan kuat tekan beton dan kekedapan air beton sehingga mudah terjadi karat di besi tulangan.¹

Pengecoran beton konvensional pada beam colum joint yang padat tulangan dengan alat vibrator belum menjamin tercapainya kepadatan secara optimal. Di samping itu penggunaan alat vibrator pada daerah yang padat bangunan dapat menimbulkan polusi suara yang mengganggu sekitarnya.¹ Selain itu penggunaan konstruksi beton jika diaplikasikan pada bangunan yang

berskala besar dan medan yang cukup sulit seperti pembuatan pylon pada jembatan, membutuhkan tenaga kerja yang cukup banyak untuk pengerjaan vibrasi beton.

Penelitian mengenai *Self Compacting Concrete* (SCC) sangat sedikit dilakukan di Indonesia. Oleh sebab itu penulis merasa perlu untuk melaksanakan penelitian “Optimasi Campuran Beton “Self Compacting” dengan Menggunakan Material Fly Ash, Silica Fume, dan Iron Slag serta Pengaruh Tingkat Kontribusinya Terhadap Kuat Tekan”

PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan diatas, maka timbul permasalahan yang akan diangkat dalam tesis ini.

Permasalahan itu adalah :

1. Bagaimana proses kerja admixture pada proses kimia SCC.
2. Bagaimana peranan dan pengaruh kontribusi bahan /material Hyperplasticizer Viscocrete 10, fly ash, silica fume dan iron slag pada SSC.
3. Dari penelitian ini, bagaimanakah proses mix design yang tepat pada pencampuran SCC.
4. Dari penelitian ini diharapkan didapat hasil mix design yang optimal baik dari segi komposisi campuran untuk mendapatkan kuat tekan yang maksimal dengan harga yang efisien.

BATASAN MASALAH

Agar penelitian ini lebih terarah, maka dilakukan pembatasan terhadap hal-hal yang diamati selama penelitian. Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metoda pencampuran yang digunakan adalah metoda DOE (Departement of Environment) SK SNI T-15-1990-03 dengan judul “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”.

^aStudent in the Department of Civil Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS), ITS Campus, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia.

^b Lecturer in the Department of Civil Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS), ITS Campus, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia.

Note. The manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on April 15, 2011. Discussion open until May 2012. This paper is part of the ITS Journal of Civil Engineering, Vol. 31, No. 1, May 2011. © ITS Journal of Civil Engineering, ISSN 2086-1206/2011.

Tabel 1. Aproksimasi kadar air bebas yang dibutuhkan untuk menghasilkan berbagai tingkat workabilitas

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Vebe Time (dtk)		>12	6-12	3-6	0-3
Ukuran Agregat Maks	Tipe Agregat	Kadar Air (kg/m ³)			
Bagian A					
Beton dengan Semen Portland					
10	Uncrushed	150	180	205	225
	Crushed	180	205	230	250
20	Uncrushed	135	160	180	195
	Crushed	170	190	210	225
40	Uncrushed	115	140	160	175
	Crushed	155	175	190	205
Bagian B					
Beton dengan PC Fly Ash					
Proporsi dari Fly Ash terhadap (semen+fly ash) dalam %		Reduksi Kadar Air (kg/m ³)			
10		5	5	5	10
20		10	10	10	15
30		15	15	20	20
40		20	20	25	25
50		25	25	30	30

(sumber: Mixed Desain Beton Normal dengan Metode DOE & ACI)²

Tabel 2. Prosentase Material Mix Design per komposisi

No.	% Fly Ash	% Additive	W/C	Silika Fume	Agregat Halus	Test Beton				
						Kuat Tekan silinder 10/ 20				
						3 hari	7 hari	14 hari	28 hari	56 hari
1	0%	0,5-1,8%	0,3, 0,5 dan 0,7	0%, 10% dan 20%	N S	3	3	3	3	3
2	10%	0,5-1,8%	0,3, 0,5 dan 0,7	0%, 10% dan 20%	N S	3	3	3	3	3
3	30%	0,5-1,8%	0,3, 0,5 dan 0,7	0%, 10% dan 20%	N S	3	3	3	3	3
4	50%	0,5-1,8%	0,3, 0,5 dan 0,7	0%, 10% dan 20%	N S	3	3	3	3	3

- Admixture dan additive yang dipakai ada 4 macam, yaitu Hyperplasticizer Viscocrete 10 dari Sika Indonesia, Silika Fume yaitu Sikafume dari Sika Indonesia, Fly ash dari PLTU Paiton dan Iron slag dari PT. Ispat Indo.
 - Perbandingan penggunaan fly ash yaitu 0%, 10%, 30% dan 50%
 - Kerikil dengan ukuran maksimum 20 mm, pasir yang digunakan adalah pasir Lumajang, dan semen yang dipakai adalah semen tiga roda tipe PCC (Portland Composite Cement).
 - Dalam penelitian ini, optimasi mix desain menggunakan program statistik SPSS dan Minitab dengan menggunakan regresi multilinear komposisi mix design material terhadap kuat tekan beton.
 - Slump rencana mix desain awal 60 s.d 180 mm
 - Water Content Ratio (W/C) yang dipakai 0,3; 0,5; dan 0,7.
 - Kuat tekan pada beton keras pada umur beton 3, 7, 14, 28 dan 56 hari.
- Tujuan dan manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :
- Mengetahui proses kerja *admixture* pada proses kimia SCC.
 - Mengetahui peranan dan pengaruh hyperplasticizer viscocrete 10, fly ash, iron slag, dan silika fume.
 - Mengetahui komposisi mix design yang ekonomis dan optimal.
 - Mengetahui hasil mix design yang optimal dari fly ash, iron slag, silika fume dan hyperplasticizer

dengan program optimasi yaitu program statistik SPSS dan Minitab.

Dasar Mix Desain dan Pengujian

Metode mix design yang dipakai merupakan kombinasi dari metode mix design DOE dan persyaratan Beton "Self Compacting" dari "The European Guidelines for SCC, 2005"

- Karena efek dari hyperplasticizer yang digunakan, maka dilakukan penyesuaian dari besarnya air yang digunakan (free water content).
- Perbandingan komposisi antara agregat halus dan kasar mengikuti simple mix design Okumura yaitu sebesar $\pm 40\%$. (peneliti memakai perbandingan agregat halus : kasar = 55 : 45), dimana di dalam "The European Guidelines for SCC, 2005" agregat halus juga dibatasi antara 48 s.d 55% dari total agregat.
- Pengujian yang digunakan menggunakan persyaratan dari "The European Guidelines for SCC, 2005" dengan pengujian fillingability yaitu dengan test Slump Cone, L-shaped box, dan V-funnel.
- Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah: pasir lumajang, semen tiga roda jenis PCC (Portland Composite Cement) dari PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk, silica fume dan bahan aditif dari PT. Sika Indonesia yaitu Viscocrete-10
- Bahan lain dari penelitian ini adalah iron slag yang merupakan buangan dari limbah pabrik baja baik berupa agregat halus maupun kasar. Iron slag yang digunakan pada penelitian ini menggunakan limbah dari pabrik besi dari PT. Ispat Indo dengan menggunakan agregat halusnya.

PERHITUNGAN

Penelitian ini menggunakan ukuran agregat kasar maksimum 20 mm dengan slump rencana 60 – 180 mm, sehingga dapat menggunakan Tabel 1. yaitu tabel aproksimasi kadar air bebas yang dibutuhkan untuk menghasilkan berbagai tingkat workabilitas

Untuk menentukan berat jenis beton rencana dapat menggunakan Gambar 1. yaitu grafik estimasi berat

jenis beton basah, dengan terlebih mengetahui berat jenis agregat gabungan dan kadar air bebasnya. Dimana kadar air bebasnya dapat diketahui dari Tabel 1 dengan terlebih dahulu mengetahui slump rencana dan ukuran agregat maksimumnya, sedangkan berat jenis agregat gabungan dapat diketahui dengan melakukan penelitian untuk menentukan berat jenis masing-masing agregat yang digunakan dalam hal ini: iron slag, kerikil dan pasir Lumajang.

Kadar PC ditentukan dari perhitungan:

$$\text{Kadar PC} = \frac{(100-p) \times W}{(100-0.7p) \times [W/(C+0.3F)]} \quad (1)$$

Dimana $[W/(C+0.3F)]$ kita memakai 0,3, 0,5 dan 0,7

$$\text{Kadar fly ash} = \frac{p \times C}{100-p} \quad (2),$$

dimana p = proporsi fly ash, w= kadar air bebas, dan c = kadar semen

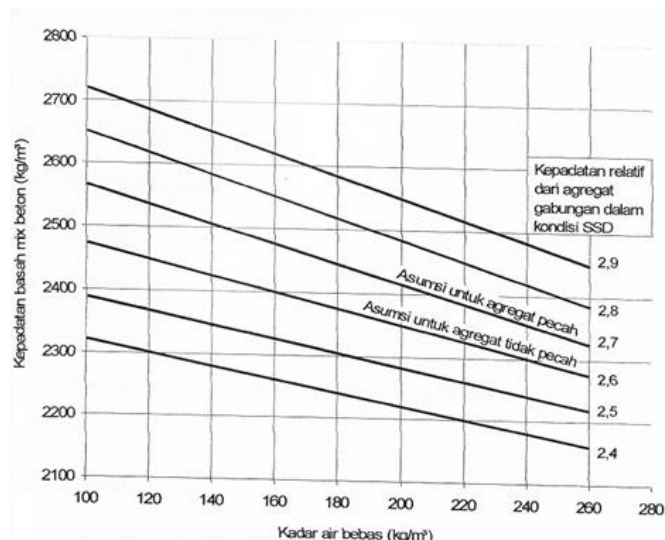
Sedangkan penentuan kadar agregat total dengan teorinya sebagai berikut³ : kepadatan dari beton segar di estimasi dari Gambar 1. Total kadar agregat didapat dengan cara mengurangi berat semen, fly ash dan air dari kepadatan basah beton yang didapat dari Gambar 1. Hal ini melibatkan pengalihan tambahan untuk berat fly ash dibandingkan dengan perhitungan pada total kadar agregat. Modifikasi perhitungan ini adalah:

$$\text{Total kadar agregat (SSD)} = D - (C+F) - W$$

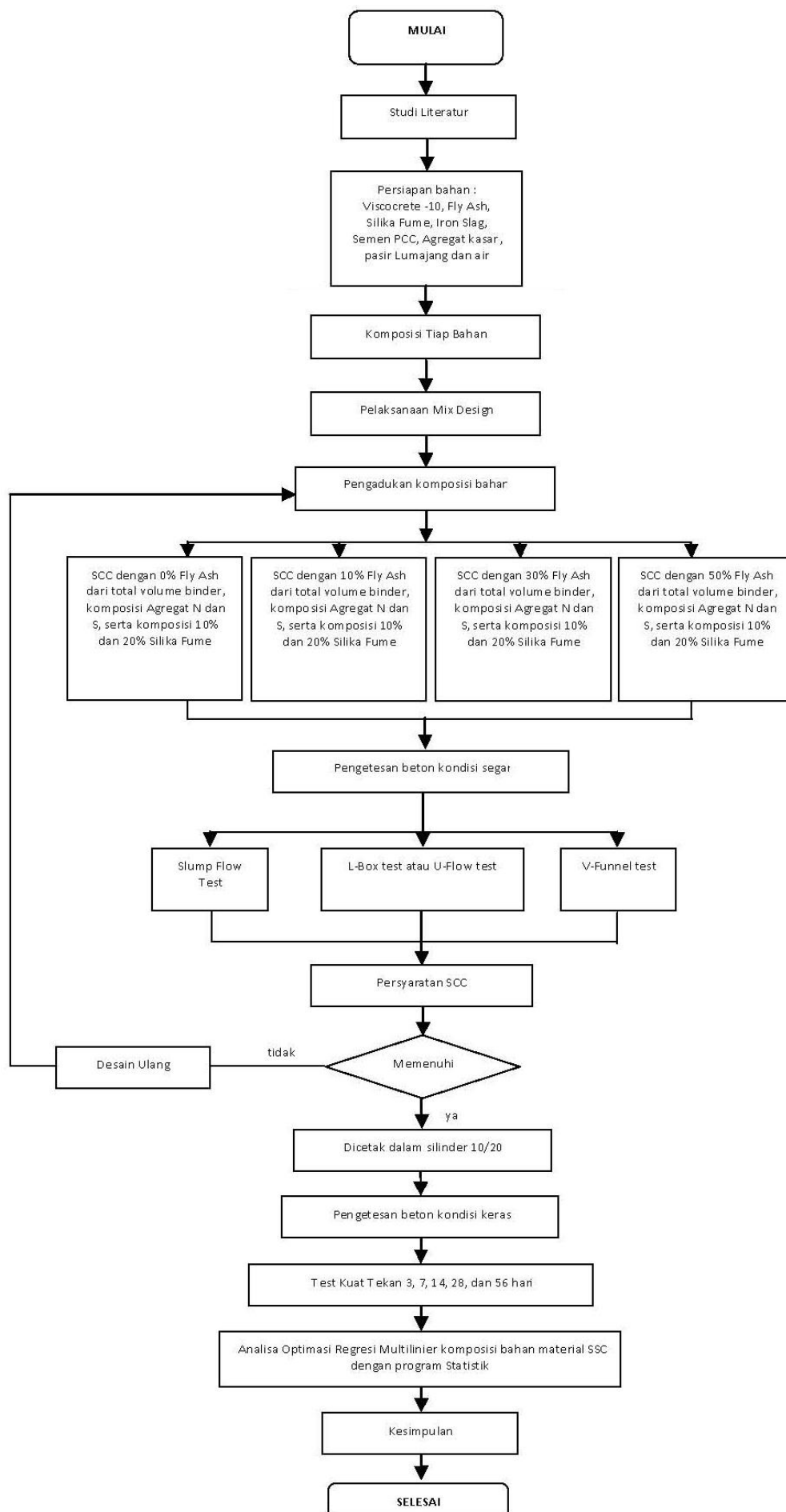
Dimana D adalah kepadatan basah beton (kg/m^3) dari Gambar 1.

Metode Analisis

Analisis untuk mengetahui pengaruh variabel respon (y) = kuat tekan dengan variabel predictor/ penjelas/ independen lebih dari 1 variabel menggunakan regresi linear berganda/multiple linear regresi. Dalam kasus ini kuat tekan (y = variabel respon) dipengaruhi oleh 4 variabel yaitu air, semen, fly ash, dan silica fume pada kekuatan beton. Dengan asumsi jumlah superplasticizer tidak berpengaruh pada kekuatan tekan beton. Sehingga permodelan regresinya sebagai berikut:



Gambar 1. Estimasi berat jenis beton basah



Gambar 2. Flowchart Mix Desain SCC

$$Y_b = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_5 X_5 + \varepsilon$$

Dimana:

X_n = variabel (fly ash, silica fume, air, semen dan superplasticizer)

β_0 = rata-rata total kuat tekan per umur beton

β_n = parameter dari variabel predictor

ε = variabel error

Untuk penelitian ini, dimana variabel predictor berskala diskret (nominal/ordinal) maka regresi tersebut menggunakan variabel dummy (boneka), yakni kategori di variabel predictor.

Penentuan Komposisi Mix Design

Penentuan komposisi awal tiap bahan adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar dibatasi jumlahnya sekitar kurang lebih 45% dari total volume beton supaya bisa mengalir dan memadat sendiri tanpa alat pematat.
2. Sedangkan perbandingan agregat kasar dengan agregat halus adalah 45 : 55.
3. Komposisi Fly ash 0%, 10%, 30% dan 50%
4. Dosis viscocrete diberikan antara 0,5 – 1,8 % dari total berat semen.
5. Komposisi silica fume yang digunakan 0%, 10% dan 20% dari berat pozzolan fly ash.
6. Agregat halus dalam hal ini pasir dan iron slag, perbandingannya hanya sampai 15% pengganti pasir, dikarenakan berat jenis dari iron slag yang besar. Penggunaan iron slag ini sebagai filler / pengisi volume beton agar padat.
7. Kadar air pada trial mix awal dengan menggunakan W/C 0,3 dan secara bertahap di trial mix W/C 0,5 sampai dengan W/C 0,7 dengan menambahkan viscocrete dengan tetap memperhatikan syarat SCC, setelah itu di cek secara visual dan kemudian ditambah air ataupun reduksi air sedikit demi sedikit sampai dicapai keadaan yang diinginkan, sesuai syarat dari SCC.

Sehingga didapatkan trial mix desain awal dengan menggunakan komposisi seperti disebutkan dalam tabel 2.

Agregat halus pada tabel diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Type N, normal : yaitu perbandingan 0% iron slag : 100% pasir lumajang.
- Type S, dengan slag : yaitu perbandingan 15% iron slag : 85% pasir lumajang.

Dimana iron slag dibutuhkan dalam SCC ini hanya sebagai filler, dikarenakan berat jenisnya yang besar, maka persentase untuk iron slag diambil maksimal 15% dari jumlah agregat halus.

Sedangkan perbandingan Agregat halus : Agregat Kasar untuk penelitian ini adalah 55 : 45.

Kadar air yang digunakan W/C 0,3 ; 0,5 dan 0,7 dengan menambahkan bahan viscocrete, kemudian melakukan trial mix sehingga didapat komposisi yang memenuhi syarat-syarat dari SCC.

Pemakaian additive 0,5-1,8% pada tabel diambil dari rekomendasi brosur Sika Viscocrete -10, sedangkan komposisi silica fume adalah 0%,10% dan 20% dari berat pozzolan fly ash.

Berdasarkan Tabel 2 maka didapatkan 33 komposisi, dengan total 495 benda uji yang dapat dilihat dalam Tabel 3.

Dalam penelitian ini menggunakan additive viscocrete 10 mulai dari 0,5 % s/d 1,8% untuk semua komposisi dengan trial mix terlebih dahulu untuk memenuhi syarat SCC. Sehingga untuk setiap komposisi membutuhkan 15 benda uji (untuk test tekan pada umur 3,7,14, 28, dan 56 hari dimana masing-masing umur beton dipakai 3 buah benda uji). Sehingga total benda uji yang dibutuhkan 495 benda uji. Keterangan kode komposisi P.N.3-FA0SF0 (proporsi Normal, W/C 0,3, Fly ash 0% dan Silika Fume 0%), dimana BP = batu pecah, S = slag, L = pasir Lumajang, FA = fly ash dan SF = silica fume.

Pengujian Beton SCC Segar

Pada kondisi segar, benda uji beton dianalisa dengan melakukan beberapa tes untuk menilai sifat self compactednya, yaitu tes slump untuk mengetahui workabilitas dan flowabilitas dari campuran beton, U-flow test atau L-box test untuk mengetahui passing ability dari self compacting concrete dan V-Funnel test untuk mengetahui viskositas dari campuran beton.

Tabel 2. Prosentase Material Mix Design per komposisi

No.	% Fly Ash	% Additive	W/C	Silika Fume	Agregat Halus	Test Beton					
						Kuat Tekan silinder 10/ 20					
						3 hari	7 hari	14 hari	28 hari	56 hari	
1	0%	0,5-1,8%	0,3, 0,5 dan 0,7	0%, 10% dan 20%	N	S	3	3	3	3	3
2	10%	0,5-1,8%	0,3, 0,5 dan 0,7	0%, 10% dan 20%	N	S	3	3	3	3	3
3	30%	0,5-1,8%	0,3, 0,5 dan 0,7	0%, 10% dan 20%	N	S	3	3	3	3	3
4	50%	0,5-1,8%	0,3, 0,5 dan 0,7	0%, 10% dan 20%	N	S	3	3	3	3	3

HASIL ANALISA MATERIAL

Analisa Material Iron Slag

Analisa Material Iron Slag dapat dilihat pada Tabel 4.

Analisa Material Fly Ash

Fly Ash yang digunakan adalah type F (low calcium fly ash) produksi PT. Jawa Power – Paiton.

Analisa Material Semen

Semen yang digunakan adalah semen tiga roda jenis PCC (Portland Cement Composite)

Analisa Material Pasir

Pasir yang digunakan adalah Pasir Lumajang. **Tabel** Hasil analisa ayakan yang ditampilkan dalam Gambar 2. menunjukkan bahwa pasir yang digunakan berada dalam batas gradasi zona 2 dengan modulus kehalusan 2,53.

Tabel 3. Komposisi dan Kode benda Uji

No	Kode Benda Uji	W/C	Agregat				FA (%)	SF (%)	Jumlah Benda uji per umur (hari)				
			Tipe	BP	L	S			3	7	14	28	56
1	P.N.3-FA0SF0	0,3	N	V	V	-	0	0	3	3	3	3	3
2	P.N.5-FA0SF0	0,5	N	V	V	-	0	0	3	3	3	3	3
3	P.N.7-FA0SF0	0,7	N	V	V	-	0	0	3	3	3	3	3
4	P.S.3-FA0SF0	0,3	S	V	V	V	0	0	3	3	3	3	3
5	P.S.5-FA0SF0	0,5	S	V	V	V	0	0	3	3	3	3	3
6	P.S.7-FA0SF0	0,7	S	V	V	V	0	0	3	3	3	3	3
7	P.S.3-FA10SF0	0,3	S	V	V	V	10	0	3	3	3	3	3
8	P.S.5-FA10SF0	0,5	S	V	V	V	10	0	3	3	3	3	3
9	P.S.7-FA10SF0	0,7	S	V	V	V	10	0	3	3	3	3	3
10	P.S.3-FA10SF10	0,3	S	V	V	V	10	10	3	3	3	3	3
11	P.S.5-FA10SF10	0,5	S	V	V	V	10	10	3	3	3	3	3
12	P.S.7-FA10SF10	0,7	S	V	V	V	10	10	3	3	3	3	3
13	P.S.3-FA10SF20	0,3	S	V	V	V	10	20	3	3	3	3	3
14	P.S.5-FA10SF20	0,5	S	V	V	V	10	20	3	3	3	3	3
15	P.S.7-FA10SF20	0,7	S	V	V	V	10	20	3	3	3	3	3
16	P.S.3-FA30SF0	0,3	S	V	V	V	30	0	3	3	3	3	3
17	P.S.5-FA30SF0	0,5	S	V	V	V	30	0	3	3	3	3	3
18	P.S.7-FA30SF0	0,7	S	V	V	V	30	0	3	3	3	3	3
19	P.S.3-FA30SF10	0,3	S	V	V	V	30	10	3	3	3	3	3
20	P.S.5-FA30SF10	0,5	S	V	V	V	30	10	3	3	3	3	3
21	P.S.7-FA30SF10	0,7	S	V	V	V	30	10	3	3	3	3	3
22	P.S.3-FA30SF20	0,3	S	V	V	V	30	20	3	3	3	3	3
23	P.S.5-FA30SF20	0,5	S	V	V	V	30	20	3	3	3	3	3
24	P.S.7-FA30SF20	0,7	S	V	V	V	30	20	3	3	3	3	3
25	P.S.3-FA50SF0	0,3	S	V	V	V	50	0	3	3	3	3	3
26	P.S.5-FA50SF0	0,5	S	V	V	V	50	0	3	3	3	3	3
27	P.S.7-FA50SF0	0,7	S	V	V	V	50	0	3	3	3	3	3
28	P.S.3-FA50SF10	0,3	S	V	V	V	50	10	3	3	3	3	3
29	P.S.5-FA50SF10	0,5	S	V	V	V	50	10	3	3	3	3	3
30	P.S.7-FA50SF10	0,7	S	V	V	V	50	10	3	3	3	3	3
31	P.S.3-FA50SF20	0,3	S	V	V	V	50	20	3	3	3	3	3
32	P.S.5-FA50SF20	0,5	S	V	V	V	50	20	3	3	3	3	3
33	P.S.7-FA50SF20	0,7	S	V	V	V	50	20	3	3	3	3	3
Jumlah benda uji									495				

Tabel 4. Analisa Material Iron Slag

Material	Pengujian	Hasil Analisa	Sat	Ketentuan
Iron Slag	Berat Jenis	3,448	gr/cm ³	Standard ASTM C 128 - 78
	Berat Volume	1,809	gr/cm ³	Standard ASTM C 29/ C29M-91a
	Kadar Zat Organik	putih bening	-	Standard ASTM C 40 - 92
	Kebersihan Iron Slag Terhadap Lumpur (bahan pencucian)	0,75	%	Standard ASTM C 117-95

Tabel 5. Analisa Kimiawi Iron Slag

Parameter	Unit	Test Results	Method
Silicon dioxide (SiO ₂)	%	35.67	Gravimetri
Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃)	%	3.62	Spektrofotometri
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	%	41.39	AAS
Calcium Oxide (CaO)	%	6.12	Titrimetri
Magnesium Oxide (MgO)	%	4.27	Titrimetri
Sodium dioxide (Na ₂ O)	%	0.81	Flamephotometri
Kalium dioxide (K ₂ O)	%	0.43	Flamephotometri
Sulfur trioxide (SO ₃)	%	1.83	Spektrofotometri
Moisture Content (H ₂ O)	%	0.82	Gravimetri
Loss on Ignition (LOI)	%	4.45	Gravimetri

Berdasarkan Hasil Test di Lab. TAKI Tek. Kimia ITS No. 985/LTAKI/VII/2011

Tabel 6. Analisa Material Fly Ash

Fly Ash	Hasil Uji	ASTM 618
Komposisi Kimia	%	53,87
Silikon Dioksida	SiO ₂ %	9,51
Aluminium Oksida	Al ₂ O ₃ %	13,74
Ferri Oksida	Fe ₂ O ₃ %	77,12
Total (SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃)	%	17,62
Kalsium Oksida	CaO %	5,67
Magnesium Oksida	MgO %	3,85
Sulfur Trioksida	SO ₃ %	2,47
Hilang Pijar	LOI %	1,38
Moisture Content	H ₂ O %	
Fineness: amount retained when wet-sieved on no.325 sieve	%	13,23
		max. 34

Tabel 7. Analisa Material Semen PCC

Pengujian	Sat	Hasil Analisa	Standard ASTM C 188 - 89
Waktu mengikat	menit	97,5	
Waktu mengeras	menit	127,5	
Berat Jenis	kg/cm ³	3,089	3,0 s.d 3,15 kg/cm ³
Berat Volume	kg/cm ³	1,24	1,05 s.d 1,30 kg/cm ³

Tabel 8. Analisa Material Pasir

Pengujian	Hasil Analisa	Sat	Ketentuan
Kelembaban pasir	0,62	%	Standard ASTM C 566 - 89
Berat Jenis	2,71	kg/m ³	Standard ASTM C 128 - 93
Berat Volume	1,614	gr/cm ³	Standard ASTM C 29/ C29M-91a
Kadar Air Resapan	2,72	%	Standard ASTM C 128 - 93
Bulking	8,38	%	BS 812 Part: 2 1975
Kadar Zat Organik	putih bening	-	Standard ASTM C 40 - 92
Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (bahan pencucian)	0,85	%	Standard ASTM C 117-95

Pembuatan, Pemeliharaan dan Pengujian Benda uji

Prosedur pembuatan benda uji yang digunakan mengacu pada standar ASTM C 192 – 81, prosedur perawatan (*curing*) benda uji yang digunakan mengacu pada standar ASTM C 192 – 81, pembuatan capping silinder beton menggunakan pedoman ASTM C 617 – 83 sedangkan pengujian kuat tekan betonnya menggunakan Standar ASTM C 39 – 81

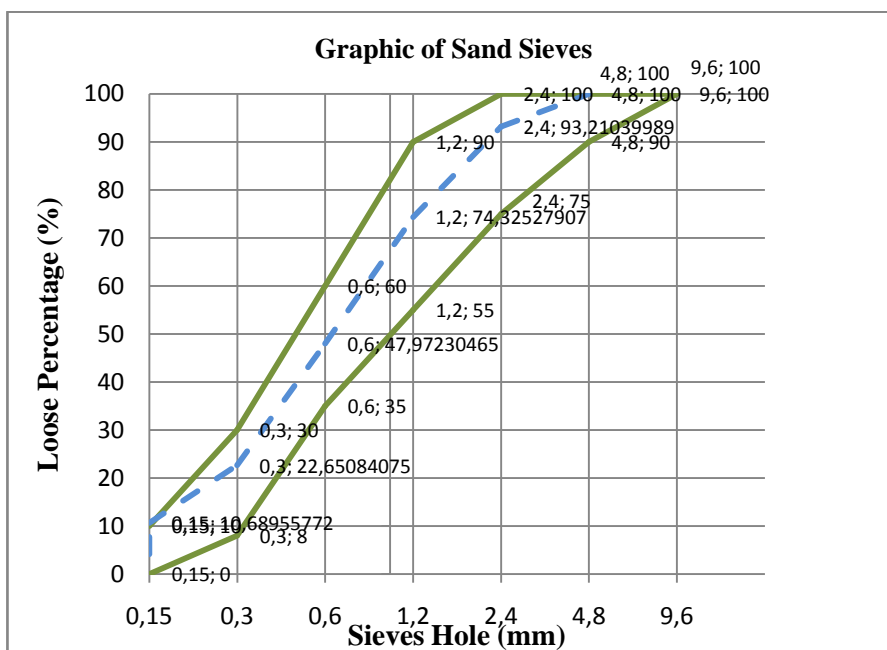
Pengujian Kuat Tekan Beton “Self Compacting”

Dari Tabel 13 dan Gambar 3 dapat ditarik kesimpulan bahwa kuat tekan terbesar pada umur 28 hari adalah komposisi 22 yaitu sebesar 65,33 Mpa, begitu pula kuat tekan pada umur 56 hari yang terbesar berasal dari komposisi 22 yaitu sebesar 77,191 Mpa, komposisi

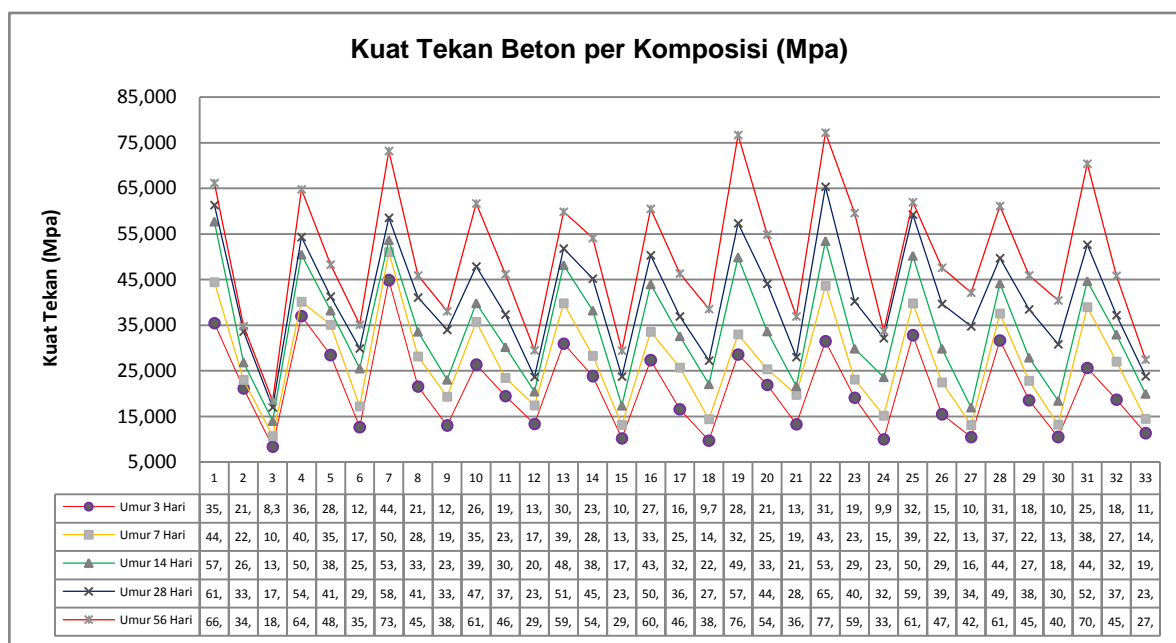
22 merupakan variasi campuran dimana terdapat material iron slag, water cement ratio (W/C) 0,3, Fly ash 30% dan Silika Fume 20%.

Sedangkan kuat tekan terkecil pada umur 28 hari adalah sebesar 17,012 Mpa terdapat pada komposisi 3, dan kuat tekan terkecil pada umur beton 56 hari juga pada komposisi 3 yaitu sebesar 18,412 Mpa, komposisi 3 merupakan variasi campuran beton “self compacting” dimana tidak ada material iron slag, water cement ratio (W/C) 0,7, Fly ash 0% dan Silika Fume 0%.

Berdasarkan tabel kuat tekan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa material fly ash, iron slag, dan silica fume berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton, sedangkan pengaruh terbesar peningkatan kuat tekan pada water content ratio (W/C) hal ini dapat dilihat pada Gambar 4, 5, 6 dan Tabel 13



Gambar 2. Estimasi berat jenis beton basah



Gambar 3. Kuat Tekan Beton Per Komposisi

HASIL ANALISA STATISTIKA

1. Hasil percobaan kuat tekan beton yang dilakukan dengan melakukan pengukuran berjenjang 3 hari sampai 56 hari dengan 33 variasi komposisi menunjukkan peningkatan kuat tekan. Ringkasan data lengkap hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 14.
2. Peningkatan besar kuat tekan beton seiring dengan waktu yang semakin lama, memiliki selisih peningkatan yang relatif stabil. Berkisar rata-rata antara 6-8 pada setiap selang interval waktu.

- Meskipun rentang waktu yang digunakan dalam pengukuran tidak sama rentangnya. Pada pengukuran 3 hari didapatkan rata-rata hasil kuat tekan 21.17, pada rentang 7 hari dihasilkan pengukuran rata-rata kuat tekan 26.95, pengukuran pada hari ke-14 dihasilkan nilai rata-rata 33.68, rata-rata kuat tekan 40.84 pada pengukuran hari ke-28 dan rata-rata kuat tekan 49.45 pada pengukuran hari ke-56.
3. Dalam rentang interval tersebut didapatkan selisih peningkatan yang konstan. Peningkatan yang konstan rata-rata kuat tekan ini dapat dilihat secara grafis yang ditunjukkan oleh Gambar boxplot pada

Tabel 13. Hasil Pengujian Kuat Tekan per Komposisi

No Komposisi	Kode Benda Uji	Kuat Tekan (Mpa)				
		3 hari	7 hari	14 hari	28 hari	56 hari
1	P.N.3-FA0SF0	35,424	44,418	57,655	61,303	66,182
2	P.N.5-FA0SF0	21,106	22,994	26,770	33,621	34,788
3	P.N.7-FA0SF0	8,358	10,632	13,936	17,012	18,412
4	P.S.3-FA0SF0	36,994	40,133	50,442	54,303	64,739
5	P.S.5-FA0SF0	28,382	35,085	38,139	41,258	48,236
6	P.S.7-FA0SF0	12,621	17,182	25,455	29,888	35,085
7	P.S.3-FA10SF0	44,800	50,973	53,603	58,524	73,182
8	P.S.5-FA10SF0	21,552	28,106	33,558	41,045	45,861
9	P.S.7-FA10SF0	12,961	19,261	23,036	33,982	38,012
10	P.S.3-FA10SF10	26,282	35,679	39,773	47,855	61,664
11	P.S.5-FA10SF10	19,452	23,461	30,164	37,333	46,200
12	P.S.7-FA10SF10	13,321	17,394	20,448	23,609	29,442
13	P.S.3-FA10SF20	30,970	39,773	48,109	51,779	59,818
14	P.S.5-FA10SF20	23,758	28,255	38,139	45,182	54,091
15	P.S.7-FA10SF20	10,182	13,152	17,309	23,715	29,400
16	P.S.3-FA30SF0	27,279	33,515	43,898	50,294	60,455
17	P.S.5-FA30SF0	16,588	25,667	32,582	36,909	46,285
18	P.S.7-FA30SF0	9,715	14,403	22,039	27,236	38,500
19	P.S.3-FA30SF10	28,573	32,964	49,827	57,336	76,682
20	P.S.5-FA30SF10	21,912	25,348	33,600	44,079	54,855
21	P.S.7-FA30SF10	13,258	19,748	21,594	28,000	36,909
22	P.S.3-FA30SF20	31,415	43,633	53,412	65,333	77,191
23	P.S.5-FA30SF20	19,112	23,058	29,803	40,176	59,564
24	P.S.7-FA30SF20	9,970	15,145	23,588	32,115	33,727
25	P.S.3-FA50SF0	32,730	39,794	50,145	59,182	61,982
26	P.S.5-FA50SF0	15,421	22,442	29,803	39,667	47,536
27	P.S.7-FA50SF0	10,458	13,152	16,885	34,703	42,085
28	P.S.3-FA50SF10	31,648	37,545	44,142	49,700	61,091
29	P.S.5-FA50SF10	18,539	22,782	27,830	38,479	45,861
30	P.S.7-FA50SF10	10,436	13,194	18,370	30,800	40,388
31	P.S.3-FA50SF20	25,624	38,945	44,630	52,627	70,339
32	P.S.5-FA50SF20	18,667	27,045	32,900	37,164	45,818
33	P.S.7-FA50SF20	11,264	14,467	19,939	23,779	27,427

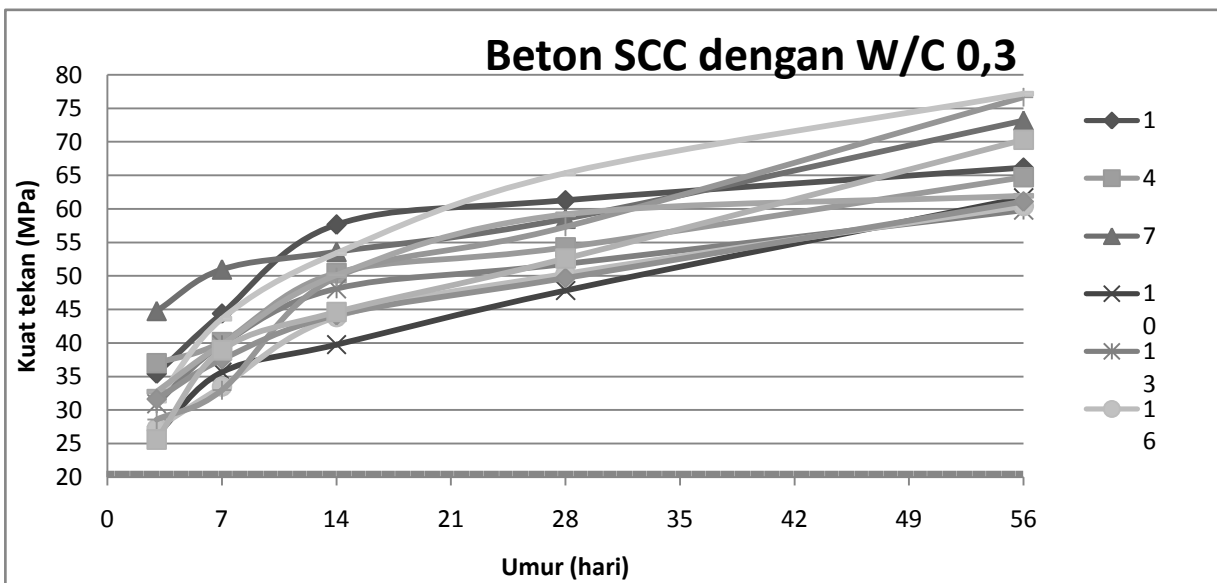
Gambar 7 di bawah. Gambar boxplot adalah Gambar untuk menjabarkan data secara gambar yang memuat informasi sebaran pemusatan data. Di dalamnya dapat menggambarkan batas atas, tengah dan batas bawah sebaran data, yang menggambarkan nilai maksimum, minimum dan median dari sebaran data tersebut. Pada Gambar 7 tersebut tampak jelas pergerakan peningkatan data kuat tekan hasil percobaan selama rentang waktu antara pengukuran pada hari ke-3 sampai hasil pengukuran hari ke-56.

Regresi Komponen Utama

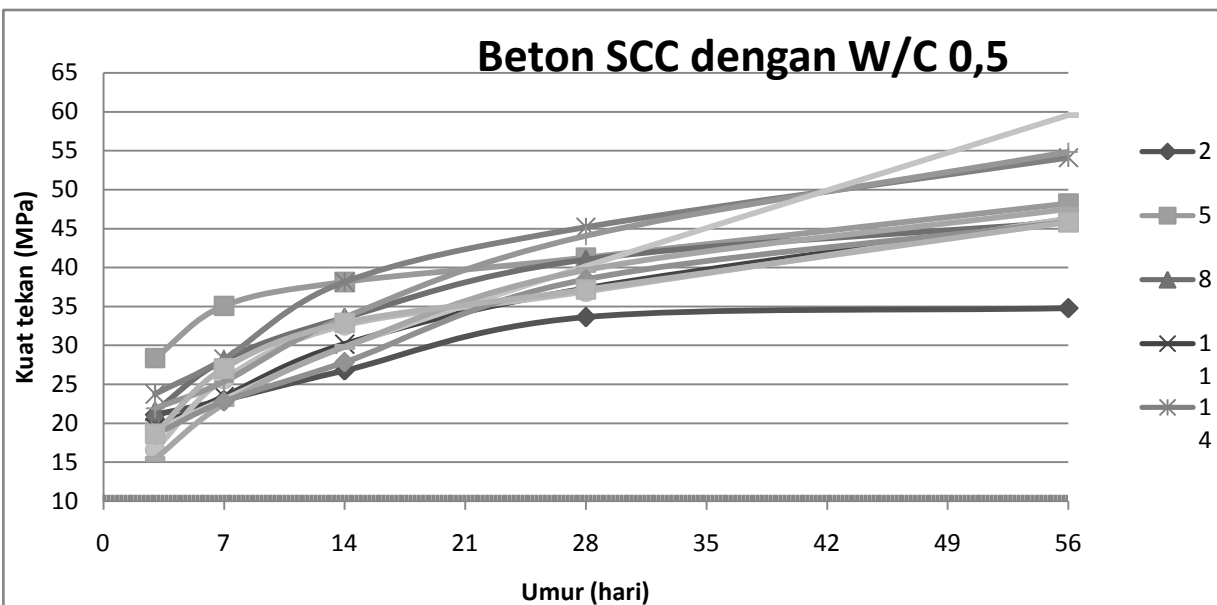
Variabel prediktor yang digunakan adalah semen, air, pasir, silica fume, fly ash, ironslag dan viscopcrete. Ketujuh variabel prediktor ini digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton untuk pengukuran mulai 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 56 hari. Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan analisa

korelasi antar variabel dalam penelitian; variabel respon dan prediktor

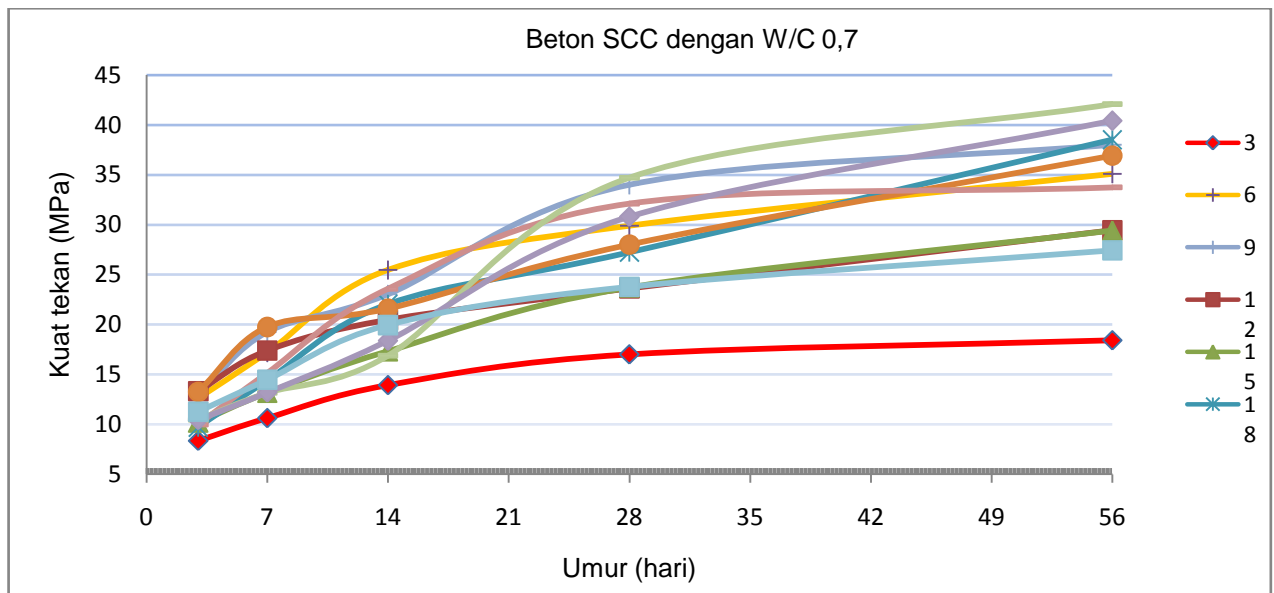
Berdasarkan hasil analisa korelasi yang ditunjukkan Tabel 15, bahwa variabel prediktor semen pasir, batu pecah memiliki korelasi yang kuat dengan kuat tekan beton pada berbagai pengukuran hari dengan nilai pada kisaran 0.8. Variabel prediktor viscopcrete juga signifikan memiliki korelasi dengan variabel respon meski berada pada kisaran nilai 0.5. Sisa variabel yang lain tidak memiliki hubungan yang kuat dengan variabel responnya. Korelasi sebagai tolak ukur hubungan antar variabel prediktor ditunjukkan oleh tabel di atas. Antar variabel prediktor memiliki korelasi yang kuat. Seperti variabel semen memiliki nilai korelasi besar pasir dan batu pecah. Air berkorelasi kuat dengan silica fume dan fly ash. Batu pecah berkorelasi kuat dengan semua variabel yang lain, kecuali hanya dengan variabel air. Sedemikian hingga sampai variabel viscopcrete



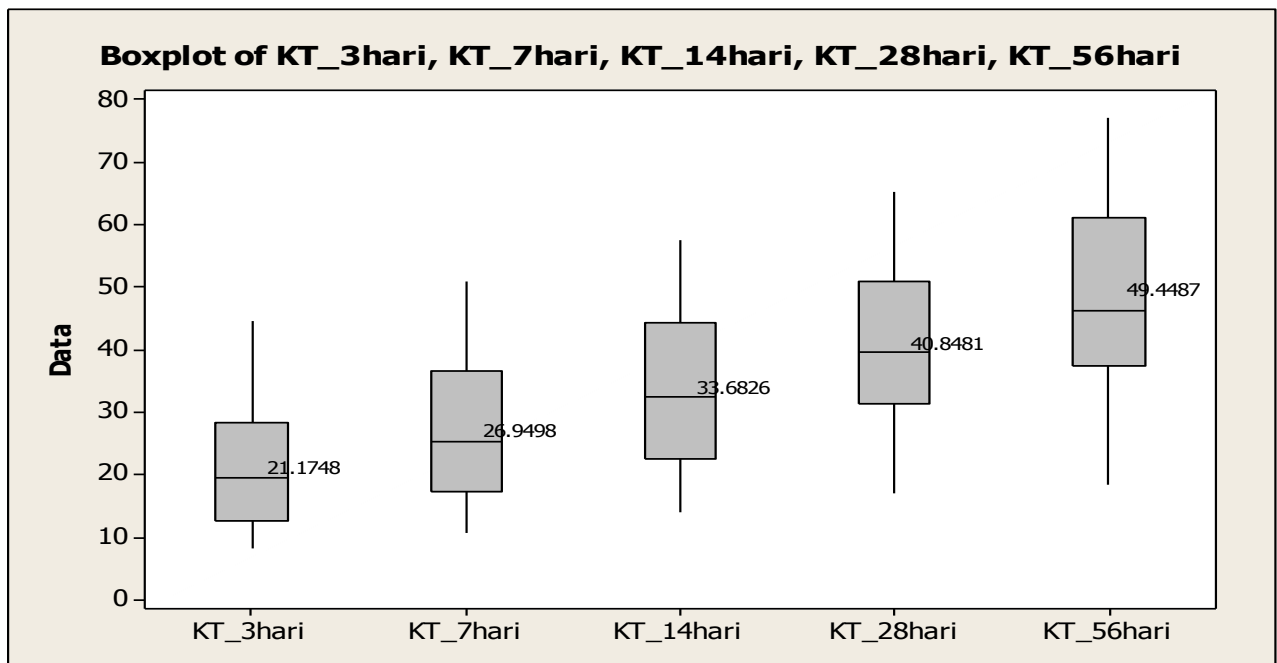
Gambar 4. Kuat Tekan Beton “Self Compacting” W/C 0,3



Gambar 5. Kuat Tekan Beton “Self Compacting” W/C 0,5



Gambar 6. Kuat Tekan Beton "Self Compacting" W/C 0,7



Gambar 7. Boxplot Data Pengukuran Kuat

berkorelasi kuat dengan semua variabel kecuali dengan semen dan ironslag. Hasil ini mengindikasikan adanya dugaan multicolinearitas. Keadaan ini memungkinkan analisa model regresi linear berganda akan bias estimasi parameternya.

Adanya kasus multico ini menyebabkan model regresi yang dihasilkan dengan analisa regresi berganda tidak tepat. Maka aka dilakukan analisa regresi komponen utama (PCR) untuk menjadi solusi adanya kasus multico tersebut. Langkah pertama adalah mendapatkan nilai eigen/komponen yang merupakan representasi varians yang menunjukkan besarnya variasi yang dapat dijelaskan oleh terbentuknya komponen. Jumlah kumulatif nilai eigen/komponen yang dihasilkan harus sama dengan jumlah total variabel yang dimasukkan dalam model (tujuh variabel). Dari ketujuh nilai eigen diambil nilai eigen yang memiliki nilai lebih

besar dari 1, yang mengindikasikan terbentuk dari beberapa variabel prediktor asal yang saling berkorelasi. Sehingga variabel-variabel tersebut akan direpresentasikan oleh variabel baru yang didasarkan pada nilai eigen tersebut. Representasi ini diwujudkan dengan persamaan baru yang saling independen variabel prediktornya. faktor yang merupakan persamaan yang mengandung eigen vektor sebagai hasil kombinasi linear variabel komponen utama yang tidak berkorelasi/saling independen.

Hasil analisa komponen utama berdasarkan Tabel 16 di atas menunjukkan dari tujuh variabel prediktor direduksi dimensinya menjadi 2 dimensi. Didasarkan pada jumlah komponen utama yang bernilai lebih besar 1, yakni komponen pertama 3.909 dan komponen kedua 2.369. Kedua komponen ini mampu merepresentasikan 78.479% variasi data dari tujuh variabel prediktor asal.

Komponen pertama yang merepresentasikan 44.26% variasi merupakan gabungan dari variabel prediktor asal air, pasir, silica fume, fly ash dan viscocrete. Sedangkan komponen kedua gabungan variabel semen, batu pecah, dan ironslag. Daftar pembagian didasarkan pada korelasi paling besar antara komponen hasil dengan variabel prediktor asal.

Dari Tabel 17 akan didapatkan persamaan baru yang sudah independen antar variabel prediktor berdasarkan nilai koefisien matrik komponen.

Komponen 1 = $-0.069 \text{ semen} - 0.287 \text{ air} - 0.157 \text{ pasir} - 0.088 \text{ batupecah} + 0.213 \text{ silicafume} + 0.273 \text{ flyash} + 0.121 \text{ ironslag} + 0.205 \text{ viscocrete}$

Komponen 2 = $-0.361 \text{ semen} - 0.210 \text{ air} + 0.202 \text{ pasir} + 0.290 \text{ batupecah} + 0.053 \text{ silicafume} + 0.054 \text{ flyash} + 0.266 \text{ ironslag} - 0.075 \text{ viscocrete}$

Kedua persamaan diatas digunakan untuk menghitung nilai dua variabel baru yang terbentuk dengan memasukkan nilai asal ketujuh variabel prediktor asal. Hasil nilai kedua variabel tersebut yang menjadi

variabel prediktor baru untuk analisa regresi dengan variabel respon tetap kuat tekan beton. Inilah langkah kedua dalam regresi komponen utama.

Persamaan regresi komponen utama antara variabel respon dengan komponen, yang mana seluruhnya dalam satuan kilogram adalah sebagai berikut:

Kuat Tekan 3 hari = $21.175 + 1.818 \text{ komponen1} - 8.038 \text{ komponen2}$. Kemudian model regresi dengan memasukkan variabel prediktor asal ke dalam komponen

Kuat Tekan 3 hari = $21.175 + 1.818 (-0.069 \text{ semen} - 0.287 \text{ air} - 0.157 \text{ pasir} - 0.088 \text{ batupecah} + 0.213 \text{ silicafume} + 0.273 \text{ flyash} + 0.121 \text{ ironslag} + 0.205 \text{ viscocrete}) - 8.038 (-0.361 \text{ semen} - 0.210 \text{ air} + 0.202 \text{ pasir} + 0.290 \text{ batupecah} + 0.053 \text{ silicafume} + 0.054 \text{ flyash} + 0.266 \text{ ironslag} - 0.075 \text{ viscocrete})$

Sehingga persamaan regresi final untuk pengukuran kuat tekan 3 hari adalah

Kuat Tekan 3 hari = $21.175 + 2.776276 \text{ semen} + 1.166214 \text{ air} - 1.9091 \text{ pasir} - 2.491 \text{ batupecah} - 0.03878 \text{ silicafume} + 0.062262 \text{ flyash} - 1.91813 \text{ ironslag} +$

Tabel 14. Deskriptif Pengukuran Kuat Tekan Beton

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
KT_3hari	33	8.36	44.80	21.1749	9.45816
KT_7hari	33	10.63	50.97	26.9498	10.92024
KT_14hari	33	13.94	57.66	33.6825	12.52688
KT_28hari	33	17.01	65.33	40.8481	12.38409
KT_56hari	33	18.41	77.19	49.4487	15.18232

Tabel 15. Analisa Korelasi antar Variabel

	3 HARI	7 HARI	14 HARI	28 HARI	56 HARI
SEMEN	.903**	.891**	.897**	.830**	.785**
AIR	.000	.000	.000	.000	.000
PASIR	.183	.117	.092	-.043	-.120
BATUPECAH	.307	.518	.610	.812	.505
SILICAFUME	-.782**	-.819**	-.830**	-.854**	-.866**
FLYASH	.000	.000	.000	.000	.000
IRONSLAG	-.808**	-.828**	-.840**	-.835**	-.800**
VISCOCRETE	.000	.000	.000	.000	.000
	.075	.180	.171	.203	.299
	.676	.316	.340	.258	.091
	.164	.225	.252	.350*	.376*
	.361	.209	.158	.046	.031
	-.279	-.247	-.253	-.189	-.080
	.116	.165	.155	.293	.657
	.420*	.460**	.522**	.583**	.641**
	.015	.007	.002	.000	.000

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tabel 16. Analisa Komponen Utama

Total Variance Explained						
Component	Initial Eigen values			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	3.909	48.860	48.860	3.538	44.226	44.226
2	2.369	29.619	78.479	2.740	34.253	78.479
3	.766	9.570	88.048			
4	.536	6.700	94.749			
5	.338	4.228	98.976			
6	.071	.893	99.870			
7	.010	.130	100.000			
8	6,14E-07	7,68E-06	100.000			

Tabel 17. Matriks Komponen 1 dan 2

Rotated Component Matrix ^a	Componen Score				
	Coefficient Matrix				
	Component		Component		
	1	2		1	2
SEMEN	-0.006	-.945	SEMEN	-0.069	-.361
AIR	-.876	-.387	AIR	-.287	-.210
PASIR	-.687	.657	PASIR	-.157	.202
BATUPECAH	-.502	.853	BATUPECAH	-.088	.290
SILICAFUME	.720	.006	SILICAFUME	.213	.053
FLYASH	.930	-.031	FLYASH	.273	.054
IRONSLAG	.253	.650	IRONSLAG	.121	.266
VISCOCRETE	.774	-.339	VISCOCRETE	.205	-.075

Tabel 18. Regresi Komponen Utama

KUAT TEKAN	3 HARI (SIG. 5%)	7 HARI (SIG. 5%)	14 HARI (SIG. 5%)	28 HARI (SIG. 5%)	56 HARI (SIG. 5%)
MODEL SERENTAK					
F HITUNG	47.279	48.339	56.776	45.083	37.29
SIGINIFIKAN	sig.	sig.	sig.	sig.	sig.
MODEL PARSIAL					
(Constant)	21.175 (Sig.)	26.95 (Sig.)	33.683 (Sig.)	40.848 (Sig.)	49.449 (Sig.)
komponen 1	1.818 (Sig.)	2.954 (Sig.)	3.724 (Sig.)	4.926 (Sig.)	7.207 (Sig.)
komponen 2	-8.038 (Sig.)	-9.071 (Sig.)	-10.5 (Sig.)	-9.53 (Sig.)	-10.604 (Sig.)
DIAGNOSA MODEL					
R ²	75.9%	76.3%	79.1%	75%	71.3%
Adj R ²	74.3%	74.7%	77.7%	73.4%	69.4%
Normal error	terpenuhi	terpenuhi	terpenuhi	terpenuhi	terpenuhi
Identik error	terpenuhi	terpenuhi	terpenuhi	terpenuhi	terpenuhi
Indep. Error	terpenuhi	terpenuhi	terpenuhi	terpenuhi	terpenuhi

0.97554 viscocrete

Dengan cara yang sama didapatkan persamaan regresi pengukuran hari selanjutnya yang lain Didapatkan Perumusan untuk kuat tekan 28 hari yaitu:

Kuat Tekan 28 hari = 40.838 + 3.100395 semen +0.587366 air -2.69854 pasir -3.19724 batupecah +0.544276 silicafume + 0.830342 flyash -1.93886 ironslag + 1.724703 viscocrete

Analisa Harga

Harga komposisi terbesar berasal dari komposisi 31 yaitu sebesar Rp1.991.050,61 dimana komposisi 31 adalah campuran material dengan W/C 0,3, iron slag, 50% fly ash, dan 20% silica fume, sedangkan harga yang terendah adalah komposisi 9 yaitu sebesar Rp529.747,75 yaitu campuran material dengan W/C 0,7, iron slag, 10% fly ash, dan 0% silica fume, tetapi dengan kuat tekan yang terbesar yaitu 65,33 Mpa kita mendapatkan harga Rp1.460.042,66, dimana harga tersebut masih dibawah harga tertinggi untuk semua komposisi yang sebesar Rp1.991.050,61, sedangkan untuk kuat tekan yang terkecil yaitu sebesar 17,012 Mpa kita mendapatkan harga senilai Rp537.005,00.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari paper ini :

- Penelitian ini mendapatkan hasil kuat tekan terbesar pada umur 28 hari adalah komposisi 22 yaitu sebesar

65,33 Mpa, begitu pula kuat tekan pada umur 56 hari yang terbesar berasal dari komposisi 22 yaitu sebesar 77,191 Mpa, komposisi 22 merupakan variasi campuran dimana terdapat material iron slag, water cement ratio (W/C) 0,3, Fly ash 30% dan Silika Fume 20%.

- Sedangkan kuat tekan terkecil pada umur 28 hari adalah sebesar 17,012 Mpa terdapat pada komposisi 3, dan kuat tekan terkecil pada umur beton 56 hari juga pada komposisi 3 yaitu sebesar 18,412 Mpa, komposisi 3 merupakan variasi campuran beton “self compacting” dimana tidak ada material iron slag, water cement ratio (W/C) 0,7, Fly ash 0% dan Silika Fume 0%.
- Didapatkan perumusan untuk mendapatkan kuat tekan pada umur beton 28 hari yaitu dengan rumusan sebagai berikut:
- Kuat Tekan 28 hari = 40.838 + 3.100395 semen +0.587366 air -2.69854 pasir -3.19724 batupecah +0.544276 silicafume + 0.830342 flyash -1.93886 ironslag + 1.724703 viscocrete (dalam satuan kg)
- Didapatkan Analisa harga bahwa harga komposisi terbesar berasal dari komposisi 31 yaitu sebesar Rp1.991.050,61 dimana komposisi 31 adalah campuran material dengan W/C 0,3, iron slag, 50% fly ash, dan 20% silica fume, sedangkan harga yang terendah adalah komposisi 9 yaitu sebesar Rp529.747,75 yaitu campuran material dengan W/C 0,7, iron slag, 10% fly ash, dan 0% silica fume, tetapi

dengan kuat tekan yang terbesar yaitu 65,33 Mpa kita mendapatkan harga Rp1.460.042,66, dimana harga tersebut masih dibawah harga tertinggi untuk semua komposisi yang sebesar Rp1.991.050,61, sedangkan untuk kuat tekan yang terkecil yaitu sebesar 17,012 Mpa kita mendapatkan harga senilai Rp537.005,00.

- Saran dari penulis
- Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa pada kuat tekan umur 56 hari terdapat peningkatan yang cukup signifikan, sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat diteliti lagi untuk kuat tekan umur 91 hari
- Untuk mendapatkan regresi yang lebih sempurna diharapkan penelitian selanjutnya agar lebih banyak komposisi yang dibuat mix designnya termasuk dengan persentase tiap komposisi agar lebih variatif dan rapat secara konstan.

REFERENSI

1. Handoko S., Hadi Kusuma G., (2001), "*Penggunaan Fly Ash dan Viscocrete pada Self Compacting Concrete*"
2. Subakti, A., "Mixed Design Beton Normal dengan Metode DOE & ACI"
3. Subakti, A. (1995), *Teknologi Beton Dalam Praktek*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
4. Alfizon (1999), "*Pengaruh Agregat Slag terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton yang memakai Campuran Fly Ash*"
5. Agusyana, Y. (2011), "Olah Data Skripsi dan Penelitian dengan SPSS 19"
6. Douglas M. & a. Peck J.W and son, Inc (1992) 2nd edition, "Introduction to linear regression analysis"
7. Ferry Andrian, M. (1996), "Sifat-sifat fisik dan Mekanik dengan Pemakaian Fly Ash dan Silika Fume pada Beton Mutu Tinggi"
8. Handoko S., . Gunawan T., Muntu Y., (2006), "Penelitian Mengenai Peningkatan Kekuatan Awal Beton pada Self Compacting Concrete"
9. Hamka, A. (2008), "Sifat Fisik dan Mekanik Self Compacting Concrete (fc' 60 Mpa) campuran Fly Ash dengan Pemakaian Carboxylic sebagai Chemical Admixture"
10. Munifson, T. (2010), "Kinerja High Strength Of Self Compacting Concrete dengan Penambahan Hyperplasticizer dan Replacement Semen oleh Fly Ash dalam Jumlah Besar"
11. PT. Sika Indonesia (2010), Data Teknis"
12. Sadjji (1988), "Konstruksi Beton I (TS 1501) Khusus tentang Teknologi Beton"
13. The European Guidelines for Self Compacting Concrete (2005), pada <http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf>