

# PENGARUH PENAMBAHAN *SUPERPLASTICIZER* PADA BETON DENGAN LIMBAH TEMBAGA (*COPPER SLAG*) TERHADAP KUAT TEKAN BETON SESUAI UMURNYA

Muhammad Dzikri<sup>1)</sup>, M. Firmansyah S.,ST.,M.T.,M.Sc.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa S1 Teknik Sipil, <sup>2)</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

[arudzikri@gmail.com](mailto:arudzikri@gmail.com), [mochammadfirmansyah@unesa.ac.id](mailto:mochammadfirmansyah@unesa.ac.id)

## Abstrak

Limbah terak tembaga (*copper slag*) dari PT. Smelting Gresik dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti agregat halus dalam campuran beton. Pemanfaatan *copper slag* pada beton lebih tepat untuk menambah kuat tekan beton tetapi gradasi yang lebih besar daripada pasir serta *workability* yang sulit dapat menyebabkan beton menjadi *porus*, sehingga perlu diberi zat aditif berupa penambahan *superplasticizer* untuk mempermudah pengerjaan beton. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui peningkatan kuat tekan beton dan kemampuan *workability* dari penelitian beton dengan campuran *copper slag* dan penambahan *superplasticizer*. Penelitian ini direncanakan menggunakan *copper slag* sebagai substitusi agregat halus sebanyak 40% serta variasi penambahan *superplasticizer* "*sika viscocrete-1003*" 0,5% ; 1% ; 1,5% ; dan 2% dari berat pasta semen. Pengujian benda uji menggunakan silinder berdiameter 10 dan tinggi 20 cm serta dilakukan uji kuat tekan pada umur 14, 28, dan 56 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh penambahan *superplasticizer* sampai 1,5% (SP1,5%) dari keempat variabel di atas diperoleh hasil yang tertinggi pada karakteristik beton. Pengujian karakteristik beton terhadap kuat tekan menunjukkan peningkatan pada umur 14 hari ke umur 28 hari. Sedangkan pada umur 28 hari ke 56 hari masih mengalami peningkatan namun tidak terlalu signifikan. Pada umur 28 hari nilai berat per volume sebesar 2405,59 kg/m<sup>3</sup>, nilai kuat tekan beton 26,17 MPa pada umur 28 hari dan prosentase pencapaian kuat tekan pada umur 14 hari sebesar 86,47%. Untuk pengaruh penambahan *superplasticizer* yang terendah sampai 2% (SP2%) dari keempat variabel. Pada umur 28 hari nilai berat per volume sebesar 2348,84 kg/m<sup>3</sup>, nilai kuat tekan beton 17,81 MPa pada umur 28 hari dan prosentase pencapaian kuat tekan pada umur 14 hari sebesar 69,66%. Dengan mengetahui karakteristik beton tersebut dapat diketahui bahwa penggunaan penambahan *superplasticizer* yang paling optimum didapatkan sampai 1,5% dari berat *binder*.

Kata kunci : *superplasticizer*, *copper slag*, berat per volume, kuat tekan

## Abstract

*Copper slag waste from PT. Smelting Gresik can be used as a substitute for fine aggregate in concrete mix. The use of copper slag in concrete is more appropriate to increase the compressive strength of concrete but gradation greater than sand and difficult workability cause the concrete to be porous, so it needs to be given additive in the form of addition of superplasticizer to facilitate concrete workmanship. The purpose of this research is to know the improvement of concrete compressive strength and workability ability of concrete research with mixture of copper slag and addition of superplasticizer. This study is planned to use copper slag as a substitute for fine aggregate of 40% and a variation of superplasticizer addition of "sika viscocrete-1003" 0.5%; 1%; 1.5%; and 2% by weight of cement paste. Testing the test object using*

*The results showed that the effect of adding superplasticizer to 1.5% (SP1,5%) of the above four variables obtained the highest results on the characteristics of concrete. Testing of concrete characteristic to compressive strength showed improvement at 14 days to 28 days. While the age of 28 days to 56 days still increased but not too significant. At 28 days weight value per volume of 2405.59 kg / m<sup>3</sup>, concrete compressive strength value 26.17 MPa at age 28 day and percentage of compressive strength achievement at age 14 day equal to 86,47%. For the effect of adding superplasticizer the lowest to 2% (SP2%) of the four variables. At 28 days the weight value per volume was 2348,84 kg / m<sup>3</sup>, concrete compressive strength value 17,81 MPa at age 28 day and percentage of compressive strength achievement at age 14 day equal to 69,66%. By knowing the characteristics of the concrete can be seen that the use of superplasticizer addition of the most optimum obtained up to 1.5% of the weight of the binder.*

Keywords : *superplasticizer*, *copper slag*, weight per volume, compressive strength

## A. PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan yang paling banyak dipakai pada pembangunan dalam bidang teknik sipil,

baik pada bangunan gedung, jembatan, bendung, maupun konstruksi lainnya. Kelebihan beton digunakan sebagai bangunan adalah memiliki kuat

tekan yang besar. Semakin lama umur beton, semakin besar pula kuat tekan pada beton tersebut. Untuk memperoleh nilai kuat tekan pada beton mencapai 100%, standar kuat tekan beton ditetapkan pada waktu berumur 28 hari. Umur 28 hari berikutnya kuat tekan beton akan melambat, bahkan cenderung sangat kecil.

Kekuatan beton juga tidak lepas dari bahan penyusunnya. Secara sederhana, beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah atau kerikil). Untuk memperbaiki kualitas beton ditambahkan pula campuran bahan lain (*admixture*) (Asroni, Ali. 2010). Penggunaan material agregat kerikil dan pasir yang merupakan bahan penyusun utama beton sekitar 80%. Jika penambahannya tidak terkendali dan serampangan, akan menimbulkan degradasi lingkungan yang cukup besar (Basuki, Achmad. 2012).

Penggunaan material bekas atau limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah atau pengganti ditelusuri sebagai bahan alternatif pada campuran beton. Banyak penelitian yang sukses memanfaatkan limbah sebagai bahan material beton, salah satunya limbah terak tembaga (*copper slag*) digunakan sebagai pengganti pasir. PT. Smelting Gresik sebagai pabrik *smelter* tembaga menghasilkan limbah tembaga (*copper slag*) 530.000 ton per tahun yang belum dimanfaatkan seluruhnya. Limbah tembaga (*copper slag*) ini merupakan terak tembaga hasil peleburan tembaga yang berbentuk runcing (tajam) yang memiliki karakteristik hampir sama dengan pasir (D. Brindhya and S. Nagan, 2010). Hasil Penelitian yang dilakukan oleh Maria Asunta Hana (2008) menunjukkan penggunaan *copper slag* sebesar 40% sebagai substitusi pasir dalam campuran beton memperoleh kuat tekan tertinggi dan mengalami peningkatan 3,9% dari kuat tekan beton normal. Namun beton dengan pemakaian *copper slag* cenderung mempunyai porositas lebih besar dari pasir (Heri Susanto, dkk. 2008).

Beton dengan *copper slag* menyebabkan porositas disebabkan *copper slag* sebagai agregat halus cenderung kasar dan berat. Apabila faktor air semen yang direncanakan pada *mix design* beton kecil, maka *workability* beton menjadi rendah sehingga solusinya adalah dengan menambahkan zat *additive* yang berfungsi memudahkan pengerjaan beton tetapi tetap menjaga nilai faktor air semen yang ditentukan yaitu menggunakan Sika Viscocrete 1003 sebagai *superplasticizer* (Katalog produk sika viscocrete-

1003). *Superplasticizer* secara fisik mampu membuat pasta bergerak lebih bebas mengisi pori-pori beton. Hal tersebut mengakibatkan porositas beton akan lebih kecil dan kepadatan beton akan meningkat sehingga kekuatan beton akan meningkat pula.

Penambahan *superplasticizer* memiliki pengaruh untuk mempertahankan faktor air semen yang telah direncanakan namun harus menyesuaikan dosis yang disarankan. Apabila dosis yang digunakan berlebihan akan menyebabkan beton mengalami *setting* yang lama dan bahkan bisa mengurangi kekuatan beton itu sendiri. Bahkan pada saat umur 28 hari, beton belum mencapai kekuatan maksimalnya.

Berdasarkan latar belakang diatas merumuskan bahwa dengan penambahan *superplasticizer* perlu diketahui apakah dengan penambahan tersebut akan terjadi peningkatan kuat tekan dari umur 14 hari, 28 hari hingga 56 hari, serta memperoleh komposisi optimum pada campuran beton.

Tujuan dari penelitian ini adalah pertama, untuk mengetahui karakteristik beton akibat dari pengaruh penambahan *superplasticizer* pada beton dengan *copper slag* dan yang kedua, untuk mengetahui komposisi optimum penambahan *superplasticizer* pada beton dengan *copper slag* sebagai substitusi sebagian pasir.

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah pertama, mampu memanfaatkan limbah tembaga (*copper slag*) sebagai bahan material penyusun beton dan yang kedua, menambah ilmu baru tentang manfaat penggunaan penambahan *superplasticizer* dalam karakteristik beton.

Penelitian ini memiliki batasan masalah diantaranya adalah 1) mutu beton yang direncanakan yaitu  $f'c = 25$  MPa, 2) benda uji menggunakan silinder diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, 3) umur beton ditinjau dari umur 14 hari, 28 hari, dan 56 hari, 4) penggunaan *copper slag* sebanyak 40% dari berat pasir, 5) Faktor air semen direncanakan sebesar 0,42, serta 6) *superplasticizer* menggunakan sika viscocrete-1003 dengan kadar 0,5%;1%;1,5%; dan 2% dari berat *binder* (pasta semen).

## B. KAJIAN PUSTAKA

### 1. Terak tembaga (*Copper slag*)

Terak tembaga (*copper slag*) adalah hasil peleburan dan pemurnian tembaga yang berbentuk pipih dan runcing (tajam) serta sebagian besar mengandung oksida besi dan

silika. Karakteristik *copper slag* mempunyai sifat kimia yang stabil dan sifat fisik yang sama dengan pasir (D. Brindha dan S. Nagan,2010). Terak tembaga (*copper slag*) diproduksi oleh pabrik tembaga di Indonesia, khususnya di Kabupaten Gresik, Jawa Timur yang memiliki pabrik pengolahan tembaga yaitu PT. Smelting Gresik dimana dalam setahun menghasilkan 530.000 ton. Limbah terak tembaga (*copper slag*) dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan pengganti sebagian campuran beton seperti semen dan pasir. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh D. Brindha dan S. Nagan mengatakan bahwa *copper slag* dapat digunakan sebagai pengganti sebagian pasir dalam campuran beton dengan campuran optimum sebesar 40% dari volume pasir.

## 2. Superplasticizer

*Superplasticizer* merupakan bahan tambah pencampur beton (*admixture*) yang ditambahkan saat pengadukan dan atau saat pelaksanaan pengecoran (*placing*) untuk memperbaiki kinerja kekuatannya. *Superplasticizer* termasuk bahan tambahan tipe F “*Water Reducing, High Range Admixtures*”.

Prinsip mekanisme kerja dari *superplasticizer* secara umum yaitu partikel semen dalam air cenderung untuk berkoheisi satu sama lainnya dan partikel semen akan menggumpal (flokulasi). Penambahan *superplasticizer* mengakibatkan partikel semen ini akan saling melepaskan diri dan terdispersi (menolak). Fenomena dispersi partikel semen dengan penambahan *superplasticizer* dapat menurunkan viskositas pasta semen sehingga pasta semen lebih fluid/alir. Dosis yang digunakan tergantung dari dosis yang disarankan oleh pembuat *superplasticizer*. Pemberian dosis yang berlebihan akan menyebabkan penundaan *setting* yang lama hingga beton justru kehilangan kekuatan akhir (Paul Nugraha. Antoni, 2007). Berdasarkan katalog PT. Sika Indonesia, karakteristik *superplasticizer* “sika viscocrete-1003” adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Katalog Sika viscocrete-1003

No	Data Produk	Keterangan
1	Tipe	cairan <i>polycarboxylate copolimers</i>
2	Penampilan	Kecoklatan
3	Berat Jenis	1.065 ±0.01 kg/liter
4	Dosis	0,6% - 1,6% dari berat <i>binder</i>

## 3. Umur Beton

Mutu beton meningkat seiring berjalannya waktu. Laju kenaikan umur beton juga sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya. Yang paling utama adalah penggunaan bahan semen, karena semen cenderung secara langsung memperbaiki kinerja tekannya. Itu disebabkan karena proses hidrasi yang terjadi pada semen (Mulyono, Tri. 2004).

Tjokrodinuljo (2007) mengatakan kuat tekan akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksud umur disini adalah dihitung sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat tekan beton mula-mula cepat, namun lama-lama laju kenaikan itu akan semakin lambat dan akan relatif menjadi sangat kecil setelah berumur 28 hari. Secara umum, kekuatan beton tidak naik lagi setelah berumur 28 hari. Rasio kuat tekan beton terhadap berbagai umur sebagai berikut:

Tabel 2. Rasio kuat tekan beton terhadap umur beton

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen portland biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen portland dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

Sumber : Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971

## 4. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah perbandingan antara tingkatan beban yang diberikan dengan luas penampang. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui SNI-1974-2011 tentang cara uji kuat tekan dengan benda uji silinder. Pengujian menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu dengan benda uji berupa silinder berdiameter 100 mm tinggi 200 mm. Selanjutnya benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai pecah. Beban tekan maksimum sampai benda uji pecah di bagi dengan luas penampang benda uji merupakan nilai kuat tekan beton yang dinyatakan dalam MPa

atau  $\text{kg/cm}^2$ . Formula yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana  $\sigma$  = kuat tekan silinder ( $\text{N/mm}^2$  atau MPa)

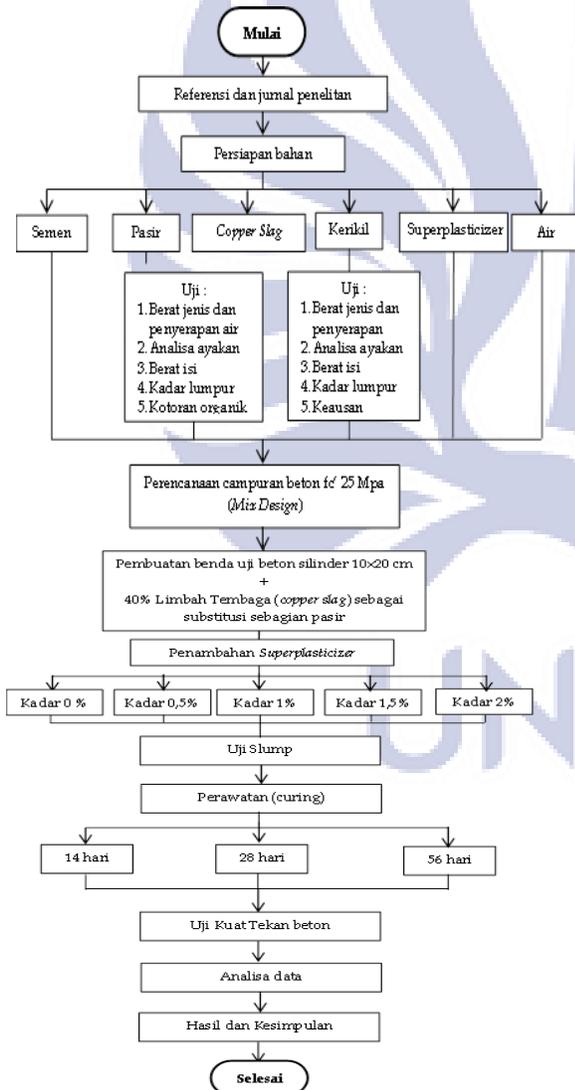
P = gaya tekan maksimum (N)

A = luas penampang benda uji ( $\text{mm}^2$ )

### C. METODE PENELITIAN

#### 1. Jenis dan rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah metode berpendekatan kuantitatif. Metode kuantitatif akan digunakan dalam mengolah data mentah yang dihasilkan dari pengujian. Adapun tahapan-tahapan penelitian terdapat pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 2. Flowchart penelitian

#### 2. Variabel Penelitian

Variabel adalah objek penelitian yang memberikan pengaruh. Variabel dalam penelitian ada 3 (dua) yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Berikut variabel-variabel yang akan digunakan pada penelitian :

##### a. Variabel bebas

Penambahan superplasticizer “Sika Viscocrete 1003” dengan variasi 0.5%, 1%, 1.5%, dan 2% dari berat binder (pasta semen).

##### b. Variabel terikat

Pengujian kuat tekan beton pada umur 14, 28, dan 56 hari.

##### c. Variabel kontrol

Menggunakan campuran 40% terak tembaga (*copper slag*) sebagai substitusi sebagian agregat halus/pasir dan beton menggunakan faktor air semen (FAS) 0,42 dengan kadar air bebas sebesar  $160 \text{ kg/m}^3$ .

Variabel penelitian pada tiap pengujian telah digambarkan pada Tabel 3

Tabel 3. Rencana Penelitian

	Super plasticizer	Copper Slag	Umur beton	Kuat Tekan
Mutu Beton			14 hari	3 benda uji
	Kontrol	40%	28 hari	3 benda uji
			56 hari	3 benda uji
			14 hari	3 benda uji
	0.5%	40%	28 hari	3 benda uji
			56 hari	3 benda uji
			14 hari	3 benda uji
	1%	40%	28 hari	3 benda uji
			56 hari	3 benda uji
			14 hari	3 benda uji
	1.5%	40%	28 hari	3 benda uji
			56 hari	3 benda uji
			14 hari	3 benda uji
	2%	40%	28 hari	3 benda uji
			56 hari	3 benda uji

Total benda uji silinder  $d=10 \text{ cm}, t=20 \text{ cm}$  sebagai penelitian ini berjumlah 45 buah benda uji.

#### 3. Pengujian material beton

- Agregat halus (pasir dan *copper slag*) meliputi : Uji analisa ayakan pasir, uji berat jenis dan penyerapan, uji berat isi, uji kadar lumpur, serta uji kandungan kotoran organik.
- Agregat kasar meliputi: Uji analisa ayakan kerikil, uji berat jenis dan penyerapan, uji berat isi, uji kadar lumpur, dan uji keausan kerikil.

- c. Pengujian *X-Ray Fluorescence (XRF)* meliputi: XRF pasir lumajang dan XRF *copper slag*.

#### 4. Perencanaan campuran beton (*mix design*)

Perencanaan campuran beton menggunakan standar SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Dalam penelitian ini direncanakan menggunakan kuat rencana  $f'c$  25 MPa atau K-300. Perencanaan *mix design* menggunakan faktor air semen (fas) 0,42 dengan kadar air bebas minimum yaitu 160 kg/m<sup>3</sup>.

Tabel 4. Komposisi material beton

	SEMEN	AIR	Agr. halus		KERIKIL	SUPERPLASTICIZER	
			60%PASIR	40%CS		variasi	kg
Kg/m <sup>3</sup>	380.95	160	537.04	358.03	1093.98		
+ 20%	457.14	192	644.5	429.6	1312.77	0.5%	2.7
						1%	5.4
						1.5%	8.1
						2%	10.8
Perbandingan	1	0.43	1.41	0.94	2.87		

#### Keterangan :

Penambahan 20% dari komposisi material sebagai *safety* akibat kehilangan

#### 5. Uji kuat tekan

Pengujian kuat tekan beton mengacu berdasarkan SNI 03-1974-1990 tentang metode pengujian kuat tekan beton. Pengujian dilakukan pada umur 14, 28, dan 56 hari. Instrument alat uji tekan menggunakan *hydraulic universal testing machine (UTM) "Kaiwei" model WE-600 B voltage 380V, 50 Hz Serial No. 360*.

### D. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Hasil Pengujian Material Beton

##### a. Agregat halus

Agregat halus pada penelitian terdiri dari 60% pasir lumajang dan 40% terak tembaga (*copper slag*). Berikut hasil pengujian kedua agregat halus:

Tabel 5. Pengujian karakteristik agregat halus

No	Uraian	Pasir Lumajang	Copper Slag	Standar SNI
1	Analisa Ayakan	Zona 2	Zona 2	-
2	Fineness Modulus	2,468	2,726	1,50 - 3,80
3	Berat jenis SSD	2,63 gr/cm <sup>3</sup>	3,47 gr/cm <sup>3</sup>	2,0 - 3,0 gr/cm <sup>3</sup>
4	Penyerapan	4,17 %	0,81 %	< 5 %
5	Berat Isi	2,04 gr/cm <sup>3</sup>	1,76 gr/cm <sup>3</sup>	1,5 - 2,0 gr/cm <sup>3</sup>
6	Kadar Lumpur	2,46 %	4,17 %	< 5 %
7	Kadar Organik	Lebih bening	Lebih bening	Standart

Sumber : Hasil Uji karakteristik agregat halus

Hasil keseluruhan pengujian agregat halus menunjukkan bahwa *copper slag* dan pasir lumajang memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda sebagai agregat halus dan bisa digunakan sebagai material penyusun beton.

##### b. Agregat Kasar

Agregat kasar pada penelitian ini menggunakan kerikil dengan ukuran 10-20 mm. Berikut hasil pengujian agregat kasar :

Tabel 6. Pengujian karakteristik agregat kasar

No.	Uraian	Kerikil	Standart
1	Berat Jenis	2,63 gr/cm <sup>3</sup>	2,0 - 3,0 gr/cm <sup>3</sup>
2	Penyerapan Air	3,52%	< 5%
3	Analisa Ayakan	Ukuran 10 mm	-
4	Fineness Modulus	6,989	3,0 - 8,0
5	Berat isi	1,94 gr/cm <sup>3</sup>	1,0 - 2,0 gr/cm <sup>3</sup>
6	Kadar Lumpur	2,25%	< 1%
7	Keausan	31,9%	50%

##### c. Uji *X-Ray Fluorescence (XRF)*

Proses pengerasan beton dipengaruhi oleh kandungan kimia yang terkandung pada material penyusun beton. Pengujian *X-Ray Fluorescence (XRF)* bertujuan untuk mengetahui kandungan kimia pada material penyusun beton. Pengujian *XRF* dilakukan di Laboratorium uji Sentral Mineral dan Material FMIPA, Universitas Negeri Malang. Hasil uji *XRF copper slag* dan pasir lumajang dapat dilihat pada tabel 7 berikut:

Tabel 7. Pengujian XRF agregat halus

Unsur	Copper slag	Pasir lumajang
	Kadar (%)	Kadar (%)
Fe	74,97	44,1
Si	8,7	19,4
Ca	5,72	19,7
Pb	2,3	-
K	2,29	2,04
Cu	2,02	0,37
Al	-	6,9
Ni	1,02	1,39
Unsur lainnya	2,98	6,1

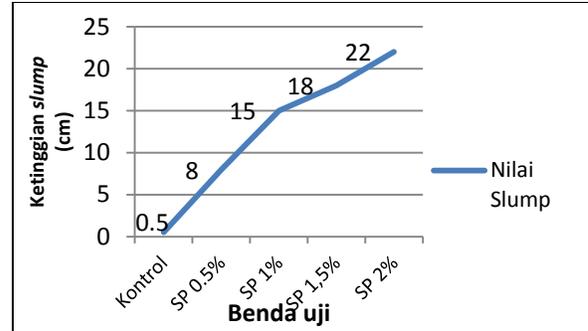
Hasil uji XRF antara *copper slag* dan pasir lumajang memiliki kandungan unsur yang paling dominan adalah unsur besi (Fe). Namun kadar Fe pada *copper slag* lebih besar daripada pasir lumajang. Hal ini membuktikan bahwa *copper slag* lebih berat daripada pasir lumajang sehingga *copper slag* cenderung turun ke bawah permukaan beton. Oleh karena itu, *copper slag* dilakukan substitusi sebagian agregat halus sebanyak 40% dari total kebutuhan pasir lumajang.

## 2. Hasil pengujian slump

Metode dan prosedur pengujian slump berdasarkan pada SNI 1972-2008. Penelitian slump ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) beton. Data pengujian slump berdasarkan variasi penambahan *superplasticizer* dapat dilihat pada tabel 8 dan gambar 3 berikut:

Tabel 8. Hasil uji slump

No	Benda Uji	Variasi Superplasticizer		Slump (cm)			
		%	ml	Slump			Diambil nilai
				1	2	3	
1	Kontrol	0	0	0,5	1	0,5	0,5
2	SP 0,5	0.5%	4	7	8	8	8
3	SP 1	1%	8	15	13	15	15
4	SP 1,5	1.5%	12	18	18	17	18
5	SP 2	2%	16	20	22	22	22



Gambar 3. Grafik hasil pengujian slump

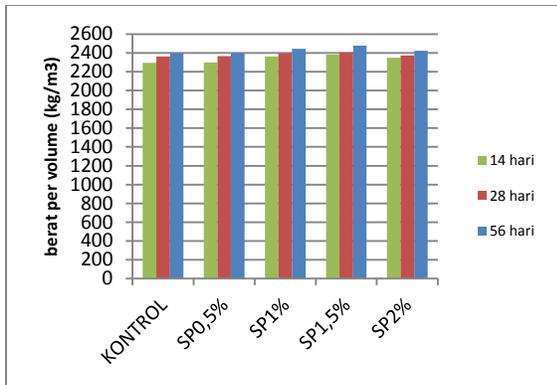
Hasil pengujian slump menunjukkan bahwa Semakin banyak penambahan *superplasticizer* semakin besar pula nilai slump yang diperoleh. Dengan begitu kelecakan beton akan sangat meningkat. Hal ini dikarenakan berdasarkan SNI 03-2495-1991 tentang bahan tambah (*admixture*), *Superplasticizer Sika Viscocrete-1003* termasuk jenis *admixture* type F “*High Range Water Reducer*” yang mampu memperbaiki *workability* beton.

## 3. Hasil pengaruh berat volume beton

Berat per volume (berat isi) beton adalah perbandingan antara berat beton dengan volume beton itu sendiri. Berat per volume (berat isi) beton berpengaruh pada kepadatan beton. Semakin besar nilai berat isi beton maka semakin padat beton tersebut sehingga porositas beton akan berkurang. Berikut data hasil rata-rata berat per volume (berat isi) beton pada umur 14, 28, dan 56 hari sebagai berikut :

Tabel 9. Hasil berat volume rata-rata beton

BETON	14 hari		28 hari		56 hari	
	berat per volume beton (kg/m <sup>3</sup> )	pening katan berat volume (%)	Berat per volume beton (kg/m <sup>3</sup> )	Pening katan Berat volume (%)	berat per volume beton (kg/m <sup>3</sup> )	pening katan berat volume (%)
NORMAL	2295.65		2363.39		2394.44	
SP0,5%	2296.74	0.05	2365.87	0.10	2398.42	0.17
SP1%	2363.54	2.96	2394.67	1.32	2443.47	2.05
SP1,5%	2383.19	3.81	2405.59	1.62	2476.01	3.41
SP2%	2348.84	2.23	2371.21	0.33	2423.22	1.20



Gambar 4. Grafik hasil pengujian slump

Berdasarkan **Tabel 9** diatas berat per volume (berat isi) beton pada umur 14, 28, dan 56 hari menunjukkan nilai terbesar pada beton dengan penambahan *superplasticizer* 1,5% (SP1,5%) yaitu  $2397,40 \text{ kg/m}^3$ ;  $2403,51 \text{ kg/m}^3$ ;  $2498,42 \text{ kg/m}^3$ . Hal ini sesuai dengan pernyataan Kardijono Tjokrodinuljo (2003) bahwa berat isi beton masih berada pada batas beton normal yaitu berkisar  $2200 \text{ kg/m}^3$  sampai dengan  $2500 \text{ kg/m}^3$ .

Penurunan terjadi pada beton dengan penambahan *superplasticizer* 2% (SP2%) setelah beton SP 1,5%. Hal ini diakibatkan dosis penggunaan *superplasticizer* sebanyak 2% dari berat *binder* (pasta semen) melebihi dosis yang disarankan sehingga mengakibatkan campuran beton menjadi *segregasi* (pemisahan agregat) dan *bleeding* (naiknya air ke permukaan). *Bleeding* pada pasta semen membawa material-material kecil dan ringan seperti pasir dan semen, terangkat naik dan keluar ke permukaan sehingga beton kehilangan berat isinya. Hal ini didukung oleh pernyataan Paul Nugraha dan Antoni (2007) pada buku Teknologi Beton bahwa kerugian penggunaan penambahan *superplasticizer* yang tidak dikontrol akan beresiko terjadinya *bleeding* dan *segregasi*.

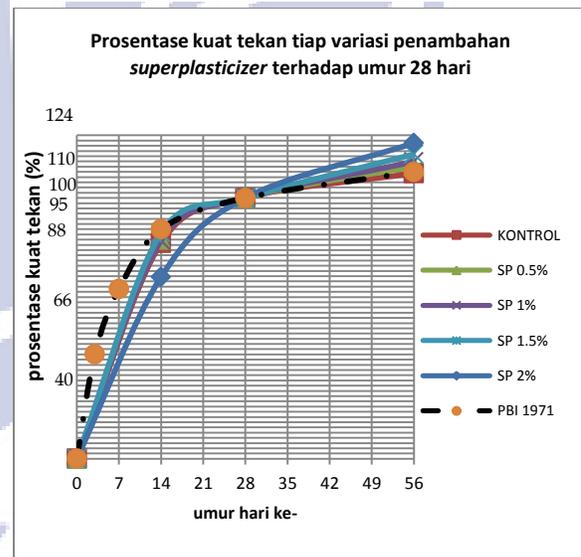
Hasil rata-rata berat per volume beton menunjukkan semakin lama umur benda uji, semakin besar nilai berat per volume (berat isi) beton. Hal ini terjadi karena pelepasan panas hidrasi pada reaksi semen. Ini sesuai dengan pernyataan Tri Mulyono (2004) bahwa semua jenis semen umumnya telah membebaskan sekitar 50% panas totalnya pada 1-3 hari pertama, 70% pada hari ketujuh, serta 83-91% setelah 6 bulan.

#### 4. Hasil peningkatan prosentase kuat tekan beton

Perhitungan prosentase kuat tekan terhadap umur beton pada 28 hari dilakukan untuk mengetahui seberapa besar percepatan proses pengerasan beton pada pencapaian kuat tekan sebelum maupun sesudah mencapai 100% (28 hari). Hasil prosentase kuat tekan rata-rata beton terhadap umur 28 hari pada tiap variasi penambahan *superplasticizer* disajikan pada **Tabel 10** berikut

Tabel 10. Hasil peningkatan prosentase kuat tekan beton

Beton	14 hari		28 hari		56 hari	
	kuat tekan (N/mm <sup>2</sup> )	rasio (%)	kuat tekan (N/mm <sup>2</sup> )	rasio (%)	kuat tekan (N/mm <sup>2</sup> )	rasio (%)
KONTROL	18.11	82.72	21.90	100	23.98	109.49
SP 0,5%	21.13	83.94	25.17	100	28.21	112.10
SP 1%	21.35	83.73	25.50	100	29.03	113.87
SP 1,5%	22.63	86.47	26.17	100	30.55	116.74
SP 2%	12.41	69.66	17.81	100	21.56	121.05



Gambar 4. Grafik hasil pengujian slump

Berdasarkan **Tabel 10** menjelaskan bahwa pada umur 14 hari, Penambahan *superplasticizer* sebanyak 1,5% dari berat *binder* (pasta semen) rasio kuat tekan beton terhadap umur beton pada umur 14 hari mengalami peningkatan secara signifikan dalam proses percepatan pengerasan beton. Pada SP2% mengalami mengalami penurunan prosentase pencapaian kuat tekan beton yaitu 69,66%. Hal ini dibuktikan sesuai penelitian yang dilakukan oleh

Antoni dan Handoko Sugiarto (2007) bahwa penggunaan dosis *superplasticizer* sebanyak 2% dari berat *binder* ini berlebihan sehingga mengakibatkan efek dispersi (tolak-menolak) yang sangat besar pada pasta semen, artinya reaksi kimia  $C_3S$  dan  $C_2S$  pada semen dan air saling melepaskan diri dan proses hidrasinya terhambat sehingga terjadi penundaan *setting time* yang lama dan mengakibatkan penurunan kekuatan awal yang besar. Dalam katalog *sika viscocrete-1003* dosis yang disarankan sebesar 0,6%-1,6% dari berat *binder* (pasta semen).

Hubungan prosentase kuat tekan beton umur 56 hari terhadap umur 28 hari pada tiap variasi penambahan *superplasticizer* mengalami peningkatan sampai dengan penambahan *superplasticizer* 2%. Hal ini menunjukkan seiring berjalannya waktu proses hidrasi semen akan berlangsung normal.

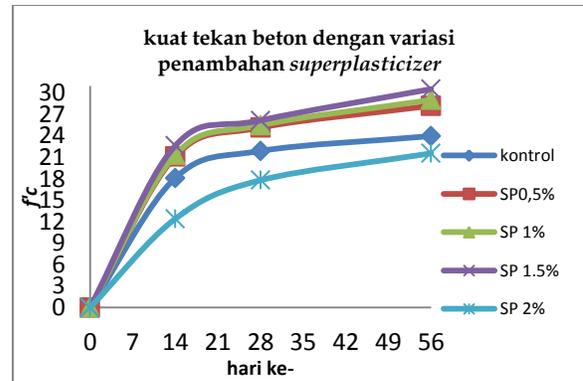
### 5. Hasil uji kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilakukan pada umur 14, 28, dan 56 hari. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh penambahan *superplasticizer* beton normal dengan *copper slag* sebagai substitusi sebagian pasir terhadap kuat tekan sesuai umurnya. Pada pengujian kuat tekan beton secara keseluruhan pada umur 14 hari, 28 hari, dan 56 hari akan disajikan pada **Tabel 11 dan Gambar 5** berikut :

Tabel 11. Hasil peningkatan prosentase kuat tekan beton

Beton	14 hari	28 hari	56 hari
	kuat tekan (N/mm <sup>2</sup> )	kuat tekan (N/mm <sup>2</sup> )	kuat tekan (N/mm <sup>2</sup> )
KONTROL	18.11	21.90	23.98
SP 0,5%	21.13	25.17	28.21
SP 1%	21.35	25.50	29.03
SP 1,5%	22.63	26.17	30.55
SP 2%	12.41	17.81	21.56

Berdasarkan **Tabel 11** data diatas menunjukkan bahwa seiring bertambahnya umur, terjadi peningkatan hasil kuat tekan hingga penambahan *superplasticizer* sampai 1,5%. Namun apabila penambahannya melebihi dari 1,5%, akan menurunkan nilai kuat tekan beton.



Gambar 5. Hasil kuat tekan rata-rata beton dengan variasi penambahan *superplasticizer*

Berdasarkan **Gambar 5** menunjukkan bahwa hasil kuat tekan tertinggi pada umur 14, 28, dan 56 hari diperoleh pada beton SP dengan penambahan *superplasticizer* 1,5% (SP1,5%) sebesar 22,63 N/mm<sup>2</sup>; 26,17 N/mm<sup>2</sup>; dan 30,55 N/mm<sup>2</sup>. Beton SP 1,5% telah memberikan *workability* yang lebih baik. Hal itu dibuktikan pada hasil uji *slump* dari 0 cm menjadi 18 cm serta berat per volume atau berat isi beton yang paling tinggi. *Workability* yang baik mengakibatkan kualitas beton menjadi meningkat dan beton menjadi lebih padat sehingga nilai kuat tekannya menjadi besar.

Sedangkan hasil kuat tekan terendah pada umur 14, 28, dan 56 hari diperoleh pada beton dengan penambahan *superplasticizer* 2% (SP2%) sebesar 12,41 N/mm<sup>2</sup>; 16,16 N/mm<sup>2</sup>; dan 21,56 N/mm<sup>2</sup>. Hal ini terjadi karena dosis yang berlebihan mengakibatkan pemisahan agregat (*segregasi*) dan naiknya air ke permukaan (*bleeding*) serta menimbulkan terjadinya *setting* yang lama sehingga menurunkan kekuatan atau mutu beton tersebut. Berdasarkan dosis yang disarankan oleh katalog *sika viscocrete-1003* penambahan *superplasticizer* menggunakan 0,6% - 1,6% dari berat *binder* (pasta semen). Hal ini dibuktikan oleh penelitian sebelumnya Antoni, Handoko Sugiarto (2007) bahwa penggunaan dosis *superplasticizer* yang berlebihan pada campuran beton akan mengalami perlambatan pada perkembangan kekuatannya, bahkan dimungkinkan juga kehilangan kuat tekan secara drastis. Penyebabnya adalah proses hidrasi dari partikel semen dapat terhambat karena permukaan partikel semen yang seharusnya bereaksi dengan air terselubungi oleh *superplasticizer* sehingga tidak dapat menyatu dengan air.

## E. KESIMPULAN

1. Beberapa pengaruh penambahan *superplasticizer* pada beton dengan limbah tembaga (*copper slag*) sebagai substitusi sebagian pasir ditinjau dari umur 14, 28 dan 56 hari, yaitu:
  - a. Seiring dengan bertambahnya umur beton, berat per volume beton dengan penambahan *superplasticizer* sampai 1,5% dari berat *binder* (pasta semen) mengalami peningkatan akibat meningkatnya kepadatan beton. Namun penambahan *superplasticizer* melebihi 1,5% mengalami penurunan akibat kehilangan material-material yang ringan disebabkan terjadi *segregasi* dan *bleeding*.
  - b. Pengaruh percepatan proses pengerasan beton dengan penambahan *superplasticizer* hingga sampai 1,5% dari berat *binder* pada prosentase kuat tekan umur 14 hari mengalami proses pengerasan yang lebih cepat daripada beton kontrol (BK). Namun penambahan *superplasticizer* sebanyak 2% mengakibatkan proses pengerasan beton menjadi lambat akibat *superplasticizer* menghambat proses panas hidrasi pada semen sebagai bahan pengikat material beton. Pada umur 56 hari percepatan proses pengerasan beton dengan penambahan *superplasticizer* mengalami peningkatan proses pengerasan beton sampai 2%.
  - c. Seiring bertambahnya umur, peningkatan hasil kuat tekan didapatkan pada penambahan *superplasticizer* sampai 1,5% dari berat *binder*. Namun penambahan *superplasticizer* melebihi 1,5% semakin menurunkan kuat tekan beton.
2. Hasil kuat tekan optimum didapatkan pada variasi penambahan *superplasticizer* 1,5% (SP1,5%). Pada umur 14 hari didapatkan nilai sebesar 22,63 MPa, untuk umur 28 hari didapatkan nilai sebesar 26,17 MPa, serta umur 56 hari didapatkan nilai sebesar 30,55 MPa. Komposisi optimum penambahan *superplasticizer* didapatkan pada 1,5% dari berat *binder* (pasta semen).

## DAFTAR PUSTAKA

- Antoni, Handoko Sugiarto. 2007. “*Kompabilitas antara Superplasticizer tipe Polycarboxylate dan Naphthalene dengan Semen Lokal*”. Yogyakarta. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Brindha, D. and Nagan S. 2011. “*Durability Studies on Copper Slag Admixed Concrete*”. *Asian Journal of Civil Engineering*, Vol. 12, No. 05, pp.563-578.
- Hana Asunta Maria, Siswadi. 2008. “*Studi Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas dengan Agregat Halus Copper Slag*”. Yogyakarta. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Sutikno, 2006. “*Pedoman Pelaksanaan Praktikum Beton UNESA*”. Surabaya. Unesa Press.
- Susanto Heri. dkk. 2008. “*Penggunaan Copper Slag Sebagai Alternatif Agregat Halus dan Meningkatkan Kuat Tarik pada Beton*”. Surabaya. Jurnal penelitian Universitas Dr. Soetomo.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 2006. “*Teknologi Beton*”. Yogyakarta. Biro Penerbit Teknik Sipil UGM
- Nugraha, Paul dan Antoni. 2007. “*Teknologi Beton dari Material, Pembuatan ke Beton Kinerja Tinggi*”. Yogyakarta. Andi Offset
- Mulyono, Tri. 2004. “*Teknologi Beton*”. Yogyakarta. Penerbit ANDI
- Anonim, 2011. SNI-1974-2011 ; “*Cara Uji Kuat Tekan dengan Benda Uji Silinder*” . Departemen Pekerjaan Umum dan Bahan Penelitian dan Pengembangan Pemukiman.
- Anonim, 2000. SNI-03-2834-2000 ; “*Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*” . Departemen Pekerjaan Umum dan Bahan Penelitian dan Pengembangan Pemukiman.