

Pengaruh Faktor Air Semen Pada Beton yang Menggunakan Fly Ash dan Copper Slag

Dewi Pertiwi¹, Ferdian Adhitia Ananda²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Email: ¹dewipertiwi@itats.ac.id, ²ferdianadhitia@gmail.com

Abstract

Smelting Company Gresik's produces copper slag waste. Copper slag waste has several advantages including increasing compressive strength concrete, reducing heat hydration, increasing resistance to sulfate in seawater, reducing alkali-silica and chloride attack. Paiton Probolinggo power plant results from waste from coal combustion. The flying waste is fly ash obtained by being captured by other particle filtration equipment before the exhaust gas reaches the coal chimney. This study uses copper slag waste as a substitute for partial sand with fly ash replacing some cement with 42 MPa concrete quality plan. The variations used are 40% copper slag, 40% copper slag + 5% fly ash, 40% copper slag + 7.5% fly ash, 40% copper slag + 10% fly ash. To meet the slump value of 10+ 2 then each mixture variation needs to add different water so that the water cement factor value becomes different. The purpose of this study was to obtain the influence of the water cement factor value from variations of the mixture on the compressive strength of concrete at 56 days. Compressive Strength testing is done at the age of 14 days, 28 days and 56 days Compressive strength Concrete test results at the age of 56 days found each variation is 46.8 MPa, 48.31 MPa, 51.71 MPa, 58.13 MPa. water Cement factor is less influential on increasing the compressive strength of concrete, which influences the use of fly ash, because fly ash can function as a filler in concrete.

Keywords: *copper slag, compressive strength concrete, fly ash, water cement ratio.*

Abstrak

Pabrik peleburan tembaga PT Smelting Company Gresik menghasilkan limbah berupa *copper slag*. Limbah *copper slag* memiliki beberapa keuntungan antara lain meningkatkan kuat tekan beton, mengurangi panas hidrasi, meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dalam air laut, mengurangi serangan alkali-silika dan klorida. PLTU Paiton Probolinggo terdapat hasil limbah dari pembakaran batu bara. Limbah yang terbang tersebut adalah *fly ash* yang didapatkan dengan cara ditangkap oleh peralatan filtrasi partikel lain sebelum gas buang mencapai cerobong asap batu bara. Penelitian ini menggunakan limbah *copper slag* sebagai pengganti sebagian pasir dengan *fly ash* pengganti sebagian semen dengan mutu beton rencana 42 Mpa. Variasi yang digunakan adalah 40% *copper slag*, 40% *copper slag* + 5% *fly ash*, 40% *copper slag* + 7.5% *fly ash*, 40% *copper slag* + 10% *fly ash*. Untuk memenuhi nilai *slump* 10+ 2 maka tiap variasi campuran perlu penambahan air yang berbeda sehingga nilai faktor air semen menjadi berbeda. Tujuan dari penelitian ini untuk memperoleh pengaruh nilai faktor air semen dari berbagai variasi campuran terhadap kuat tekan beton pada umur 56 hari. Pengujian Kuat tekan dilakukan pada umur 14 hari, 28 hari, dan 56 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 56 hari didapatkan untuk masing-masing variasi adalah 46.8 MPa, 48.31 MPa, 51.71 MPa, 58.13 MPa. Faktor air semen kurang berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton, yang berpengaruh adalah penggunaan *fly ash*, karena *fly ash* dapat berfungsi sebagai *filler* pada beton.

Kata Kunci: *copper slag, compressive strength concrete, fly ash, water cement ratio.*

1. Pendahuluan

Dengan semakin berkembangnya dunia industri tembaga, menyebabkan adanya limbah tembaga yang terbuang diantaranya Cooper Slag Diantaranya pada pabrik peleburan tembaga PT Smelting Company Gresik menghasilkan limbah berupa *copper slag*. Limbah *copper slag* memiliki

beberapa keuntungan antara lain meningkatkan kuat tekan beton, mengurangi panas hidrasi, meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dalam air laut, mengurangi serangan alkali-silika dan klorida.

Selain itu industri yang menggunakan batu bara saat ini kian banyak sehingga menghasilkan limbah pembakaran berupa limbah *fly ash*. Pada PLTU Paiton Probolinggo terdapat hasil limbah dari pembakaran batu bara. Limbah tersebut terbagi dua. Limbah yang terbang tersebut adalah *fly ash* yang didapatkan dengan cara ditangkap oleh peralatan filtrasi partikel lain sebelum gas buang mencapai cerobong asap batu bara. Sedangkan limbah yang turun kebawah disebut *bottom ash*.

Tugas Akhir [1] melakukan penelitian dengan memanfaatkan limbah *fly ash* sebagai pengganti semen untuk beton mutu rencana 40 MPa. Variasi *fly ash* yang digunakan 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15%. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari, 28 hari, dan 56 hari. Hasil kuat tekan optimum terjadi pada umur 56 hari dengan *fly ash* 9% dengan kuat tekan 48,607 MPa.

Tugas Akhir [2] melakukan penelitian dengan memanfaatkan limbah *fly ash* dari PLTU Sijantang dengan kuat tekan rencana sebesar 40 MPa. Variasi *fly ash* yang digunakan 0%, 10%, 12,5%, 15%, 20%, dan 25%. Kuat tekan yang dihasilkan masing-masing 28,134 MPa, 30,77 MPa, 28,040 MPa, 25,839MPa, 24,601 MPa, dan 20,046 MPa. Nilai kuat tekan yang dihasilkan tidak mencapai kuat tekan rencana 40 MPa. Kuat tekan tertinggi pada variasi *fly ash* 10% besar 30,77 Mpa.

Tugas Akhir [3] melakukan penelitian menggunakan limbah *fly ash* dengan kuat tekan rencananya K-300 atau 25 MPa. Penggunaan variasi *fly ash* 0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%. Kuat tekan tertinggi pada variasi 12,5% sebesar 33,593 MPa. Kuat tekan yang dihasilkan 26,255 MPa, 26,62 MPa, 28,85 MPa, 31,316 MPa, dan 33,593 MPa.

Tugas Akhir [4] melakukan penelitian dengan judul “Pemakaian *Fly Ash* Sebagai Cementitious Pada Beton Mutu Tinggi Dengan *Steam Curing*” Kuat Tekan rencana K600 dengan benda uji berupa kubus ukuran 15x15x15 cm. *fly ash* yang digunakan berasal dari PLTU Paiton Probolinggo. Variasi *fly ash* yang digunakan 7.5%, 15% dan 30%. Pada variasi 7.5% *fly ash* mengalami kenaikan kuat tekan 47%. Dengan kuat tekan optimum 713 kg/cm².

Tugas Akhir [5] Melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Limbah Batu Bara (*Fly Ash*) Sebagai Alternatif Semen Untuk Beton Pada Perisai Pencil Cobalt-60 Ditinjau Dari Segi Biaya. Variasi yang digunakan adalah beton normal dan 10% *fly ash*. *Fly ash* yang digunakan berasal dari PLTU Paiton probolinggo. Kuat tekan rencana sebesar 40 Mpa pada umur 28 hari. Dari hasil penelitian diperoleh Kuat tekan beton dengan menggunakan *fly ash* 10% sebesar 42,63 Mpa.

Tugas Akhir [6] melakukan penelitian dengan memanfaatkan limbah industry copper slag sebagai pengganti pasir untuk campuran beton. Kuat tekan rencana sebesar 18,675 MPa. Variasi *copper slag* yang digunakan 0%, 10%, 20%, 30%, dan 35%. Kuat tekan yang direncanakan adalah 18,675 MPa. Dari hasil penelitian didapatkan kuat tekan pada umur 28 hari 19.24 MPa, 23.296 MPa, 25.276 MPa, 29.237 MPa, 27.917 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi pada umur 28 hari 29.237 MPa pada variasi copper slag 30%.

Tugas Akhir [7] melakukan penelitian dengan menggunakan limbah industri copper slag untuk pengganti pasir pada campuran beton. Kuat tekan yang direncanakan dalam penelitian ini sebesar 40 MPa. Variasi *fly ash* yang digunakan 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Kuat tekan yang dihasilkan sebesar 47.1974 MPa, 47.2105 MPa, 48.1530 MPa, 49.0068 MPa, dan 47.2849 MPa. Kuat tekan tertinggi pada variasi *fly ash* 40%.

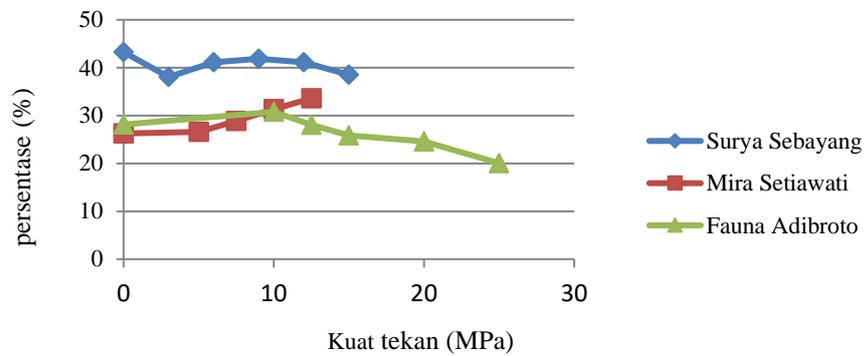
Tugas Akhir [8] melakukan penelitian dengan memanfaatkan limbah *copper slag* sebagai pengganti sebagian pasir untuk campuran beton. Kuat tekan rencana adalah 25 MPa. Persentase penggunaan *copper slag* untuk pengganti pasir 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Dari hasil penelitian didapatkan hasil kuat tekan tertinggi pada variasi *copper slag* 60% sebesar 42,73 MPa.

Tabel 1. Perbandingan Penelitian tentang *Fly Ash*

Nama	Persentase FA (%)	Kuat tekan rencana (MPa)		Kuat Tekan (MPa)	Selisih KTB (MPa)	Asal Fly Ash
Surya Sebayang	0	40		43.257	-	PLTU Suralaya Banten
	3			38.06	-12,01	
	6			41.117	8,032	

	9			41.882	1,86	
	12			41.117	-1,86	
	15			38.519	-6,319	
Mira Setiawati	0	25		26.255	-	
	5			26.62	1,39	
	7.5			28.85	8,37	
	10			31.316	8,548	
	12.5			33.593	7,271	
Fauna Adibroto	0	40		28.134	-	PLTU
	10			30.77	9,36	Sijantang
	12.5			28.04	-8,87	
	15			25.839	-7,84	
	20			24.601	-4,79	
	25			20.046	-18,515	

Sumber: Peneliti terdahulu



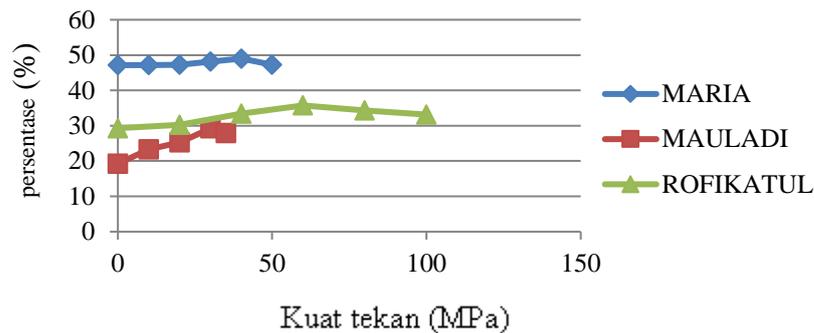
Gambar 1. Perbandingan penelitian penggunaan fly ash

Gambar 1 menunjukkan penambahan fly ash pada penelitian Surya Sebayang dan Fauna Adibroto memperlihatkan trend dan gradient yang sama. Pada penambahan fly ash hingga variasi 10% mengalami peningkatan ± 9%. Namun mulai variasi antara 10%-15% mengalami penurunan kuat tekan ± 9%.

Tabel 2. penelitian terdahulu dengan Copper slag dari PT Smelting Company

Nama	Persentase CS (%)	Kuat tekan Rencana (MPa)	Kuat Tekan (MPa)	Selisih KTB (%)
Maria	0	40	47.153	-
	10		47.1974	0,094
	20		47.2105	0,027
	30		48.153	1,996
	40		49.0068	1,773
	50		47.2849	-3,514
Mauladi	0	18.675	19.24	-
	10		23.296	21,081
	20		25.276	31,372
	30		29.237	51,959
	35		27.917	45,099
Rofikatul	0	25	29.3	-
	20		30.24	3,208
	40		33.38	10,38
	60		35.73	7,040
	80		34.34	-3,89
	100		33.16	-3,436

Sumber : Peneliti terdahulu



Gambar 2. Perbandingan Penggunaan *Copper slag*

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa persentase *copper slag* pada penelitian yang dilakukan Maria memperlihatkan trend yang sama dengan Rofikatul Karimah. Penambahan variasi 20% sama sama mengalami peningkatan kuat tekan. Namun persentase kenaikannya berbeda. Pada variasi 20% penelitian Maria mengalami peningkatan sebesar 0,121% sedangkan penelitian Rofikatul mengalami peningkatan 3,28%, Pada variasi 40% kedua penelitian tersebut juga mengalami peningkatan persentase kuat tekan walaupun nilai persentase nya berbeda. Peningkatan persentase pada penelitian Maria mencapai $\pm 3\%$ sedangkan pada rofikatul mencapai 10,38%

Berdasarkan penelitian diatas, penulis akan melakukan penelitian dengan mengkombinasi penggunaan fly ash sebesar 0%, 5%, 7,5 % dan 10% dan copper slag.40% untuk menghasilkan beton mutu 42 MPa dengan menggunakan Faktor Air Semen yang berbeda . Adapun tujuan dari penlitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh kuat tekan beton dari penggunaan limbah copper slag dengan fly ash pada campuran beton untuk memperoleh kuat tekan f_c 42 MPa pada 56 hari dengan faktor air semen yang berbeda.
2. Mendapatkan hasil kuat tekan beton berbagai umur dan dapat digunakan sebagai perbandingan.
3. Mendapatkan hasil perbandingan dari kuat tekan beton normal dengan beton variasi limbah copper slag dengan limbah fly ash

2. Metode Pelaksanaan

Penelitian dilakukan di Laboratorim dengan Tahapan

a. Studi Literatur

Tahapan ini digunakan untuk mempelajari jurnal / literatur yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilaksanakan dengan mempelajari limbah copper slag dan fly ash yang dapat menyebabkan kerusakan terhadap lingkungan dan berdampak buruk bagi kehidupan, pemanfaatan limbah ini gunakan campuran beton sebagai pengganti sebagian agregat halus dan semen. Kepustakaan ini meliputi berbagi buku teks, peraturan, Standar Nasional Indonesia yang dicantumkan pada daftar pustaka.

b. Persiapan Bahan

Sebelum dilakukan pengujian terhadap material perlu dipersiapkan beberapa bahan material pembuatan campuran beton antara lain pasir (agregat halus), kerikil (agregat kasar), semen, air, Limbah copper slag dan fly ash.

c. Uji Material

Pada pengujian material yang diuji agregat kasar, agregat halus dan copper slag meliputi

1. Analisa saringan.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat.

3. Pengujian kadar lumpur dan kadar air.
4. Pengujian kotoram organik (Agregat Halus).

d. Analisa Mix Desain

Analisa Mix desain menggunakan metode ACI (American Concrete Institute), dengan tujuan untuk memperoleh komposisi campuran beton mutu 42 Mpa.

e. Pembuatan benda uji

Benda uji yang dibuat adalah bentuk silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 45 benda uji dengan rincian sebagai berikut :

- Beton normal sebanyak 9 benda uji.
- Variasi 40% copper slag + 0 % fly ash sebanyak 9 benda uji.
- Variasi 40% copper slag + 5 % fly ash sebanyak 9 benda uji.
- Variasi 40% copper slag + 7.5 % fly ash sebanyak 9 benda uji
- Variasi 40% copper slag + 10 % fly ash sebanyak 9 benda uji.

f. Perawatan

Perawatan beton dilakukan dengan cara perendaman agar suhu dari beton terjaga dan tidak rusak ketika diberi beban pada saat pengujian kuat tekan.

g. Pengujian kuat tekan

Pengujian dilakukan pada beton saat umur 14 hari, 28 hari, dan 56 hari. Pengujian ini menggunakan alat uji CTM (Compression Testing Machine) yang berada di Laboratorium beton PT SCG Readymix Indonesia. Dengan cara mencatat beban maksimum yang mampu dipikul benda uji pada masing-masing benda uji.

h. Analisis hasil

.Analisis hasil pengujian yang dilakukan adalah menganalisis kuat tekan beton rata – rata pada masing – masing umur 14 hari, 28 hari, dan 56 hari untuk masing-masing variasi ,serta menganalisis penyebab kegagalan hasil kuat tekan beton untuk masing – masing variasi.

i. Kesimpulan

Kesimpulan didapatkan berdasarkan hasil dari analisa penelitian yang telah dilakukan meliputi kuat tekan rata – rata dan perbandingan kuat tekan beton antara limbahcopper slag sebagai pengganti sebagian pasir dengan fly ash sebagai pengganti sebagian semen campuran beton dengan beton normal ditinjau dari nilai faktor air semen.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Agregat Halus

3.1.1. Pengujian Pasir Lumajang dan Limbah copper Slag

Tabel 3. Perbandingan Hasil Pengujian Pasir Lumajang dan Copper Slag

No	Pengujian	Hasil Nilai Rata-Rata		Peraturan ASTM	Keterangan
		Pasir Lumajang	Limbah Copper Slag		
1.	Kelembaban	1,6 %	0,5 %	1-5 %	Limbah copper slag dibawah ambang bata pasir memenuhi (ASTM C 556-89)
2.	Berat Jenis	2.695	3,56	1,6-3,3 gr/cm ³	

3.	Kadar Air	3,2 %	3,95 %	1 – 5 %	Limbah copper slag tidak memenuhi standar sedangkan pasir memenuhi (ASTM C 128-93) Semua memenuhi standar (ASTM C 128-93) Semua memenuhi standar (ASTM C 128-93) Semua memenuhi standar ASTM C 40 – 92 Limbah copper slag tidak mengandung lumpur, untuk pasir memenuhi standar (ASTM C 117 - 95) Limbah copper slag tidak mengandung lumpur, untuk pasir memenuhi standar (ASTM C 117 - 95) sesuai syarat yang berlaku pada ASTM C 136-95a
4.	Berat Volume	1,365	1,65	0.4-1.9 kg/dm ³	
5.	Kebersihan Organik	Putih Kekuningan	Putih Kekuningan	Air tidak lebih gelap dari material	
6.	Kebersihan Lumpur	4.68 %	-	1 – 5 %	
7.	Kadar Lumpur dengan pencucian	4%		1 – 5 %	
8.	Analisa Ayakan	Zona 2		Zona 1	

(sumber: Hasil Analisis Laboratorium SCG,2019)

3.2. Komposisi Campuran Beton

Dari hasil analisa mix desain beton dengan mutu 42 Mpa diperoleh komposisi campuran seperti pada tabel 4 untuk 9 benda uji

Tabel 4. Komposisi Campuran Bahan untuk 9 benda uji

Variasi CS	Variasi FA	Semen (Kg)	Air (liter)	Pasir (Kg)	Batu pecah 4.75-12.5 (Kg) (30%)	batu pecah 12.5- 25 (Kg) (70%)	Limbah Copper slag (Kg)	Limbah FA (Kg)
0%	0%	27,89	9,20	33,52	13.10	30.57	0	0
40 %	40%CS+0%FA	27.89	20.11	20.11			13.41	0
	40%CS+5%FA	26.50	20.11	20.11			13.41	1.39
	40%CS+7.5%FA	25.80	20.11	20.11			13.41	2.09
	40%CS+10%FA	25.10	20.11	20.11			13.41	2.79

(Sumber: Penelitian, 2019)

3.3. Analisa Faktor Air Semen Pada Masing – Masing Variasi

Berdasarkan hasil analisa mix desain, beton mutu 42 Mpa menggunakan Faktor air semen 0,34. Setelah menggunakan berbagai variasi campuran fly ash dan copper slag, serta untuk mencapai nilai slump rencana 10 ± 2 perlu penambahan air sehingga nilai faktor air semen menjadi berubah. Perubahan nilai faktor air semen dapat dilihat di Tabel 5.

Tabel 5. Faktor Air Semen Pada Masing Masing Variasi

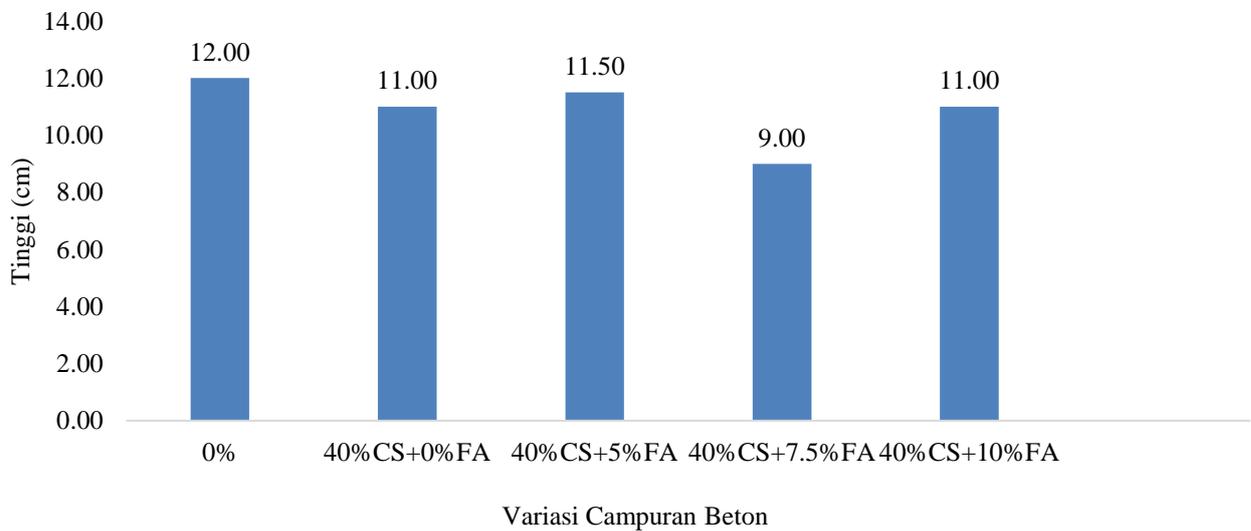
No.	Variasi Campuran	Air Rencana (Liter)	Penambahan Air (Liter)	Jumlah Air Yang digunakan (Liter)	Rencana Semen (kg)	Nilai FAS
1.	0%	9.20	0.25	9.45	27.89	0.34
2.	40%CS+0% FA	9.20	1.75	10.95	27.89	0.39
3.	40%CS+0% FA	9.20	2.75	11.95	26.50	0.45
4.	40%CS+7.5% FA	9.20	3.75	12.95	25.80	0.48
5.	40%CS+10% FA	9.20	0.75	9.95	25.10	0.40

(Sumber: Penelitian, 2019)

Berdasarkan tabel 5 Pada variasi beton normal hingga variasi 40% CS+ 7.5% FA terjadi peningkatan penambahan air, sedangkan pada variasi 40% CS + 10% FA penambahan air terjadi penurunan karena material pasir dalam kondisi basah

3.4 Nilai Slump test Beton

Dari hasil penambahan air pada campuran beton dengan berbagai variasi untuk mencapai slump beton 10 ± 2 sehingga nilai faktor air semennya berubah, menghasilkan nilai slump seperti pada gambar 3

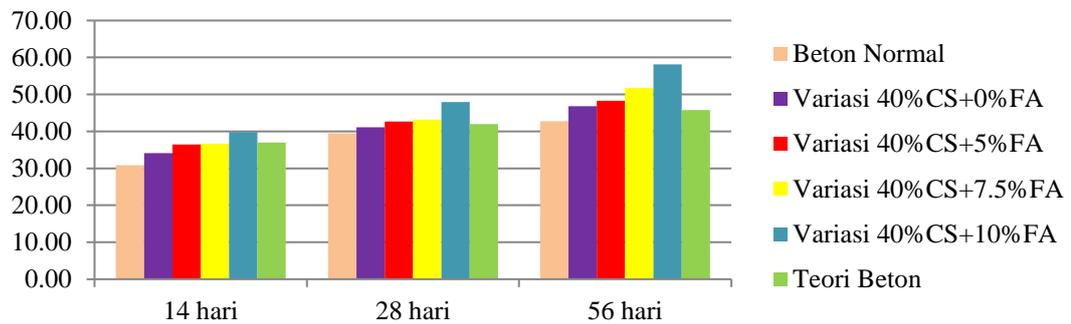


Gambar 3. Slump Test Beton

Berdasarkan gambar 3 didapatkan slump test yang dihasilkan dari masing – masing variasi antara limbah copper slag dengan limbah fly ash sesuai dengan rencana pada mix design sebesar 10 ± 2 cm yang berarti workabilitinya semakin baik

3.5. Analisa Kuat Tekan Beton

Hasil analisa kuat tekan beton berbagai variasi dengan nilai faktor air semen yang berbeda dapat dilihat di gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan kuat tekan beton dengan berbagai variasi campuran

Berdasarkan gambar 4 didapatkan bahwa kuat tekan beton dengan copper slag memiliki kuat tekan yang selalu meningkat seiring dengan penambahan fly ash walaupun diiringi dengan meningkatnya nilai faktor air semen, sehingga dalam hal ini dapat diartikan bahwa meningkatnya kuat tekan beton disebabkan oleh meningkatnya jumlah fly ash yang digunakan karena fly ash dapat berfungsi sebagai filler untuk mengisi rongga pada beton.

Tabel 6. Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Umur 56 Hari

No	Variasi	Faktor Air Semen	Kuat Tekan (N/mm ²)	Peningkatan (%)
1.	Beton Normal	0.34	42.74	0
2.	40% copper slag + 0% fly ash	0.39	46.80	9.50
3.	40% copper slag + 0% fly ash	0.45	48.31	13.03
4.	40% copper slag + 0% fly ash	0.48	51.71	20.99
5.	40% copper slag + 0% fly ash	0.40	58.13	36.00

(sumber: Penelitian,2019)

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan

1. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 56 hari dengan menggunakan limbah copper slag sebagai pengganti sebagian pasir dengan limbah fly ash didapatkan hasil kuat tekan beton diatas kuat tekan beton rencana 42 MPa. Variasi beton normal 42 MPa, variasi 40% copper + 0% fly ash 46.8 MPa, variasi 40% copper + 5% fly ash 48.31 MPa, variasi 40% copper + 7.5% fly ash 51.71 MPa, variasi 40% copper + 10% fly ash 58.13 MPa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada variasi campuran ini faktor air semen kurang berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton, yang berpengaruh adalah penggunaan fly ash, karena fly ash dapat berfungsi sebagai filler pada beton.
2. Terjadi peningkatan beton berbagai umur. Pada variasi beton normal, 40% copper slag+0% fly ash, dan 40% copper slag+5% fly ash peningkatan umur 14 ke 28 hari terjadi kenaikan yang signifikan, namun pada umur 56 hari kenaikan kuat tekan tidak begitu besar. Namun pada variasi 40% copper slag+7.5% fly ash, dan 40% copper slag+10% fly ash mengalami peningkatan yang cukup signifikan.
3. Dari hasil penelitian didapatkan hasil perbandingan antara kuat tekan beton normal dengan kuat tekan beton yang menggunakan variasi limbah copper slag dengan limbah fly ash. Kuat tekan

mengalami peningkatan berturut turut pada variasi 40% copper + 0% fly ash, variasi 40% copper + 5% fly ash, variasi 40% copper + 7.5% fly ash, variasi 40% copper + 10% fly ash sebesar 9.499%, 13.032%, 20.987.5%, 36.008% terhadap beton normal.

Referensi

- [1] Sebayang Surya,2010,"Pengaruh Kadar Abu Terbang Sebagai Pengganti Sejumlah Semen Pada Beton Alir Mutu Tinggi", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung.
- [2] Adibroto Fauna, 2018, "Eksperimen Beton Mutu Tinggi Berbahan *Fly Ash* Sebagai Pengganti sebagian Semen".Tugas Akhir.Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Padang.
- [3] Setiawati Mira,2018,"*Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton".Tugas Akhir.Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Palembang
- [4] Rommel Erwin,2012 "Pemakaian Fly Ash Sebagai Cementitious Pada Beton Mutu Tinggi Dengan Steam Curing"
- [5] Hudhiyantoro (2012) "Analisis Limbah Batu Bara (Fly Ash) Sebagai Alternatif Semen Untuk Beton Pada Perisai Pengion Cobalt-60 Ditinjau Dari Segi Biaya".
- [6] Mauladi, M.S.,2014. Pemanfaatan Copper Slag Sebagai Substitusi Pasir Pada Campuran Beton Mutu K-225.Tugas Akhir.Jurusan Teknik Sipil.Universitas Sriwijaya
- [7] Hana, M.A., dan Siswadi,2008,"Studi Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Agregat Copper Slag".Tugas Akhir.Jurusan Teknik Sipil.Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- [8] Karimah Rofikatul, 2016, "Kajian Penggunaan *Copper Slag* Sebagai Agregat Halus Beton". Universitas Muhammadiyah Malang.