

PENGARUH PEMANFAATAN *ELECTRICAL ARC FURNACE SLAG* PADA PEMBUATAN *SELF COMPACTING CONCRETE*

Agung Wahyudi

Mahasiswa S1-Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Alamat e-mail : agungwahyudi@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Firmansyah Sofianto, S.T, M.T, M.Sc.

Dosen S1-Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Yogie Risdianto, S.T.,M.T.

Dosen S1-Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Abstrak

Self compacting concrete merupakan beton dengan kemampuan *filling ability*, *passing ability*, dan *placing ability* tinggi. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan merancang penggunaan *electrical arc furnace slag* sebagai substitusi kerikil dan *fly ash* 30% dari semen sebagai *filler*. Variasi EAFS sebesar 0%, 10%, 30%, dan 50% dari berat kerikil. Pengujian meliputi karakteristik beton segar (*slump flow test*, *v-funnel test*, dan *l-box test*), yaitu berat volume, kuat tekan, dan porositas.

Hasil pengujian *slump flow test* menunjukkan SCC EAFS 0% menghasilkan *filling ability* terbaik dengan waktu *flow* (8 sekon). Pengujian *passing ability* menunjukkan SCC EAFS 10% memiliki kemampuan *passing ability* terbaik dengan nilai H2/H1 (0,993). Pengujian tingkat viskositas menghasilkan viskositas terendah pada SCC EAFS 50%. Hasil pengujian berat volume, SCC EAFS 50% memiliki berat volume tertinggi umur 28 hari (2573,70 kg/m³). Pengujian kuat tekan tertinggi pada penggunaan EAFS 30% dengan kuat tekan umur 28 hari (44,37 Mpa). Kadar porositas, variasi dengan tingkat porositas terkecil pada SCC EAFS 30% (2,03%). Kadar penggunaan EAFS 50% dengan berat volume tertinggi, menghasilkan kuat tekan lebih rendah umur 28 hari (35,63 Mpa) karena faktor porositas tertinggi (2,63%).

Kata kunci : *Self compacting concrete*, *fly ash*, berat volume, kuat tekan, porositas.

Abstract

Self compacting concrete is a concrete with high filling ability, passing ability and placing ability. This experimentally study was conducted content by designing the use of electrical arc furnace slag (EAFS) as a substitution of gravel and 30% fly ash from cement as a filler. EAFS variations are 0%, 10%, 30%, and 50% of the weight of the gravel. Tests include characteristics of fresh concrete (*slump flow test*, *v-funnel test*, and *l-box test*), namely volume weight, compressive strength, and porosity.

The results of the slump flow test showed that 0% SCC EAFS produced the best filling ability with flow time (8 seconds). The passing ability test shows 10% SCC EAFS has the best passing ability with H2 / H1 (0.993). The viscosity test results in the lowest viscosity at 50% EAFS SCC. The results of the volume testing, 50% SCC EAFS has the highest volume weight at 28 days (2573.70 kg / m³). The highest compressive strength test was used on 30% EAFS with 28 days compressive strength (44.37 Mpa). Porosity level, variation with the smallest porosity level in 30% EAFS SCC (2.03%). The level of use of 50% EAFS with the highest volume weight resulted in a lower compressive strength of 28 days (35.63 MPa) due to the highest porosity factor (2.63%).

Keywords: Self compacting concrete, fly ash, EAFS, compressive strength, porosity.

A. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Menurut Bosela (2008) dalam Santamaria et al (2017), isu *sustainable development* menjadi objek utama dalam beberapa penelitian keilmuan. Perhatian ditujukan pada pembangunan berkelanjutan untuk memanfaatkan limbah baja atau produk sampingan hasil produksi baja pada saat proses *electric furnace*. Indonesia merupakan negara berkembang pada sektor industri pengolahan besi dan

baja. PT. Ispatindo merupakan contoh industri besi dan baja yang terletak di Sidoarjo Jawa Timur.

Menurut Akinmusuru (1991) dalam Santamaria et al (2017), *electrical arc furnace slag* sebagai agregat kasar dalam pembuatan beton konvensional telah dilakukan beberapa tim peneliti di dunia dan menghasilkan hasil yang bagus. Inovasi dilakukan yaitu pemanfaatan *electrical arc furnace slag* sebagai agregat kasar pada pembuatan *self compacting concrete*. Okamura pertama

kali menemukan inovasi mengenai *self compacting concrete* (SCC) tahun 1983 di Jepang untuk mengatasi beberapa masalah yang ada terkait pembuatan beton. Masalah yang terjadi yaitu ketahanan struktur beton itu

sendiri dan ketersediaan tenaga kerja yang terampil dalam pembuatan beton. SCC tidak memerlukan tenaga kerja terampil ataupun penggunaan *vibrator* (penggetar) untuk meratakan beton sehingga beton yang dihasilkan tidak keropos karena *self compacting concrete* adalah beton yang mampu memadatkan dirinya sendiri.

Beton SCC tetap memerlukan batu pecah sebagai agregat kasar dalam pembuatannya. Agregat kasar atau kerikil pada proses penambangan menimbulkan beberapa dampak negatif. Penambangan batu pecah berdampak negatif terhadap lingkungan fisik, seperti kerusakan hutan, jalan, tebing sungai, lahan pertanian, irigasi dan terganggunya keamanan serta kesehatan (Sutrisno dan Isjudarto, 2017). Menurut Undang-Undang Nomor 23 tahun 1997, menjelaskan penambangan batu merupakan tindakan yang menimbulkan perubahan langsung/ tidak langsung terhadap sifat fisik dan atau hayatinya yang mengakibatkan lingkungan hidup tidak berfungsi kembali. Pembangunan konstruksi semakin meningkat dan penggunaan material batu pecah sebagai agregat kasar semakin meningkat sehingga perlu inovasi material baru untuk mengurangi penggunaan batu pecah dan mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan akibat penambangan batu pecah dengan pemanfaatan limbah baja untuk mengurangi penggunaan agregat kasar (batu pecah/ kerikil).

Pada penelitian ini digunakan material *electrical arc furnace slag* (EAFS) sebagai pengganti agregat kasar (batu pecah/ kerikil). EAFS memiliki berat jenis 3.42 mg/m^3 sedangkan agregat kasar normal memiliki berat jenis 2,7 mg/m^3 (Santamaria et al, 2017). Berat jenis lebih tinggi mampu meningkatkan kuat tekan beton SCC. Penggunaan EAFS dalam jumlah besar bisa meningkatkan kuat tekan beton, mengurangi variasi kekuatan tekan beton, meningkatkan keawetan beton terhadap perubahan volume, dan mengurangi porositas beton (Lewis, 1982) dalam (Ali Achmadi, 2009).

Berdasarkan latar belakang di atas merumuskan bahwa dengan substitusi agregat kasar konvensional (kerikil) menggunakan *electrical arc furnace slag* apakah dengan substitusi tersebut berpengaruh pada karakteristik beton segar SCC yang dihasilkan, hasil berat volume, kuat tekan, dan porositas beton SCC, serta bagaimana hasil hubungan porositas dengan berat volume dan kuat tekan dengan berat volume.

2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik beton segar SCC yang dihasilkan, berat

volume, kuat tekan, dan hubungan antara berat volume dengan porositas serta berat volume dengan kuat tekan beton SCC yang dihasilkan.

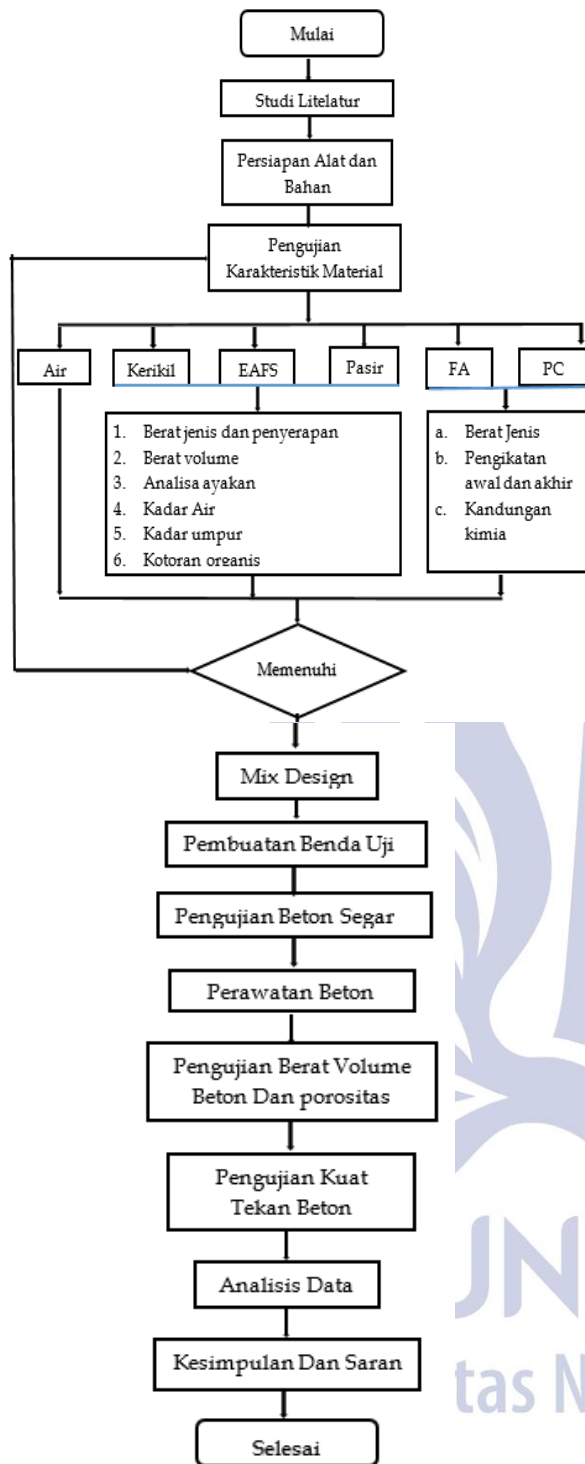
B. METODE

Metode penelitian pada dasarnya merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan tertentu. Cara ilmiah berarti kegiatan penelitian didasarkan pada ciri-ciri keilmuan, yaitu rasional, empiris, dan sistematis. Rasional berarti kegiatan penelitian ini dilakukan dengan cara-cara yang masuk akal sehingga terjangkau dengan penalaran manusia. Empiris berarti cara-cara yang dilakukan ini dapat diamati oleh indera manusia sehingga orang lain dapat mengetahui cara-cara yang digunakan. Sistematis artinya, proses yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan langkah-langkah tertentu yang bersifat logis (Sugiyono, 2009).

Penelitian dilakukan secara experimental dengan berpedoman pada buku, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu sebagai referensi. Pengembangan dilakukan dengan rancangan variasi penggunaan kadar *electrical arc furnace slag* (EAFS) sebagai substitusi agregat kasar konvensional (kerikil 10-20 mm) dan penggunaan *fly ash* sebagai *filler*. Kadar EAFS yang digunakan sebesar 0%, 10 %, 30%, dan 50%. Kadar penggunaan *fly ash* sebagai *filler* ditentukan melalui pengujian kepadatan kemasan (*packing density method*).

Material penyusun beton *self compacting concrete* dalam penelitian ini memiliki spesifikasi khusus. *Electrical arc furnace slag* memiliki gradasi dan zona sama dengan agregat kasar konvensional. *Electrical arc furnace slag* dari PT. Ispatindo, material *fly ash* dari PT. Varia Usaha Beton. Semen yang digunakan sebagai *binder* (pengikat) merupakan semen PPC (tipe 2). Agregat halus merupakan jenis pasir lumajang dengan gradasi halus.

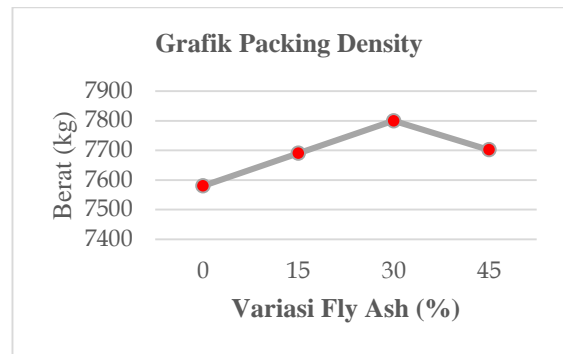
Penelitian mengukur bagaimana karakteristik dari beton segar *self compacting concrete* yang dihasilkan, berat volume beton, kuat tekan beton, dan kadar porositas beton SCC. Jumlah benda uji setiap variasi kadar EAFS sebanyak 10 benda uji silinder 10 x 20 cm, dengan rincian 3 benda uji untuk pengujian umur 7 hari, 3 benda uji umur 14 hari, 3 benda uji umur 28 hari, dan 1 benda uji untuk pengujian kadar porositas beton. Total jumlah benda uji sebanyak 40 silinder beton ukuran 10 x 20 cm. Alur penelitian atau prosedur penelitian yang dilakukan seperti pada Gambar 1.



Gambar 4. Flow chart penelitian

1. Packing Density

Pengujian kepadatan kemasan dilakukan untuk menentukan proporsi *fly ash* sebagai *filler* rongga diantara partikel agregat halus (pasir). Variasi pengujian *packing density* menggunakan *fly ash* 0%, 15%, 30% dan 45% dari *binder* untuk kebutuhan 1 silinder 10 x 20 cm. Kepadatan tertinggi pada penggunaan *fly ash* 30% seperti pada Grafik 1.



Grafik 1. Hasil pengujian *packing density* (Sumber : Hasil penelitian pribadi)

2. Mix Design

Perhitungan komposisi campuran beton menggunakan SNI 6468-2000, hasil perhitungan dihasilkan *mix design* dasar beton mutu tinggi dengan rencana *slump* untuk beton biasa. *Mix design* dasar dilakukan modifikasi untuk penyesuaian dengan standar SCC berdasar EFNARC 2005 seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar proporsi material SCC

Keterangan	Batasan Proporsi (kg/m ³)	Batasan Volume (l/m ³)
Powder	380-600	
Pasta		300-380
Air	150-210	150-210
Coarse Agregat	750-1000	270-360
Fine Agregat (pasir)	(48 – 55%) dari total berat agregat	
Air / powder rasio		0,85-1,10

(Sumber : EFNARC 2005)

Mix design hasil modifikasi dengan penyesuaian terhadap standar pada Tabel 1 seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. *Mix design* beton SCC setiap volume 1 m³ beton

Material (kg/m ³)	Variasi EAFS Pada SCC			
	EAFS 0%	EAFS 10%	EAFS 30%	EAFS 50%
PPC	397,58	397,58	397,58	397,58
FA	119,27	119,27	119,27	119,27
Pasir	826,46	826,46	826,46	826,46
Kerikil	762,88	686,6	534,02	381,44
EAFS	0	76,29	228,87	381,44
Air	170,67	170,67	170,67	170,67
SP	5,69	5,69	5,69	5,69

(Sumber : Hasil penelitian pribadi)

Mix design modifikasi pada Tabel 2, belum dilakukan kontrol terhadap perbandingan volume material EAFS dengan kerikil 10 - 20 mm. Kontrol volume dilakukan untuk mengantisipasi kekuarangan volume beton setiap m³ akibat perbedaan berat jenis dan berat volume kerikil dengan EAFS. Hasil kontrol berat volume dihasilkan penambahan material pasir dan kerikil setiap silinder 10 x 20 cm seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Penambahan material untuk 1 silinder 10 x 20 cm

Kontrol Faktor Berat Volume EAFS		
MD	Pasir	Kerikil
50%	0,086	0,075
30%	0,0519	0,063
10%	0,0173	0,027

(Sumber : Hasil penelitian pribadi)

Penambahan pasir dan kerikil 10 - 20 mm digunakan untuk menutup kekurangan volume beton yang dihasilkan. Mix design pakai hasil kontrol berat volume seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Mix design setiap 1 silinder 10 x 20 cm

Mix design setiap silinder 10x20 cm				
Material (Bahan)	EAFS 0 %	EAFS 10 %	EAFS 30 %	EAFS 50 %
FA (kg)	0,139	0,139	0,139	0,139
PPC (kg)	0,476	0,476	0,476	0,476
Pasir (kg)	0,818	0,818	0,818	0,818
Kerikil (kg)	0,833	0,768	0,627	0,468
EAFS (kg)	0,000	0,067	0,200	0,333
Air (kg)	0,268	0,268	0,268	0,268
SP (kg)	0,009	0,009	0,009	0,009

(Sumber : Hasil penelitian pribadi)

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian Karakteristik Beton Segar

a. Slump Flow Test

Hasil pengujian kemampuan mengisi atau *filling ability* dengan metode *slump flow test*. didapatkan proporsi EAFS 0% dengan kemampuan *filling* terbaik pada test waktu alir 8 sekon dan diameter akhir aliran 730 mm. Metode pengujian *slump flow test*, selain untuk menguji kemampuan *filling ability*, bisa digunakan untuk mengamati keadaan

campuran beton segar yaitu kontrol *bleeding* dan segregasi. *Bleeding* dan segregasi dikontrol dari kondisi ikatan mortar dengan agregat kasar. Detail hasil *slump flow test* seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian *slump flow test*

Slump flow Test				
No	Sampel	Slump flow T-500 (s)	Slump flow (mm)	Slump flow Clases
1	EAFS 0 %	8	730	SF 2
2	EAFS 10 %	10	740	SF 2
3	EAFS 30 %	11	740	SF 2
4	EAFS 50 %	13	700	SF 2

(Sumber : Hasil penelitian pribadi)

b. V-Funnel Test

Kekentalan campuran atau viskositas diuji dengan metode *v-funnel test*. Viskositas dinilai berdasar waktu alir. SCC EAFS 50% dengan berat campuran tinggi menghasilkan viskositas terendah yaitu (13 sekon) untuk mengalir melewati katup *v-shape*. Detail hasil pengujian seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian *v-funnel test*

V-Funnel Test			
No	Sampel	V-Funnel Test (s)	V-Funnel Clases
1	EAFS 0 %	23	VF 2
2	EAFS 10 %	17	VF 2
3	EAFS 30 %	15	VF 2
4	EAFS 50 %	13	VF 2

(Sumber : Hasil penelitian pribadi)

c. L-Box Test

Kemampuan *passing ability* diuji dengan metode *l-box test*. Pengujian berdasar perbandingan tinggi sebelum dan setelah melewati *gaps 3 rebars* pada katup *l-box*. Kemampuan *passing ability* ditunjukkan dari hasil perbandingan nilai H2 (tinggi beton segar setelah melewati *gaps 3 rebars*) dengan H1 (tinggi beton segar sebelum melewati *gaps 3 rebars*). Hasil perbandingan H2 /H1 mendekati angka acuan 1

(satu), menunjukkan kemampuan *passing ability* beton segar SCC semakin baik. Hasil pengujian seperti pada Tabel 7.

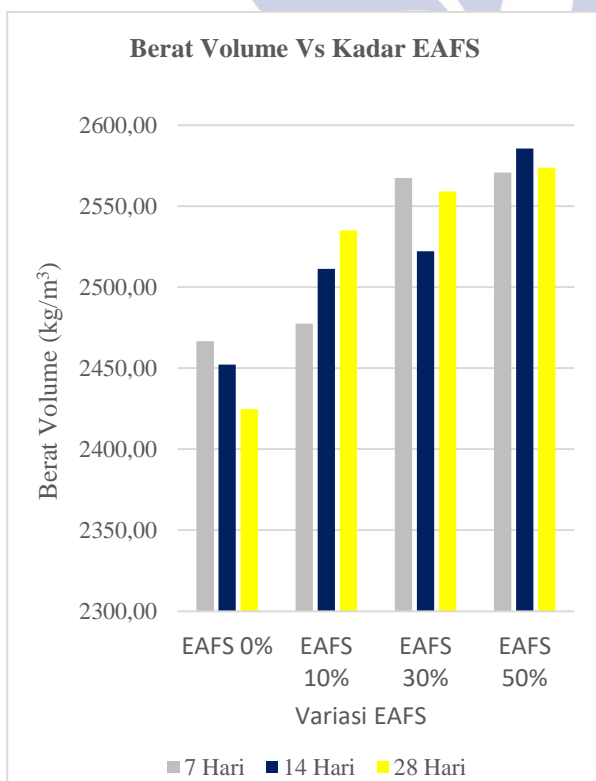
Tabel 7. Hasil pengujian *l-box test*

L-Box Test				
No	Sampel	H2/H1	Waktu (s)	Kelas
1	EAFS 0 %	0,944	32	PA 2
2	EAFS 10 %	0,993	31	PA 2
3	EAFS 30 %	0,979	25	PA 2
4	EAFS 50 %	0,966	29	PA 2

(Sumber : Hasil penelitian pribadi)

2. Pengujian Berat Volume

Berat volume diuji menggunakan perbandingan berat dengan volume silinder beton 10 x 20 cm. Kadar penggunaan EAFS berpengaruh pada peningkatan berat volume. EAFS memiliki berat jenis 3,351 gr/cm³. Berat volume tertinggi pada penggunaan 50% EAFS. Pada masing – masing umur uji 7 hari, 14 hari, dan 28 hari menunjukkan peningkatan berat volume sesuai dengan peningkatan kadar penggunaan EAFS. Hasil pengujian berat volume seperti pada Grafik 2.

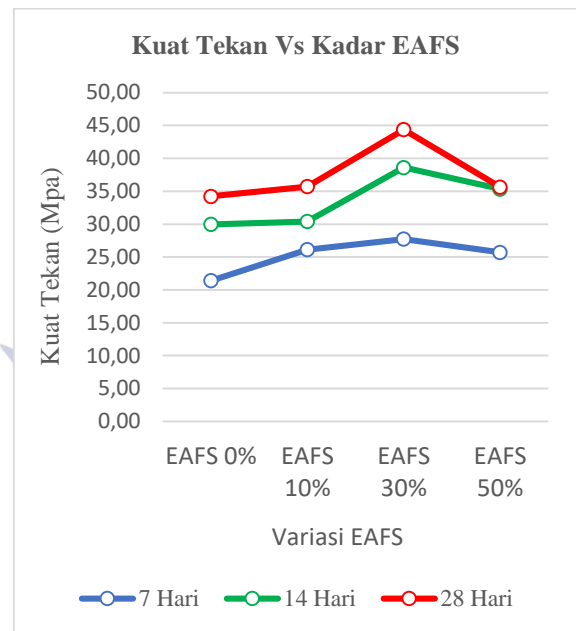


Grafik 2. Berat volume vs kadar EAFS

(Sumber : Hasil penelitian pribadi)

3. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan seperti pada Grafik 3.



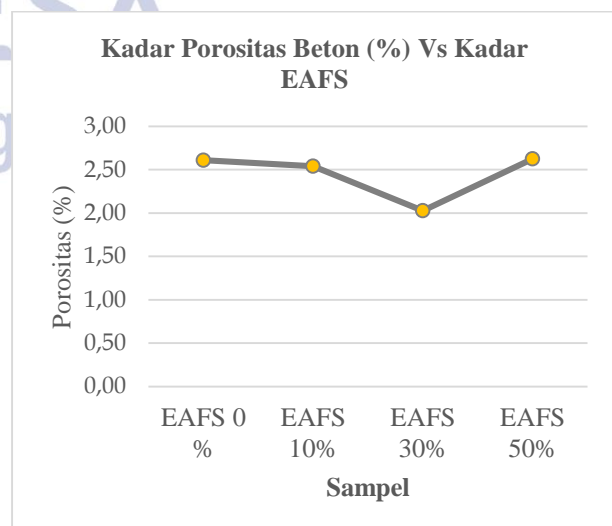
Grafik 3. Kuat tekan vs kadar EAFS

(Sumber : Hasil penelitian pribadi)

Progres menunjukkan peningkatan kuat tekan tertinggi pada proporsi EAFS 30% pada setiap umur pengujian. Grafik progres menurun pada penggunaan EAFS 50% karena faktor *bleeding* dan segregasi yang terjadi pada kondisi beton segar yang menimbulkan peningkatan kadar void atau porositas beton.

4. Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui kadar *void* atau celah yang terisi udara diantara partikel beton. Hasil pengujian porositas seperti pada Grafik 4.



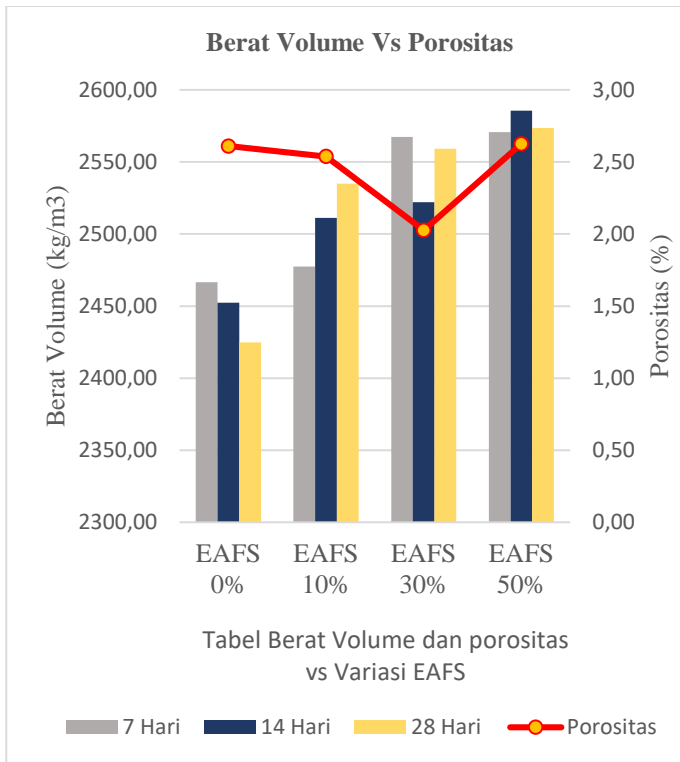
Grafik 4. Porositas vs kadar EAFS

(Sumber : Hasil penelitian pribadi)

Nilai porositas terendah 2,03% pada penggunaan 30% EAFS. Kondisi *bleeding* dan segregasi pada beton segar berdampak pada peningkatan porositas untuk penggunaan EAFS 50%.

5. Hubungan Berat Volume Dengan Porositas

Berat volume beton *self compacting concrete* berhubungan dengan tingkat porositas beton. Beton dengan tingkat porositas kecil cenderung memiliki berat volume tinggi. Hasil pengujian hubungan berat volume dengan porositas Grafik 5.

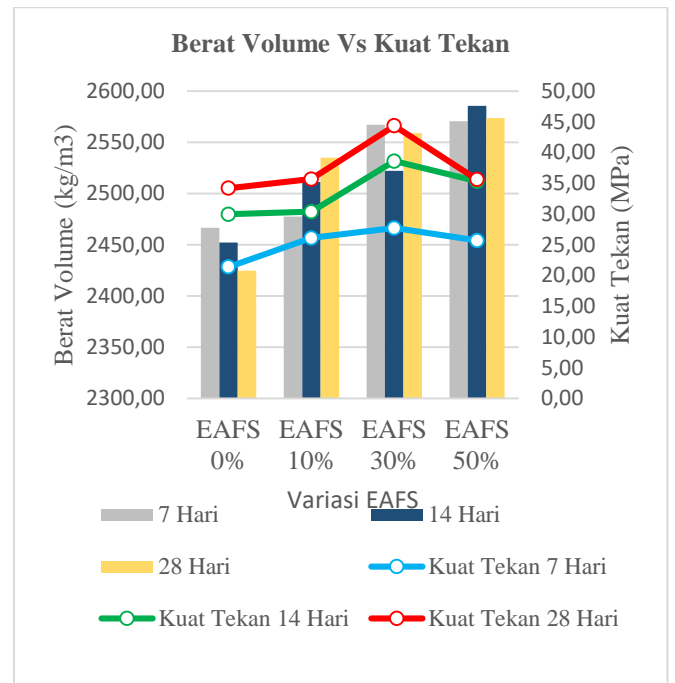


Grafik 5. Berat volume vs porositas (Sumber : Hasil penelitian pribadi)

Berdasarkan Grafik 5, tingkat porositas terkecil pada penggunaan 30% EAFS yaitu 2,03 % dengan berat volume umur 28 hari 2559,13 kg/m³. Penggunaan EAFS menunjukkan kepadatan yang baik pada beton. Ditunjukkan dengan kadar porositas semakin menurun mulai dari 0% EAFS (2,61%), 10% EAFS (2,54%), dan 30 % EAFS (2,03%). Penurunan porositas seiring dengan peningkatan berat volume usia 28 hari yaitu 0% EAFS (2424,76 kg/m³), 10% EAFS (2535,03 kg/m³), dan 30 % EAFS (2559,13 kg/m³). Berat volume tertinggi pada penggunaan EAFS 50% (2573,70 kg/m³) dengan kadar porositas tertinggi (2,63%).

6. Hubungan Berat Volume Dengan Kuat Tekan

Beton mutu tinggi diatas 41,4 Mpa termasuk beton berat dengan berat volume beton lebih tinggi dari beton normal. Hubungan berat volume dengan kuat tekan beton yang dihasilkan seperti pada Tabel 8 dan Grafik 6.



Grafik 6. Berat volume vs kuat tekan beton (Sumber : Hasil penelitian pribadi)

Berdasarkan Grafik 6, berat volume beton tertinggi pada penggunaan 50% EAFS yaitu 2573,70 kg/m³ dengan kuat tekan umur 28 hari yaitu 35,63 Mpa. Nilai hasil pengujian kuat tekan tertinggi pada penggunaan 30% EAFS yaitu 44,37 Mpa dengan berat volume lebih rendah dari penggunaan 50% EAFS yaitu 2559,13 kg/m³. Hasil pengujian hubungan berat volume dengan kuat tekan untuk 0% EAFS menghasilkan kuat tekan 34,23 Mpa dan berat volume 2424,76 kg/m³, dan pada penggunaan 10% EAFS menghasilkan kuat tekan 35,71 Mpa dengan berat volume 2535,03 kg/m³.

D. Simpulan

- Kemampuan *filling ability* terbaik pada proporsi SCC 0% EAFS dengan *slump flow* T500 (8 sekon) dan diameter *flow* 730 mm. SCC 50 % EAFS menghasilkan karakteristik *filling ability* terendah dengan waktu *flow* T500 (13 sekon) dan diameter akhir (700 mm). Pengujian *l-box test*, kadar 10% EAFS memiliki kemampuan *passing ability* tertinggi (0,993), *passing ability* terendah pada SCC EAFS 50% (0,966). Vikositas tertinggi pada SCC EAFS 50% (13 sekon), kelecakan terendah pada SCC EAFS 0% (23 sekon).
- Berat volume rata – rata kadar EAFS 50% umur 7 hari (2570,70 kg/m³), umur 14 hari (2585,59 kg/m³), dan umur 28 hari (2573,70 kg/m³). Berat volume kadar 0% EAFS umur 7 hari (2466,67 kg/m³), umur 14 hari (2452,27 kg/m³), dan umur 28 hari (2426,76 kg/m³).

- c. Kuat tekan rata-rata pada umur pengujian umur 28 hari, kuat tekan yang dihasilkan kadar EAFS 0% (34,23 MPa), EAFS 10% (35,71 MPa), EAFS 30% (44,37 MPa), dan kadar EAFS 50% (35,63 MPa). Dari 3 tahapan umur pengujian kuat tekan beton SCC. Kadar penggunaan 30% EAFS menghasilkan kuat tekan tertinggi usia 28 hari (44,37 MPa).
- d. Porositas untuk kadar EAFS 0% (2,61%) dengan berat volume beton (2408,13 kg/m³), kadar EAFS 10% (2,54%) dengan berat volume (2470,06 kg/m³), kadar EAFS 30% (2,03%) dengan berat volume (2558,42 kg/m³), dan kadar EAFS 50% (2,63%) dengan berat volume (2648,80 kg/m³). Pada kadar EAFS 50% nilai porositas sangat tinggi yaitu 2,63%.
- e. Kuat tekan tertinggi pada SCC EAFS 30% (44,37 MPa) dengan berat volume (2559,13 kg/m³). Hubungan berat volume untuk kadar 50% EAFS berbanding terbalik dengan kuat tekan yang dihasilkan karena pengaruh kondisi pada beton segar yaitu terjadi bleeding dan segregasi yang meningkatkan porositas. Dimana kuat tekan yang dihasilkan (35,63 MPa) dengan berat volume (2573,70 kg/m³).

DAFTAR PUSTAKA

- A.Santamaria et. all. 2017. "Self Compacting Concrete Incorporating Electric Arc Furnace Slag as Aggregate". *International Journal of Material and Design* . p.179-193.
- EFNARC. 2005 . *European Guidelines For Self Compacting Concrete*.
- Okamura, H. dan Ozawa, K. 1994. "Self Compacting High Performance Concrete in Japan", ACI SP-159 : *International Workshop on High Performance Concrete*. Michigan.
- SNI 03-2834-1993. *Tata Cara Pembuatan Rancangan Campuran Beton Normal*. Pusjatan. Balitbang PU.
- SNI 7656-2012. *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Andi OFFSET.
- Undang – Undang No. 23 Tahun 1997. *Pengelolaan Lingkungan Hidup*. LN 1997/68; TLN NO.3699. Jakarta.
- Sutrisno, Isjudarto. 2017. "Analisis Kerusakan Lingkungan Fisik Akibat Penambangan Pasir Dan Batu Di Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta". *Promine Journal, June 2017, vol. 4 (1), page 28-33*. Jurusan Teknik Pertambangan STTNAS Yogyakarta.
- Nawy.EG, Tavio, K.Benny. 2010. *Beton Bertulang*. Surabaya : ITS Press
- Nugraha. P, Antoni. 2007. *Teknologi Beton Dari Material, Pembuatan ke Kinerja Tinggi*. Yogyakarta : Andi OFFSET.
- SNI 15-2049-2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- Nawy, E.G. 2010. *Beton Bertulang*. Diterjemahkan Oleh : Bambang Suryoatmono. Bandung : PT. Refika Aditama.
- SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung 2002, Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- SNI 03-6820-2002. *Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- ASTM C 1995:304. *Standard Spesification For Coal Fly Ash And Raw or Calcined Natural Pozzolan For Use in Concrte*.
- ACI, 2015. *Manual of Concrete Practice*.
- K. Rahmi, P.Jones. 2017 . "Preliminary Studies on Steel Slag as a Substitute for Coarse Aggregate on Concrete". *Matech Web Conferences 138*. Department of Civil Engineering. University of Sumatera Utara. Medan. Indonesia.
- K, Anitha. S, Thendral. 2017. "Experimental Study on Slef Compacting Concrete With Blast Furnace Slag as Coarse Aggregate". *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. Volume 116 No. 13.p. 85-90.
- G.C, Behrera. R.K, Behera. 2016. "A Study on Properties of Self Compacting Concrete With Slag as Coarse Aggregate". *International Research Journal of Engineering and Technology*. Volume : 03 Issue. January 2016.
- I. Papayianni, E. Anastasiou. 2011. "Development of Self Compacting Concrete by Using High Volume of Calcareous Fly Ash". World Coal Ash Conference. May 9-12. USA.
- Mulyanto, Tri. 2015. *Analisis Sifat Mekanis Beton SCC Mutu Tinggi Dengan Pemanfaatan Teknologi High Volume Fly Ash Concrete*. Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muammadiyah Surakarta.
- N. Bouzouba, M.Lachemib. 2001. "Self Compacting Concrete Incorporating High Volumes of Class F Fly Ash Preliminary Results". *International Centre for Sustainable Development of Cement and Concrete. Cement and Concrete Research*, Vol. 31, No. 3, Mar. 2001, pp. 413-420
- ASTM 494. 1995. *Chemical Admixture*.

- SK SNI S-04-1989-F. *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A Bahan Bangunan Bukan Logam*, Jakarta. BSN.
- SNI 03-1974-2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- SNI 2493-2011. *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- SNI 03-1969-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Pusjatan. Balitbang PU.
- SNI 15-2049-2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- SNI 15-2531-1991. *Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- SNI 03-6468-2000. *Perencanaan Campuran Tinggi Dengan Semen Portland Dengan Abu Terbang*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- H. Kartika. 2008. "Specifying Fly Ash for Use in Concrete". *Research & Materials Engineering*, NRMCA. Spring 2008.
- SNI 03-2495-1991. *Spesifikasi Bahan Tambahan Untuk Beton*. Departemen Pekerjaan Umum. Bandung : Yayasan LPMB.
- A. Archi, Agus Ahmad. 2015. *Inovasi Bahan dan Teknologi Beton*. Unibersitas Brawijaya : Jurusan Teknik Sipil.
- Departemen Pekerjaan Umum Badan Penelitian dan Pengembangan PU. 1989. *Pedoman Beton*. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum . 1989. *Pedoman Beton*. Jakarta : Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Cipta karya. 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia*. Jakarta : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- SNI 03-1971-1990. *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*. Pustran-Balitbang PU.
- SNI 03-2816-1992. *Uji Kotoran Organik Pasir*. Pustran-Balitbang PU.
- SNI 03-1968-1990. *Analisa Saringan Agregat Halus Dan Agregat Kasar*. Pustran-Balitbang PU.
- SNI 1973-2008. *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Dan Kadar Udara Beton*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- SNI 1969-2008. *Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- SNI 03-1970-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Pusjatan-Balitbang PU.
- Tomasiello, Matteo Felitti. 2010. "EAF-Slag In Self Compacting Concretes". *Journal of Architecture and Civil Engineering*. Vol. 8, No 1, 2010, pp. 13 – 21.
- EFNARC, 2002. *Specification and Guidelines for Self Compacting Concrete*.