

## Pengaruh *Fly Ash* sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Berat Isi dan Kuat Tekan Segmen Kolom Praktis Modular Ramah Lingkungan

Liona Harmoni Utami<sup>1</sup>, Chundakus Habsya<sup>2</sup>, Rima Sri Agustin<sup>3</sup>  
Email: lionaharmoni@student.uns.ac.id

Diterima : 20 Oktober 2022  
Disetujui : 12 Juni 2023  
Terbit : 31 Juli 2023

**Abstrak:** Limbah *fly ash* terus meningkat sebanding dengan meningkatnya produksi semen dan kebutuhan manusia dalam penggunaan listrik. *Fly ash* tergolong dalam limbah B3 berdampak negatif bagi kesehatan dan lingkungan. Penggunaan limbah *fly ash* pada beton dapat meningkatkan kuat tekan beton, sehingga menjadi salah satu solusi mengurangi dampak negatif limbah *fly ash*. *Fly ash* akan digunakan sebagai pengganti sebagian semen dengan 4 variasi sempel segmen kolom praktis (SKPM) berukuran 150 mm x 150 mm x 150 mm dengan lubang tengah berukuran 80 mm x 80 mm x 150 mm sebanyak 32 buah untuk pengujian berat isi dan kuat tekan SKPM. Tujuan penelitian ini untuk mengkaji: (1) Pengaruh *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap berat isi Segmen Kolom Praktis Modular (SKPM). (2) Pengaruh *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap semen kuat tekan SKPM. (3) Hubungan berat isi dan kuat tekan SKPM. (4) Pengaruh *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap kriteria beton ramah lingkungan. Penelitian metode kuantitatif eksperimental dilakukan di laboratorium. SKPM menggunakan perbandingan semen dan pasir sebesar 1:7 dengan nilai faktor air binder (fab) 0,48. Pengujian berat isi mengacu SNI 1973:2008 dan pengujian kuat tekan mengacu pada SNI 03-0349-1989. Perawatan beton dilakukan selama 28 hari dari waktu pembuatan sampai waktu pengujian. Hasil penelitian ini adalah: (1) Adanya pengaruh *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap semen mengakibatkan kenaikan berat isi SKPM dengan nilai maksimal sebesar 2013,261 kg/m<sup>3</sup> pada variasi *fly ash* 30%. (2) Adanya pengaruh *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen mengakibatkan terjadi kenaikan kuat tekan SKPM dengan nilai maksimal sebesar 73,561 kgf/cm<sup>2</sup> pada variasi *fly ash* 20%. (3) Berat isi SKPM memenuhi standar SNI 1973:2008 dan kuat tekan SKPM memenuhi standar 03-0349-1989 mutu I dengan nilai maksimal variasi 20% *fly ash*. (4) Adanya pengaruh *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen memiliki ciri-ciri kriteria beton ramah lingkungan sesuai dengan kategori penilaian Material Resource and Cycle pada perangkat penilaian *GreenShip Rating Tools* versi 1.0 dengan *recycle* limbah dan membuat material SKPM prapabrikasi.

**Keyword:** berat isi; *fly ash*; kuat tekan; prapabrikasi; ramah lingkungan

**Abstract:** *Fly ash waste continues to increase in proportion to the increase in cement production and human needs in the use of electricity. Fly ash is classified as B3 waste which has a negative impact on health and the environment. The use of fly ash waste in concrete can increase the compressive strength of concrete, so that it becomes one solution to reduce the negative impact of fly ash waste. Fly ash will be used as a partial replacement for cement with 4 variations of practical column segment samples (PCSS) measuring 150 mm x 150 mm x 150 mm with a center hole measuring 80 mm x 80 mm x 150 mm as many as 32 pieces for testing the density and compressive strength of PCSS. This research was purpose to analyze: (1) The effect of fly ash as a particular replacement of cement to density of PCSS. (2) The effect fly ash as a particular replacement of cement to compression strength of PCSS. (3) The relationship between density and compressive strength of PCSS with fly ash as a particular replacement of cement, (4) The effect of fly ash as a particular replacement of cement to After the concrete was curing until 28 days, then doing density and compression strength testing of be a criterias of environmentally friendly. This research is experimental quantitative research done in laboratories. PCSS used ratio of cement and sand is 1:7*

with a fab value is 0.48. Dencity test for based on SNI 1973:2008 and compressive strength test based on SNI 03-0349-1989. Concrete treatment is carried out for 28 days from the time of manufacture to the time of testing. The research resulted: (1) The use of fly ash as a particular replacement of cement resulted increase in the density of PCSS with a maximum value of 2013,261 kg/m<sup>3</sup> in 30% fly ash variation. (2) The use of fly ash as a particular replacement of cement resulted in a continuous increase in the compressive strength of PCSS with maximum value of 73,561 kgf/cm<sup>2</sup> in 20% fly ash variation. (3) The density of PCSS fly ash meets the SNI 1973:2008 standard and the compressive strength of PCSS fly ash meets the standard 03-0349-1989 quality I with a value of maximum variation of 20% fly ash. (4) The use of fly ash as a particular replacement of cement have characteristics from the criteria for green concrete based on rating aspects about Material Resource and Cycle from Green Building Council Indonesia version of 1.0 are done force to recycle of waste and make SKPM materials are modular/ prefabricated.

**Keyword:** fly ash; prefabricated; density; compressive strength; ecofriendly concrete

<sup>1,2,3</sup> Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret

## PENDAHULUAN

Pembangunan gedung infrastruktur Indonesia mengalami peningkatan setiap tahun. Komponen struktur dan non struktur gedung menggunakan beton. Komponen struktur berupa kolom perlu waktu cukup lama untuk persiapan bekesting. Pengerjaan kolom masih menggunakan metode konvensional, sehingga dibutuhkan inovasi dalam pengerjaan yang terencana. Beton prapabrikasi menjadi salah satu inovasi. Pengerjaan kolom lebih cepat dikarenakan tidak memerlukan persiapan bekesting melainkan menggunakan komponen prapabrikasi. Penelitian sebelumnya mengenai segmen kolom praktis modular oleh Setya, et al. (2017) menjadi referensi penelitian ini.

Sistem menggunakan SKPM dalam pemasangan kolom diharapkan menjadi alternatif dalam proses pekerjaan kolom yang masih menggunakan metode konvensional karena inovatif, hemat waktu, hemat biaya mutu terkontrol dan ramah lingkungan. Penelitian ini dilakukan pada benda uji segmen kolom praktis modular atau SKPM. Bahan utama penyusun SKPM seperti pada SNI 03-0349-1989 yang tersusun dari Semen Portland, agregat dan air. Penelitian ini menggunakan jenis beton berdasarkan agregat penyusunnya yaitu mortar (Ahmad, et al, 2017).

Semen merupakan salah satu bahan

pembuatan beton. Konsumsi semen meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya pembangunan gedung dan infrastruktur Indonesia. Asosiasi Semen Indonesia (2021) menyebutkan, tahun 2021 konsumsi semen domestik tercatat 65,2 juta ton naik 4,3% dari tahun 2020. Upaya untuk mengurangi dampak negatif pabrik semen adalah mengurangi penggunaan semen pada pembuatan beton.

*Fly ash* dapat dimanfaatkan untuk pengganti semen dan mengurangi limbah pembakaran batu bara. Limbah *fly ash* terus meningkat sebanding dengan meningkatnya kebutuhan manusia dalam penggunaan listrik. Pemakaian bahan bakar batu bara dalam penggunaan listrik pada tahun 2018 mencapai 60.481.244,55 ton. (Statistik ketenagalistrikan, 2019). Kementerian Negara Lingkungan Hidup berdasarkan PP No. 85 Tahun 1999 tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun sudah menetapkan *fly ash* ke dalam kategori limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun).

Penggunaan limbah *fly ash* pada beton dapat meningkatkan kuat tekan. Penelitian yang dilakukan oleh Rutkowska et al. (2020), *fly ash* pada beton dengan campuran 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% sebagai bahan pengganti semen dengan hasil menunjukkan bahwa

beton mengalami kuat tekan maksimum dengan menggunakan variasi 20% *fly ash* pada pengujian 28 hari.

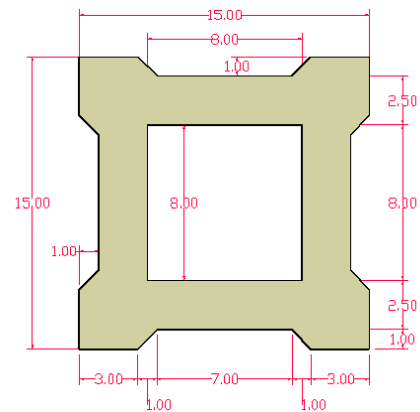
Dari penjelasan diatas peneliti bertujuan untuk menggunakan *fly ash* 0%, 10%, 20% dan 30% sebagai pengganti semen dengan sistem modular yang merupakan beton dengan pembuatan prafabrikasi. Sehingga, beton ini bisa dikatakan dengan segmen kolom praktis modular beton (SKPM). Diharapkan penelitian ini menjadi alternatif dalam menangani limbah *fly ash*, mengurangi sampah dalam konstruksi, lebih hemat biaya dan mempersingkat waktu pengerjaan.

Tujuan penelitian ini untuk mengkaji: (1) Pengaruh *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap berat isi Segmen Kolom Praktis Modular (SKPM). (2) Pengaruh *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan SKPM. (3) Hubungan berat isi dan kuat tekan SKPM. (4) Pengaruh *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap kriteria beton ramah lingkungan.

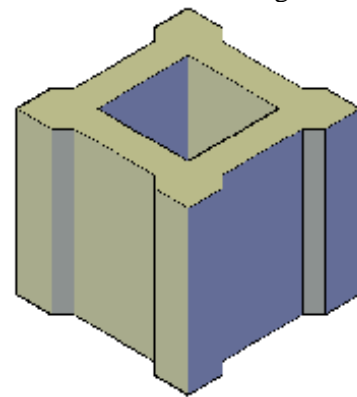
## METODE PENELITIAN

Metode kuantitatif dengan desain penelitian eksperimental murni (*true experimental*) yang dilakukan di laboratorium. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen yang digunakan yaitu dengan mengambil gambaran pengaruh mengenai pengaruh penggantian *fly ash* sebagai pengganti semen terhadap benda uji untuk mendapatkan pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi terkendali.

Benda uji berupa segmen kolom praktis modular beton atau kita sebut dengan (SKPM) dengan bentuk berupa kubus, berdimensi 150 mm x 150 mm dan tinggi 150 mm, sedangkan untuk dimensi lubang pada bagian tengah berukuran 80 mm x 80 mm dan tinggi 150 mm. Campuran semen (PC) dan pasir (PS) SKPM adalah 1 PC : 7 PS. Mutu SKPM rencana adalah memenuhi standar mutu II SNI-03-0349-1989 dengan diaji pada umur 28 hari.



Gambar 1 Desain Segmen



Gambar 2 Bentuk Segmen Kolom Praktis

Variabel penelitian ini ada dua yaitu, pertama adalah variabel bebas berupa variasi *fly ash* 10%, 20% dan 30% dari berat semen. Sedangkan variabel terikat berupa berat isi dan kuat tekan. Jumlah benda uji untuk setiap variasi sebanyak 8 buah. Sehingga total benda uji berat isi dan kuat tekan sebanyak 32 buah SKPM Seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Sampel Penelitian Persentase *Fly ash* Pada SKPM

<i>Fly Ash</i>	Berat Isi SKPM		Kuat Tekan SKPM	
	Jumlah	Kode	Jumlah	Kode
0%	4	SN.1.7	4	SN.1.7
10%	4	SA.1.7.10	4	SA.1.7.10
20%	4	SA.1.7.20	4	SA.1.7.20
30%	4	SA.1.7.30	4	SA.1.7.30
<b>Jumlah</b>	<b>16</b>		<b>16</b>	

Keterangan kode benda uji:

SN.1.7 = SKPM normal 1:7

SA.1.7.10= SKPM 1:7 *fly ash* 10%

SA.1.7.20= SKPM 1:7 *fly ash* 20%

SA.1.7.30= SKPM 1:7 *fly ash* 30%

Tahapan pelaksanaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan bahan
  - a. Pasir yang digunakan pasir Muntilan berasal dari Magelang.
  - b. Semen yang digunakan semen Portland (PC) tipe I merek semen Gresik.
  - c. *Fly ash* yang digunakan dari merk Mentari dari CV. Lestari yang didapatkan dari PT. SCG Readymix Sukoharjo
  - d. Air yang digunakan dari Laboratorium Pendidikan Teknik Bangunan FKIP Universitas Sebelas Maret.
2. Pengujian bahan penyusun
  - a. Pemeriksaan kadar air agregat halus berdasarkan SNI 1971-2011 tentang cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan.
  - b. Pemeriksaan zat organik agregat halus berdasarkan SNI 2816-2014 tentang metode uji bahan organik dalam agregat halus untuk beton.
  - c. Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus berdasarkan SNI ASTM C117-2012 tentang metode uji bahan yang lebih halus dari saringan 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) dalam agregat mineral dengan pencucian.
  - d. Pemeriksaan *specific gravity* agregat halus berdasarkan SNI 1970-2008 tentang cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus.
  - e. Pemeriksaan gradasi agregat halus berdasarkan SNI ASTM C136-2012 tentang metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar.
3. Mix design
 

Perhitungan *mix design* dengan kuat tekan rencana mutu II bata beton berlubang untuk pasangan dinding yaitu sebesar 50 kg/cm<sup>2</sup> dengan *mix design* sesuai dengan SNI 03-6825-2002 dengan perbandingan volume campuran semen dan agregat halus 1 PC : 7 PS dan faktor airbender 0,48. Persentase *fly ash* yang digunakan sebesar 10%, 20% an 30% dari berat semen.
4. Pembuatan benda uji
  - a. Perisapan bahan
    - b. Pengadukan campuran
    - c. Pengujian *flow of hydraulic cement mortar* berdasarkan pada ASTM C-1437-07.
    - d. Pencetakan
5. Perawatan benda uji
 

Perawatan beton sesuai SNI 03-4810-1998, beton yang telah dilepas dari cetakan diletakkan pada tempat yang tidak terkena sinar matahari langsung. Perawatan produk modular beton dilakukan penyiraman dengan air setiap hari. Perawatan ini sampai umur 28 hari.
6. Pengujian berat isi dan kuat tekan
  - a. Uji berat isi SKPM.
 

Pengukuran dimensi dengan mengukur panjang, lebar, dan tinggi, serta ketebalan tiap-tiap benda uji SKPM yang dilakukan mengacu pada ketentuan SNI 1973-2008. Selanjutnya kubus mortar dan SKPM ditimbang dan dicatat beratnya. Tahap pengujian berat isi SKPM sebagai berikut:

Nilai berat isi bisa dihitung dengan rumus berikut Rumus Perhitungan:

$$\text{Berat isi (B)} = \frac{W}{V}$$
  - b. Uji kuat tekan SKPM.
 

Uji kuat tekan sesuai dengan acuan SNI 03-0349-1989. Pengukuran luas penampang benda uji SKPM. Menimbang setiap benda uji. Letakkan benda uji pada mesin *Universal Testing Machine (UTM)* dan lakukan pembebanan konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm<sup>2</sup> per detik sampa benda uji hancur.

Kuat tekan bisa dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Kuat Tekan (P)} = \frac{F}{A}$$
7. Analisis data
 

Analisa data yang dilakukan adalah data yang diperoleh dari hasil pengujian nilai sebar, berat isi dan kuat tekan dari Kubus Mortar dan SKPM menggunakan *Microsoft Excel*.

## ANALISA DAN PEMBAHASAN Hasil Pengujian

### 1. Hasil Pemeriksaan Bahan

Penelitian ini dilakukan pemeriksaan bahan terhadap agregat halus (pasir) yaitu meliputi pemeriksaan kadar air, kadar lumpur, berat jenis, penyerapan air, kandungan zat organik, dan modulus kehalusan. Hasil pemeriksaan bahan agregat halus (pasir) pada tabel 2 di bawah.

Tabel 2 Hasil Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaan	Hasil	Standar
Kadar air	6,59%	-
Kadar lumpur	10,609%	$\leq 10\%$
Berat jenis	2,56	2,5-2,7
Penyerapan air	2,05%	-
Kandungan zat organik	No. 3	No. 3 10%- 20%
Modulus kehalusan	2,22	1,5-3,8

## 2. Mix Design SKPM

Penelitian ini dibuat campuran semen (PC) dan pasir (PS) SKPM 1 PC : 7 PS dengan faktor air binder (fab) 0,48 yang dihitung per volume kubik. Tabel *mix design* SKPM pada tabel 3 di bawah.

Tabel 3 Perhitungan bahan segmen per kubik volume ( $1800 \text{ kg/m}^3$ )

Kode Sampel	Perbandingan Komposisi Campuran				Sat
	Semen	Pasir	FA	Air	
SN.1.7	225	1575	0.0	108	kg
SA.1.7.10	202.5	1575	22.5	108	kg
SA.1.7.20	180	1575	45.0	108	kg
SA.1.7.30	157.5	1575	67.5	108	kg

## Pembahasan

### 1. Berat isi SKPM dengan penggantian *fly ash* umur 28 hari

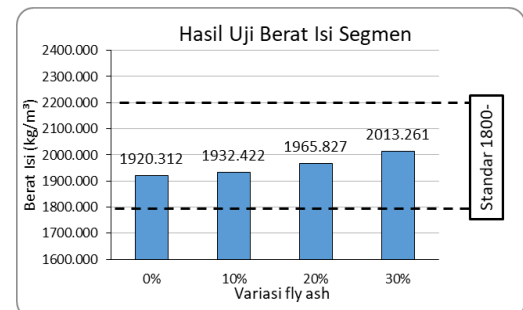
Hasil uji berat isi SKPM dengan penggantian semen dengan *fly ash* pada umur 28 hari menunjukkan berat isi SKPM normal sebesar  $1920.312 \text{ kg/m}^3$ . Berat isi SKPM dengan penggantian semen oleh *fly ash* 10% sebesar  $1932.422 \text{ kg/m}^3$  lebih tinggi 0,631 % dari SKPM normal. Berat isi SKPM dengan penggantian semen oleh *fly ash* 20% sebesar  $1965.827 \text{ kg/m}^3$  lebih tinggi 2,370 % dari SKPM normal. Berat

isi SKPM dengan nilai maksimal pada penggantian semen oleh *fly ash* 30% sebesar  $2013.261 \text{ kg/m}^3$  lebih tinggi 4,840 % dari SKPM normal.

Kenaikan berat isi disebabkan karena *fly ash* bersifat hidrolis yang akan bereaksi dengan mengikat kapur bebas atau kalsium hidroksida  $\text{Ca(OH)}_2$  yang dilepaskan oleh semen saat proses hidrasi, dari hasil hidrasi semen tersebut akan membuat beton lebih kedap air. Dapat dilihat dari tabel 4 dan gambar 4 hasil uji berat isi SKPM di bawah.

Tabel 4 Hasil uji berat isi SKPM

Kode Benda Uji	FA	Berat isi ( $\text{kg/m}^3$ )
SN.1.7	0%	1920.312
SA.1.7.10	10%	1932.422
SA.1.7.20	20%	1965.827
SA.1.7.30	30%	2013.261



Gambar 4 Hasil uji berat isi SKPM

### 2. Kuat tekan SKPM dengan penggantian *fly ash* umur 28 hari

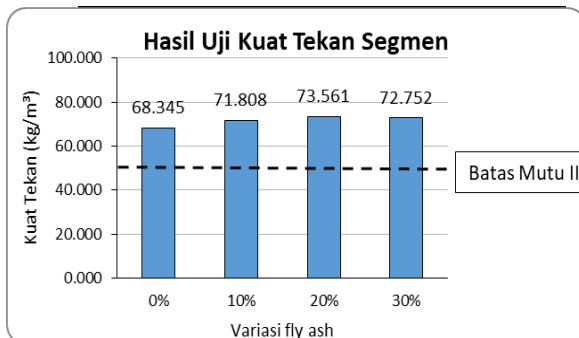
Hasil uji kuat tekan SKPM dengan penggantian semen dengan *fly ash* pada umur 28 hari menunjukkan kuat tekan SKPM normal sebesar  $68,345 \text{ kgf/cm}^2$ . Kuat tekan SKPM dengan penggantian semen oleh *fly ash* 10% sebesar  $71,808 \text{ kgf/cm}^2$  lebih tinggi 5,066% dari SKPM normal. Kuat tekan SKPM dengan nilai maksimal pada penggantian semen oleh *fly ash* 20% sebesar  $73,561 \text{ kgf/cm}^2$  lebih tinggi 7,632% dari SKPM normal. Kuat tekan SKPM dengan penggantian semen

oleh *fly ash* 30% sebesar 72,752 kgf/cm<sup>2</sup> lebih tinggi 6,447% dari SKPM normal.

Hasil kuat tekan yang rendah ini disebabkan oleh benda uji yang belum sempurna kering setelah penyiraman saat perawatan dan penambahan *fly ash* yang berlebihan. Menurut Sunarsih dan Sucipto (2017) penurunan kuat tekan disebabkan oleh jumlah semen yang semakin sedikit oleh penggantian *fly ash* sehingga semen yang berfungsi sebagai bahan perekat tidak cukup untuk merekatkan semua bahan penyusun beton, sehingga ikatan tidak sempurna dan akibatnya kekuatan beton menjadi menurun. Dapat dilihat dari tabel 5 dan gambar 5 hasil uji kuat tekan SKPM di bawah.

Tabel 5 Hasil uji kuat tekan SKPM

Kode Benda Uji	FA	f <sup>cr</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )
SN.1.7	0%	68.345
SA.1.7.10	10%	71.808
SA.1.7.20	20%	73.561
SA.1.7.30	30%	72,752



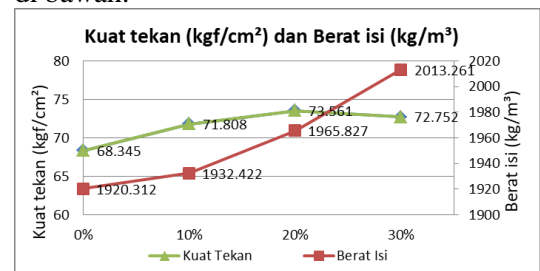
Gambar 5 Hasil uji kuat tekan SKPM

### 3. Hubungan berat isi dan kuat tekan SKPM dengan penggantian *fly ash* umur 28 hari

Berat isi SKPM terus mengalami peningkatan sebanding dengan penggantian penggantian semen oleh *fly ash* 0%, 10%, 20% dan 30%. Sedangkan hasil kuat tekan SKPM terus mengalami peningkatan dengan penggantian semen oleh *fly ash* pada variasi 10% dan nilai maksimal pada variasi 20%. Selanjutnya

pada variasi penggantian semen oleh *fly ash* 30% mengalami penurunan.

SKPM dengan penggantian semen oleh *fly ash* pada variasi 20% dapat menjadi pilihan alternatif bahan bangunan karena nilai kuat tekan SKPM pada variasi 20% dan telah memenuhi standar mutu I dengan nilai lebih dari 70 kgf/cm<sup>2</sup> mengacu SNI 03-0349-1989 dan berat isi memenuhi standar sebesar 1800-2200 kg/m<sup>3</sup> mengacu SNI 1973-2008. Dilihat pada gambar 6 hubungan berat isi dan kuat tekan SKPM di bawah.



Gambar 6 Hubungan berat isi dan kuat tekan SKPM

### 4. Pengaruh *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap kriteria beton ramah lingkungan

Kriteria beton ramah lingkungan SKPM sesuai dengan perangkat penilaian *GreenShip Rating Tools* untuk rumah tinggal versi 1.0 *Green Building Council Indonesia* dalam mewujudkan rumah ramah lingkungan pada kategori Sumber dan Daur Material *Material Resource And Cycle (MRC)* yang terpenuhi dalam SKPM dengan pemanfaatan limbah *fly ash*, diantaranya :

- Kode MRC 1: Refrigeran Bukan Perusak Ozon (Non ODP Refrigerant). SKPM limbah *fly ash* tidak menggunakan refrigeran hydrochlorofluorocarbon (HCFCs) untuk AC.
- Kode MRC 3: Material dari sumber yang ramah lingkungan (Environmental Friendly Material Source). SKPM mendaur ulang (*recycle*) *fly ash* dari pembakaran batu bara.
- Kode MRC 6: Material Pra Fabrikasi (Prefab Material). SKPM dibuat

dengan sistem prapabrikasi, bertujuan untuk mengurangi limbah konstruksi berupa bekisting untuk mencetak kolom praktis.

- d. Kode MRC 7: Material Lokal (*Local Material*). Kode MRC 7 bertujuan untuk mengurangi jejak karbon dari penggunaan moda transportasi dan meningkatkan ekonomi setempat. SKPM pemanfaatan *fly ash* mengurangi permasalahan limbah *fly ash* dari pembakaran batu bara PLTU dan emisi CO<sub>2</sub> oleh proses produksi semen di Indonesia. Selain memberikan manfaat dari segi lingkungan, SKPM pemanfaatan *fly ash* juga dapat meningkatkan nilai ekonomi. *Fly ash* diperoleh di PT. SCG Readymix Sukoharjo, wilayah Sukoharjo dapat memanfaatkan *fly ash* menjadi sumber ekonomi daerah dengan mengembangkannya menjadi produk SKPM. SKPM pemanfaatan *fly ash* mengurangi biaya penggunaan (*reduce*) semen pada SKPM. Selain itu, SKPM dalam konstruksi mengurangi biaya kebutuhan bekisting dan mengefisiensi waktu pengerjaan.

Tabel 6 Perhitungan bahan segmen per kubik volume (1800 kg/m<sup>3</sup>)

Kode Sampel	Perbandingan Komposisi Campuran				Sat
	Semen	Pasir	FA	Air	
SN.1.7	225.0	1575	0.0	108	kg
SA.1.7.10	202.5	1575	22.5	108	kg
SA.1.7.20	180.0	1575	45.0	108	kg
SA.1.7.30	157.5	1575	67.5	108	kg

Produksi SKPM per m<sup>3</sup> menghasilkan sekitar 500 buah segmen, butuh semen sebanyak 225 kg dan pasir sebanyak 1575 kg. Apabila menggantikan semen dengan *fly ash* sebanyak 20% maka akan membutuhkan *fly ash* sebanyak 45 kg/m<sup>3</sup> dan semen berkurang menjadi 180 kg/m<sup>3</sup>.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Pemanfaatan variasi 10%, 20% dan 30% *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen berpengaruh terhadap berat isi SKPM dan terjadi kenaikan. Berat isi maksimal SKPM pada variasi 30% *fly ash* meningkat 4,840% dari SKPM normal, sebesar 2013,261 kg/m<sup>3</sup>.

- Pemanfaatan variasi 10%, 20% dan 30% *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen berpengaruh terhadap kuat tekan SKPM dan terjadi kenaikan. Kuat tekan maksimal SKPM pada variasi 20% meningkat 7,632% dari SKPM normal, sebesar 73,561 kgf/cm<sup>2</sup> pada variasi 20% *fly ash*.
- Hubungan berat isi SKPM dan kuat tekan SKPM sedikit tidak linier dengan variasi 10%, 20% dan 30% *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen. Berat isi terus mengalami peningkatan sedangkan nilai maksimal kuat tekan SKPM pada variasi *fly ash* 20% dan terjadi penurunan kuat tekan pada variasi *fly ash* 30%.
- Pemanfaatan variasi 10%, 20% dan 30% *fly ash* sebagai pengganti semen pada SKPM dapat dikatakan memenuhi kriteria beton ramah lingkungan sesuai dengan kategori penilaian *Material Resource and Cycle* pada perangkat penilaian *GreenShip Rating Tools* versi 1.0, yaitu sebagai berikut:
  - Menggunakan bahan *Reduce* dan *Recycle* yang berasal dari limbah.
  - Menggunakan bahan material bersumber dari sumber daya regional yang mendukung perekonomian nasional.
  - Menggunakan material berbentuk prapabrikasi.
  - Pemanfaatan variasi 20% *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen pada SKPM butuh *fly ash* 45 kg/m<sup>3</sup> dan semen berkurang 180 kg/m<sup>3</sup>.

## SARAN

Diharapkan adanya penelitian-penelitian yang lebih berkembang dalam pembuatan SKPM menggunakan bahan campuran inovatif.

Penelitian lebih lanjut mengenai reaksi kima, yang terjadi pada agregat halus, semen, dan *fly ash* pada SKPM.

Penelitian lebih lanjut diperlukan mengenai nilai sebar dari *uji flow of hydraulic mortar cement* pada campuran lain untuk membuat sampel SKPM.

Penelitian lebih lanjut dalam bidang pendidikan tentang kajian variasi limbah *fly ash* sbagai pengganti semen untuk suplemen bahan ajar Mata Kuliah Teknologi Beton Penelitian lebih lanjut diperlukan tentang kajian nilai ekonomis SKPM limbah *fly ash* variasi 10%, 20% dan 30%.

### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1971:2011-Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (1998). *SNI-03-4810-1998-Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Lapangan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-6815-2002- Tata Cara*
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-6825-2002-Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1970: 2008-Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1973:2008-Cara uji berat isi, volume produksi campuran dan kadar udara beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI ASTM C117: 2012-Metode uji bahan yang lebih halus dari saringan 75 m (No. 200) dalam agregat mineral dengan pencucian (ASTM C117-2004, IDT)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral ESDM, 2019. *Statistik Ketenagalistrikan 2019*. Jakarta: Dirjen Ketenagalistrikan Kementerian ESDM
- Green Building Council Indonesia. (2014). *Greenship Rating Tools, Greenship untuk Bangunan Baru Versi 1.0*. Jakarta: Green Building Council Indonesia
- Rutkowska, G., Wichowski, P., Franus, M., Mendryk, M., & Fronczyk, J. (2020). *Modification of Ordinary Concrete Using Fly ash from Combustion of Municipal Sewage Sludge*. *Materials* (Basel, Switzerland), 13(2), 487. <https://doi.org/10.3390/ma13020487>
- Setia, H., Habsya, C., Adi, S. (2017). Pengaruh Penggunaan Pecahan Genteng Dan Penambahan *Fly ash* Terhadap Kuat Tekan Segmen Kolom Modular Dan Beban Aksial Komponen Kolom Sebagai Suplemen Bahan Ajar Mata Kuliah Teknologi Beton. *Indonesian Journal of Civil Engineering Education*, 1(2). <https://doi:10.20961/ijcee.v1i2.18230>
- Sunarsih, E., Sucipto, T. A. (2017) *Tinjauan Penambahan Limbah Styrofoam Dan Fly ash Terhadap Berat Jenis, Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton Ringan Struktural*, 7(2), [https://DOI: 10.20961/jiptek.v7i2.12690](https://DOI:10.20961/jiptek.v7i2.12690)
- Widyawati, R. (2011). Studi Kuat Tekan Beton Beragregat Ramah Lingkungan. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Lampung*, 15(3), 140975.