

PEMANFAATAN *FLYASH* SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN PADA KOLOM STRUKTUR MODULAR BETON RAMAH LINGKUNGAN

Ijlal Fashadad¹, Chundakus Habsya², Rima Sri Agustin²
Email: fashaldad@gmail.com

Diterima : 25 Mei 2021
Disetujui : 16 September 2021
Terbit : 31 Desember 2021

Abstrak : Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan *fly ash* dengan variasi 10%, 15% dan 20% sebagai bahan substitusi parsial semen untuk menghasilkan nilai berat isi minimal, kriteria beton ramah lingkungan dan perbandingan biaya antara kolom struktur konvensional dan kolom struktur prapabrikasi. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimen, dengan standar pengujian berat isi mengacu pada SK SNI T: 15-1991- 03. *Mix design* segmen kolom menggunakan perbandingan 1 Pc: 2,67 Ps: 2,9 Kr, FAS sebesar 0,55 dan diuji pada umur 28 hari. Sampel uji berat isi berdimensi 30 cm x 30 cm x 15 cm. Persentase optimal penggunaan *fly ash* yaitu 15% menghasilkan nilai berat isi optimal sebesar 2459,416 kg/m³. Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan substitusi parsial semen pada kolom memenuhi kriteria ramah lingkungan yaitu mengurangi gas emisi CO₂ sebesar 40,74 kg per m³ campuran beton dengan variasi 15% *fly ash* dan mengurangi sampah bekisting sebesar 3,6 m² setiap pembuatan 2–3 batang kolom struktur. Penggunaan metode prapabrikasi dapat mereduksi biaya pembuatan sebesar 15,58% dan waktu pembuatan sebesar 21,6%.

Kata Kunci: Ekonomis, *fly ash*, kolom struktur modular, ramah lingkungan.

Abstract : This study aims to analyze the use of *fly ash* with variations of 10%, 15% and 20% as a partial substitution of cement to produce an optimal density value, environmentally friendly concrete criteria and the cost comparison between conventional structural columns and prefabricated structural columns. The research method used was the experimental method, with standard density testing referring to SK SNI T: 15-1991-03. *Mix design* column segment used a ratio of 1 Pc: 2.67 Ps: 2.9 Kr, FAS of 0.55 and tested at 28 days of age. The density test sample has dimensions of 30 cm x 30 cm x 15 cm. The optimal percentage of use of *fly ash* is 15% resulting in an optimal density value of 2459.416 kg/m³. The utilization of *fly ash* as a cement column partial substitusi meet environmental criteria, namely reducing CO₂ emissions of 40.74 kg per m³ of concrete mix with variation in the use of 15% *fly ash* and reduce waste formwork of 3.6 m² every manufacture 2- 3 column structure rods. The use of prefabricated methods can reduce manufacturing costs by 15.58% and manufacturing time by 21.6%.

Keywords: column modular structure, economical, environmentally friendly, *fly ash*.

^{1,2,3}Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret

PENDAHULUAN

Beton adalah campuran semen portland, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambah (SNI 2847 : 2013). Salah satu komponen penting dalam bangunan yang terbuat dari beton

adalah kolom. Pembuatan kolom masih banyak menggunakan metode konvensional, namun metode ini memiliki kelemahan yaitu memerlukan waktu pengerjaan yang lebih lama dan menghasilkan banyak limbah

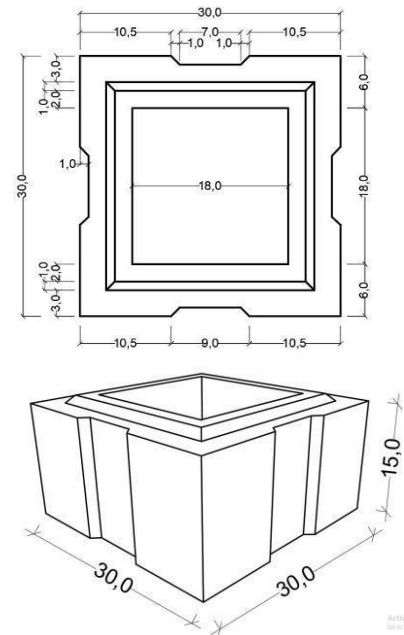
bekisting sebagai limbah hasil konstruksi yang berdampak buruk bagi lingkungan.

Solusi yang dapat dilakukan yaitu mengganti metode pembuatan kolom dari metode konvensional ke metode beton prapabrikasi atau *precast*. Beton prapabrikasi adalah metode dimana elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan dicetak terlebih dahulu (Mulyono, 2006).

Permintaan beton yang semakin tinggi membuat kebutuhan material penyusun beton semakin banyak, maka dari ini perlu dilakukan inovasi yang berguna sebagai bahan pengganti material penyusun beton. Salah satu bahan material yang dapat diganti yaitu semen.

Fly ash adalah limbah yang dihasilkan dari sisa pembakaran batu bara yang mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat *pozzolanik* (Nji, 2014). Dikarenakan *fly ash* merupakan limbah sisa batu bara, *fly ash* tidak dapat dibuang secara bebas karena dapat menimbulkan pencemaran. *Fly ash* memiliki kandungan yang sebagian besar terdiri dari oksida-oksida silika (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3) dan kalsium (CaO) serta potasium, sodium titanium dan sulfur dalam jumlah sedikit (Nugraha Paul dan Antoni, 2007).

Penggunaan metode beton prapabrikasi pada penelitian ini diaplikasikan dengan segmen kolom struktur modular beton, yang terbuat dari beton berbentuk persegi, masing-masing dinding luar segmen kolom modular terdapat takikan berbentuk trapesium untuk perkuatan sambungan dengan dinding atau kusen, memiliki lubang di tengah untuk rangkaian tulangan dan adukan beton (Setia, Habsya, Lilo, 2017). Segmen kolom struktur modular berdimensi 30 cm x 30 cm x 15 cm, sehingga dapat digunakan untuk berbagai tinggi kolom sesuai kelipatan dimensi modul 15 cm (Gambar 1).



Gambar 1 Bentuk Segmen

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di laboratorium yaitu dengan mengambil gambaran pengaruh dari *fly ash* sebagai substitusi parsial semen terhadap nilai berat isi segmen dan kuat aksial kolom.

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Alat
 - a. Mixer campuran beton kering digunakan untuk mencampur dan mengaduk material penyusun segmen (Gambar 2).



Gambar 2 Mixer

- b. Mesin Pencetak, digunakan sebagai alat untuk mencetak segmen kolom struktur modular beton (Gambar 3).



Gambar 3 Mesin Pencetak

- c. Neraca digital, digunakan untuk mengukur berat segmen kolom struktur modular beton (Gambar 4).



Gambar 4 Neraca Digital

- d. Oven, digunakan untuk mengeringkan segmen agar diperoleh berat segmen dalam keadaan bebas udara (Gambar 5).



Gambar 5 Oven

2. Bahan

- Fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* type F,
- Semen portland yang digunakan yaitu semen tipe I
- Agregat halus atau pasir yang digunakan adalah pasir dari Gunung Merapi, ukuran maksimal 4,75 mm.
- Agregat kasar atau kerikil yang digunakan berupa batu pecah ukuran maksimal 1 cm dan 3 cm.

- e. Air.

Pemeriksaan Bahan Dasar

Pemeriksaan dilakukan terhadap agregat halus atau pasir terdiri dari kadar air, kadar zat organik, kadar lumpur, gradasi dan berat jenis. Sedangkan untuk agregat kasar atau kerikil dilakukan pemeriksaan kadar air, gradasi, berat jenis dan keausan. Bahan yang telah memenuhi syarat dapat langsung digunakan sebagai bahan penyusun beton, sedangkan yang tidak memenuhi syarat maka dilakukan pemeriksaan bahan dasar ulang dengan menggunakan bahan yang berbeda atau bahan yang sama namun telah disesuaikan.

Perancangan Campuran

Perbandingan *mix design* yang digunakan pada segmen yaitu 1 Pc: 2,67 Ps: 2,89 Kr dan faktor air semen (fas) sebesar 0,55, sedangkan *mix design* yang digunakan pada isian kolom yaitu 1Pc: 3,79 Ps: 4,03 Kr dan factor air semen (fas) sebesar 0,69. Variasi substitusi *fly ash* yang digunakan yaitu 10%, 15% dan 20 % dari berat semen.

Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan cara mencampur semua bahan material menggunakan *mixer*. Setelah tercampur rata, tambahkan air sedikit demi sedikit hingga tercampur rata dan menggumpal. Setelah itu, dilakukan uji slump untuk memastikan bahwa nilai slump campuran sudah 0 cm.

Adukan yang telah tercampur rata dan siap untuk dicetak dimasukan kedalam mesin cetakan secara bertahap sambil adukan ditusuk-tusuk menggunakan tongkat besi. Setelah cetakan terisi setengah, dilakukan penggetaran agar adukan terisi merata. Selanjutnya, cetakan diisi kembali dengan adukan hingga penuh dan cetakan ditutup. Kemudian mesin pencetak digetarkan hingga penutup cetakan menekan adukan. Mesin cetakan dimatikan dan tutup cetakan dinaikkan. Diamkan segmen yang telah dicetak selama ± 2 menit, kemudian pindahan segmen dan lakukan perawatan selama 28 hari.

Pengujian Berat Isi Benda Uji

Pengujian berat isi dilakukan untuk mengetahui persentase penggunaan agar diperoleh nilai berat isi yang optimal. Pengujian berat isi mengacu pada (SK SNI T:15-1991-03). Data yang dibutuhkan yaitu berat benda uji setelah dioven atau dalam keadaan bebas udara (Gambar 6 & 7).



Gambar 6 Pengovenan benda uji



Gambar 7 Menimbang Berat Benda Uji

Berikut rumus perhitungan nilai berat isi segmen kolom struktur modular beton.

$$D = \frac{W}{V} \quad (1)$$

Keterangan:

D = Berat isi beton (kg/m^3)

W = Berat Beton (kg)

V = Volume Beton (m^3)

HASIL DAN PEMBAHASAN

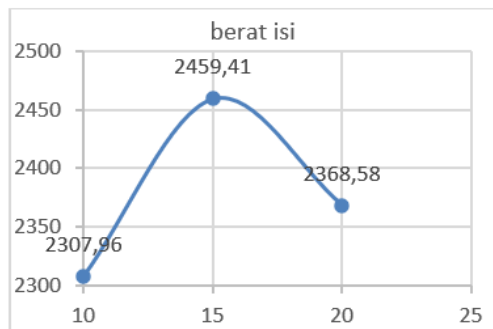
a. Hasil Pengujian Berat Isi

Pengujian berat isi segmen kolom struktur modular beton dilakukan setelah berumur 28 hari menghasilkan nilai optimum pada variasi 15% substitusi *fly ash*. Hasil pengujian penyerapan air dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian Berat Isi Segmen

Kode Benda Uji	No	Berat Isi (Kg/m^3)	Rata – Rata (Kg/m^3)
FA-10 (10%)	1	2275,10	2307,96
	2	2354,09	
	3	2294,69	
FA-15 (15%)	1	2547,98	2459,41
	2	2467,03	
	3	2363,70	
FA-20 (20%)	1	2356,70	2368,58
	2	2389,74	
	3	2359,32	

Penggunaan substitusi *fly ash* dengan variasi 10% menghasilkan nilai berat isi rata-rata sebesar $2307,96 \text{ kg}/\text{m}^3$. Substitusi dengan variasi 15% *fly ash* menghasilkan berat isi rata-rata sebesar $2459,41 \text{ kg}/\text{m}^3$. Sedangkan substitusi variasi 20% menghasilkan nilai berat isi rata-rata $2368,58 \text{ kg}/\text{m}^3$. Berikut grafik nilai berat isi segmen kolom struktur modular beton pada gambar 8 dibawah ini



Gambar 8 Grafik Hasil Pengujian Berat Isi

Penggunaan variasi 15% *fly ash* merupakan variasi optimum untuk menghasilkan nilai berat isi segmen. Ukuran partikel *fly ash* yang sangat halus membuat *fly ash* dapat mengisi celah kecil pada komposisi adukan beton sehingga dapat meningkatkan kepadatan beton. Selain itu, kandungan senyawa silika + alumina pada *fly ash* mampu menambah senyawa baru yang mempunyai sifat mengikat (Nji, Lauw 2014) sehingga membuat segmen menjadi lebih padat, namun jika persentase *fly ash* lebih dari 15% akan mengurangi berat isi segmen kolom struktur karena berat jenis *fly ash* lebih ringan dari berat jenis semen.

b. Kriteria Ramah Lingkungan

Pembuatan material penyusun beton yang ramah lingkungan menurut (GBCI, 2013) Indonesia terletak pada aspek penilaian Sumber dan Siklus Material (*Material Resource and Cycle-MRC*). Penggunaan limbah *fly ash* masuk kedalam tolak ukur sebagai berikut:

1. Poin MRC 2 mengenai pemanfaatan material daur ulang. Penggunaan *Fly ash* dengan variasi 15% dapat mengurangi penggunaan semen sebanyak 49,095 kg semen per 1 m³ kolom menggunakan segmen.
2. Poin MRC 3 terkait penggunaan material yang dapat merusak ozon.

Penggunaan variasi 15% *fly ash* per 1 m³ pembuatan kolom menggunakan segmen dapat mengurangi emisi CO₂ sebanyak 40,74 kg.

3. Poin MRC 4 terkait kayu bersertifikat.

Pembuatan kolom menggunakan segmen tidak memerlukan kayu bekisting sehingga dapat mengurangi limbah bekisting sebanyak 3,6 m² untuk 2-3 kali pemakaian (hidayah, 2019).

4. Poin MRC 5 yaitu mengenai material prapabrikasi.
5. Segmen kolom struktur modular beton masuk kedalam kriteria ini karena penggunaan material dengan desain modular/prapabrikasi.

c. Perbandingan Biaya Pembuatan Kolom Struktur Modular Beton Dan Kolom Konvensional

Tinjauan perhitungan biaya pembuatan kolom struktur menggunakan acuan Keputusan Walikota Surakarta Nomor 065 230 tahun 2019 tentang Standar Satuan Harga tahun Anggaran 2020 dan peraturan PUPR 28/PRT/M/2016 tentang satuan pekerjaan bidang pekerjaan umum. Sedangkan perhitungan durasi pembuatan kolom mengacu pada hasil penelitian Baroq (2019) tentang analisis perbandingan biaya dan waktu pekerjaan kolom dengan metode konvensional dan precast.

Biaya pembuatan kolom struktur konvensional sebesar Rp. 1.374.537, sedangkan biaya pembuatan kolom struktur modular beton sebesar Rp. 1.160.290,67. Durasi pengerjaan 1 kolom struktur konvensional memerlukan waktu 3 jam sedangkan pengerjaan 1 kolom struktur modular beton memerlukan waktu 2-2,5 jam. Perbandingan pengerjaan kolom struktur modular beton dan kolom struktur konvensional disajikan pada tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Perbandingan Kolom Struktur Modular Beton dan Kolom Konvensional

Kode Benda Uji	No	Berat Isi (Kg/m ³)	Rata – Rata (Kg/m ³)
FA-10 (10%)	1	2275,10	2307,96
	2	2354,09	
	3	2294,69	
FA-15 (15%)	1	2547,98	2459,41
	2	2467,03	
	3	2363,70	
FA-20 (20%)	1	2356,70	2368,58
	2	2389,74	
	3	2359,32	

Pembuatan kolom struktur modular beton lebih menghemat waktu dan biaya dibandingkan pembuatan kolom struktur konvensional. Biaya pembuatan kolom struktur modular beton lebih murah 15,58 % dibandingkan biaya pembuatan kolom struktur konvensional. Durasi pembuatan kolom struktur modular beton 21,6% lebih efisien dibandingkan pembuatan kolom konvensional.

KESIMPULAN

Hasil penelitian pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan substitusi parsial semen pada kolom struktur modular beton menuju pada disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai berat isi optimal sebesar 2459,41 kg/m³ pada variasi 15% *fly ash*.
2. Penggunaan variasi *fly ash* memiliki ciri-ciri beton ramah lingkungan karena

dapat mengurangi penggunaan semen sebanyak 49,09 kg/m³, mengurangi gas emisi CO₂ dari proses produksi semen sebanyak 40,74 kg dan mengurangi limbah penggunaan bekisting sebanyak 3,6 m² untuk 2-3 kali pembuatan kolom.

3. Penggunaan metode prapabrikasi dapat mereduksi biaya pembuatan kolom sebesar 15,58% dan waktu pembuatan sebesar 21,6%.

SARAN

Berdasarkan simpulan hasil penelitian pembahasan, maka dapat dikemukakan saran sebagai berikut:

1. Perlu adanya pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai segmen kolom struktur modular beton dengan menggunakan bahan tambah yang inovatif.
2. Pengujian kuat aksial dengan sampel benda uji berdimensi 30 cm x 30 cm dan tinggi 45 cm tidak dapat dilaksanakan karena alat uji mengalami kerusakan sehingga kekuatan tekan alat uji menurun, oleh karena itu sampel benda uji pada penelitian berikutnya dibuat dengan pemodelan prototype.
3. Perlu dilakukan pengujian kolom dengan ketinggian yang berbeda dengan memperhatikan perilaku tekuk elastik pada kolom.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (1991). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. *Sk Sni T:15-1991-03*, 520.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 7833:2012-Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 2847:2013-Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional*.

- GBCI. (2013). Perangkat Penilaian GREENSHIP (GREENSHIP Rating Tools). *Greenship New Building Versi 1.2*, (April).
- Hidayah, S. nur. (2019). Analisis Biaya Bekisting Konvensional Dan Bekisting Semi-Sistem Pada Kolom Bangunan Gedung.
- Malik Ilmu Baroq. (2019). ANALISIS PERBANDINGAN BIAYA DAN WAKTU PELAKSANAAN PEKERJAAN KOLOM ANTARA METODE BETON KONVENSIONAL DENGAN PRECAST.
- Mulyono, T. (2006). TEKNOLOGI BETON: Dari Teori Ke Praktek, (October 2018), 574. Retrieved from <https://trisutomo10.blogspot.com/2015/01/riwayat-perkembangan-beton.html?q=riwayat+perkembangan+beton>
- Nji, lau tjun. (2014). Fly Ash: Overview. Retrieved from <https://lauwtjunnji.weebly.com/fly-ash--overview.html>
- Nugraha Paul dan Antoni. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Setia, H., Habsya, C., Lilo, T. (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.
- Surakarta, K. W. (2019). Standar Satuan Harga Kota Surakarta. Retrieved from <http://www.elsevier.com/locate/scp>