

## KOLOM STRUKTUR MODULAR BETON RAMAH LINGKUNGAN DENGAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN

Eko Teguh Wahyudi<sup>1</sup>, Chundakus Habsya<sup>2</sup>, Rima Sri Agustin<sup>2</sup>  
Email: wahyudiekoteguh@gmail.com

Diterima : 11 Mei 2021  
Disetujui : 10 Agustus 2021  
Terbit : 31 Desember 2021

**Abstrak :** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan abu sekam padi pada persentase 7.5%, 10%, 12.5% sebagai substitusi parsial semen agar diperoleh berat isi segmen kolom struktur modular yang maksimal; menganalisis kolom struktur modular beton yang ramah lingkungan; serta menganalisis perbandingan kolom struktur konvensional dengan kolom struktur modular beton. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan standar uji berat isi segmen kolom mengacu pada SK SNI T-15-1991-03. Perbandingan campuran semen : pasir : kerikil yang digunakan adalah 1 : 2,673 : 2,896 dan FAS sebesar 0.55. Sampel segmen kolom struktur modular berdimensi 300 mm x 300 mm x 150 mm. Sampel diuji setelah perawatan selama 28 hari. Hasil penelitian ini adalah berat isi segmen kolom struktur modular beton sebesar 2317.75 kg/m<sup>3</sup> diperoleh pada persentase 10 % abu sekam padi sebagai substitusi parsial semen. Penggunaan variasi abu sekam padi memiliki ciri-ciri beton ramah lingkungan sesuai aspek penilaian sumber dan siklus material pada perangkat *GreenShip new building* versi 1.2. Penggunaan sistem prapabrikasi kolom struktur modular bernilai ekonomis karena dapat mereduksi biaya pembuatan kolom sebesar 18.21 % dibandingkan kolom struktur konvensional.

**Kata kunci:** Abu sekam padi, Ekonomis, Kolom struktur modular beton, Ramah lingkungan.

**Abstract :** This study aims to analyze the percentage of rice husk ash utilization 7.5%, 10%, 12.5% as a partial substitution of cement in order to obtain the weight of the contents of the maximum modular structure column; analyze the columns of environmentally friendly concrete modular structures; as well as analyzing the ratio of columns of conventional structures with columns of concrete modular structure. This research is a quantitative research with standard weight test of column segment content refers to SNI Sk T-15-1991-03. Comparison of cement mixture: sand: gravel used is 1 : 2,673 : 2,896 and FAS of 0.55. Sample modular structure column segments with a dimensional 300 mm x 300 mm x 150 mm. Samples tested after 28 days of treatment. The result of this study is the weight of the contents of the column of concrete modular structure segment of 2317.75 kg / m<sup>3</sup> obtained at a percentage of 10% rice husk ash as a partial substitution of cement. The use of rice husk ash variations has environmentally friendly concrete characteristics according to the aspects of material resource and cycle on *greenShip new building* device version 1.2. The use of modular structure column pre-manufacturing system is economical because it can reduce the cost of creating columns by 18.21 % compared to conventional structure columns.

**Keywords:** Column modular concrete structure, Environmentally friendly, Economical, Rice husk ash

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

## PENDAHULUAN

Perkembangan di bidang konstruksi bangunan gedung dan perumahan berkembang sangat pesat, terutama perkembangan teknologi beton yang merupakan komponen terpenting dari struktur bangunan. Beton banyak digunakan di dunia konstruksi bangunan karena memiliki kekuatan dan ketahanan terhadap cuaca dan lingkungan sekitar, mudah dalam pembuatan dan perawatan, menggunakan bahan yang mudah didapat dan memiliki usia yang panjang. Banyak elemen konstruksi bangunan gedung yang menggunakan beton.

Salah satu elemen penting dalam konstruksi bangunan gedung dan perumahan adalah kolom. Saat ini pengecoran kolom masih banyak menggunakan metode konvensional. Metode tersebut memiliki banyak kekurangan, yaitu penggunaan bekisting yang menambah biaya konstruksi, proses bongkar pasang bekisting yang menunda pekerjaan lain sehingga waktu yang digunakan untuk menyelesaikan pekerjaan konstruksi bangunan semakin lama. Beberapa alternatif bisa dilakukan, salah satunya adalah menerapkan sistem pracetak kolom.

Kolom pracetak sudah diterapkan di beberapa konstruksi bangunan gedung. Namun tidak semua sistem pracetak kolom dapat diaplikasikan di lapangan karena ukuran komponen struktur belum tentu kompatibel dengan perencanaan denah yang lain. Beberapa solusi telah dilakukan dengan membuat cetakan dalam berbagai jenis ukuran. Namun hal ini dapat meningkatkan biaya pembuatan cetakan kolom yang membuat sistem pracetak belum optimal. Sehingga perlu adanya teknologi konstruksi untuk menjawab permasalahan tersebut.

Pendekatan yang bisa dilakukan untuk menjawab tantangan tersebut adalah menerapkan sistem prapabrikasi kolom, supaya pemasangan kolom langsung di cor tanpa harus memasang bekisting. Pemasangan dinding bisa langsung dikerjakan bersamaan dengan proses penyusunan kolom. Sehingga prapabrikasi kolom ini akan mempersingkat waktu pekerjaan konstruksi bangunan. Penelitian ini sistem prapabrikasi diaplikasikan dengan penggunaan segmen kolom struktur modular beton.

Segmen kolom modular menurut Setia (2015) adalah segmen kolom dari beton berbentuk segi empat berdimensi modular, masing-masing dinding luar segmen kolom modular terdapat takikan berbentuk trapesium sebagai perkuatan sambungan dengan kusen atau dinding, memiliki lubang di tengah untuk rangkaian tulangan dan adukan beton. Segmen dapat digunakan untuk berbagai ketinggian kolom bangunan sesuai dengan kelipatan dimensi modul.

Material penyusun dari segmen kolom struktur modular sama seperti bahan beton pada umumnya, yaitu semen portland, agregat halus, agregat kasar dan air (SNI 2847:2013). Permintaan kebutuhan beton semakin tinggi berpengaruh terhadap material penyusun beton yang semakin tinggi pula. Namun ketersediaan bahan penyusun beton yang ketersediaannya semakin berkurang yaitu semen. Semakin sedikit ketersediaan suatu produk yang diikuti dengan tingginya permintaan produk akan berdampak pada tingginya harga produk tersebut. Sehingga perlu adanya alternatif pengganti semen dengan diadakan penelitian perkembangan teknologi beton.

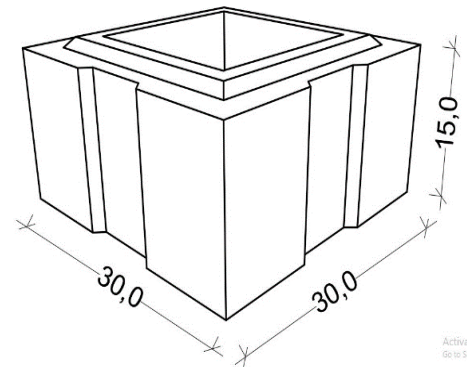
Penelitian tentang perkembangan teknologi bahan penyusun beton telah banyak dilakukan, salah satunya penggunaan abu sekam padi. Abu sekam padi merupakan sisa hasil pembakaran sekam padi. Selama proses perubahan sekam padi menjadi abu, pembakaran menghilangkan zat-zat organik dan menghasilkan sisa pembakaran yang kaya akan silika ( $\text{SiO}_2$ ). Abu sekam padi tergolong sebagai bahan *pozzolan* alami yang mengandung senyawa silika ( $\text{SiO}_2$ ).

Menurut Tjokrodinuljo (2004) *pozzolan* tidak memiliki peran sebagai perekat seperti semen, akan tetapi dalam kondisi halus jika bereaksi dengan air dan kapur pada suhu normal akan menjadi suatu masa padat yang tidak dapat larut dalam air.

Beton prapabrikasi 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).

### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan penelitian metode kuantitatif dengan mengambil data mengenai pengaruh pemanfaatan abu sekam padi sebagai substitusi parsial semen. Sampel dalam penelitian ini adalah segmen kolom struktur modular beton berdimensi 300 mm x 300 mm x 150 mm (gambar 1).



Gambar 1. Segmen Kolom Struktur Modular Beton

Rincian sampel benda uji dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Sampel Benda Uji

Persentase Abu Sekam Padi	Kuat Tekan Aksial	Berat Isi	Jumlah Sampel
	Jumlah	Jumlah	
7.5%	3	3	6
10%	3	3	6
12.5%	3	3	6
Konvensional	3		3
Total	15	12	21

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Alat
  - a. *Mixer* campuran beton kering  
Digunakan sebagai wadah untuk mencampur semua bahan yang dibutuhkan (Gambar 2).



Gambar 2 Mixer

- b. Mesin Pencetak  
Digunakan sebagai pencetak segmen kolom struktur modular beton (Gambar 3).



Gambar 3 Mesin Pencetak

- c. Timbangan  
Digunakan untuk menimbang sampel segmen kolom struktur saat dilakukan uji berat isi (Gambar 4).



Gambar 4 Timbangan

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



Gambar 5 Oven

2. Bahan
- Semen tipe I
  - Air
  - Pasir yang berasal dari Gunung Merapi, Klaten.
  - Kerikil berupa batu pecah
  - Abu sekam padi didapatkan dari industri batu bata di daerah Jetis, Baki, Sukoharjo.

### Perancangan campuran

Perhitungan komposisi campuran (*mix design*) dilakukan untuk menentukan kebutuhan semen, pasir, kerikil, air dan bahan tambah lainnya. Bahan substitusi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu abu sekam padi dengan variasi 7,5%, 10% dan 12,5% sebagai bahan substitusi parsial semen. *Mix design* penelitian ini memiliki 2 macam, yaitu *mix design* untuk campuran segmen kolom struktur modular dan *mix design* untuk isian kolom struktur modular.

Perbandingan campuran bahan untuk segmen kolom struktur modular yaitu 1 Pc : 2.67 Ps : 2.89 Kr dengan nilai fas 0.55.

### Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji dilakukan berdasarkan perhitungan *mix design*. Pencampuran bahan menggunakan *mixer* dengan mencampurkan agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), abu sekam padi, dan semen. Setelah semua bahan tercampur rata, tambahkan air sedikit-sedikit hingga adonan tercampur rata. Ketika proses pengadukan menggunakan *mixer*, diperlukan juga perataan

bahan secara manual menggunakan cetok. Hal ini dilakukan karena adanya adonan yang menggumpal di tangkai *mixer* saat proses pengadukan berlangsung. Selama proses pengadukan menggunakan *mixer*, dilakukan juga persiapan mesin pencetak dengan memasang kayu sebagai alas cetakan di mesin pencetak lalu menaikkan tuas penggerak cetakan agar cetakan turun tepat di atas alas.

Adukan yang telah tercampur rata dan siap untuk dicetak dimasukkan kedalam cetakan secara bertahap. Setelah cetakan terisi hampir penuh, dilakukan penggetaran mesin cetakan agar menghilangkan udara pada adukan. Selanjutnya cetakan kembali diisi hingga penuh dan cetakan ditutup dengan menaikkan tuas cetakan. Kemudian mesin pencetak digetarkan lagi dengan hingga penutup cetakan turun menekan adukan beton dalam cetakan.

Mesin pencetak dimatikan dan tutup cetakan dinaikkan dengan tuas penggerak hingga tutup berada diatas benda uji. Segmen kolom struktur modular beton telah selesai dicetak, diamankan lebih kurang 3 menit, kemudian produk dipindahkan dan dilakukan perawatan di tempat yang tidak terkena sinar matahari langsung agar produk tidak mengalami retak.

### Pengujian Benda Uji

#### 1. Uji Berat Isi Segmen Kolom Struktur Modular Beton

Menurut SNI 1973:2008 berat isi beton merupakan berat per satuan volume, biasanya dilakukan di laboratorium, besarnya nilai diasumsikan tetap untuk campuran yang dibuat dengan komposisi dan bahan yang identik. Alat yang digunakan untuk pengujian berat isi dalam penelitian ini adalah timbangan (gambar 4).

Menghitung berat isi digunakan rumus sebagai berikut:

$$B = \frac{W}{V}$$

Dimana:

B = berat isi (kg/m<sup>3</sup>)

W = berat benda uji (kg)

V = volume benda uji (m<sup>3</sup>)

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

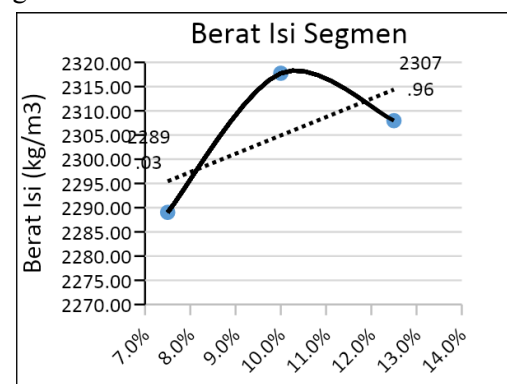
### 1. Hasil pengujian berat isi segmen kolom struktur modular beton

Pengujian berat isi segmen kolom struktur modular beton dilakukan setelah berumur 28 hari. Hasil pengujian berat isi dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2 Hasil Pengujian Berat Isi Segmen

Kode benda uji	No	Berat isi (kg/m <sup>3</sup> )	Rata-rata (kg/m <sup>3</sup> )
ASP.7,5	1	2252.252	2289.03
	2	2359.316	
	3	2255.516	
ASP.10	1	2283.588	2317.75
	2	2339.078	
	3	2330.591	
ASP.12,5	1	2325.369	2307.96
	2	2280.977	
	3	2317.535	

Berikut grafik nilai berat isi segmen kolom struktur modular beton pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. hasil pengujian berat isi

Gambar 6 merupakan grafik berat isi segmen kolom struktur modular yang didapat dari hasil pengujian berat isi segmen kolom struktur modular. Disimpulkan bahwa berat isi mengalami titik optimum pada variasi abu sekam padi 10 %. Hal tersebut disebabkan karena terdapat kandungan kimia silika sebesar 85,73% pada ASP yang dapat menyokong proses kimia pengikatan agregat oleh pasta semen sehingga beton lebih padat (Hidayat, 2011). Kandungan silika tersebut akan meningkatkan ketahanan campuran beton ketika bereaksi dengan kapur bebas hasil hidrasi semen.

Hasil pengujian berat isi pada gambar 6 menunjukkan bahwa adanya peningkatan berat isi sebesar 1,25 % pada variasi ASP 10%. Namun, pada variasi 12,5% mengalami penurunan berat isi dari variasi sebelumnya. Hal tersebut disebabkan karena berat isi ASP lebih ringan dibandingkan berat isi semen yaitu  $2.121 \text{ gr/cm}^3$  (Suprasman & Ermiyati, 2006). Kemungkinan jika variasi ASP ditambah, maka berat isi akan semakin turun. Sedangkan kenaikan berat isi segmen dari variasi 7,5% ke variasi 10% bisa terjadi karena reaksi abu sekam padi dengan semen mencapai titik optimum yang membuat beton lebih padat. Pematatan terjadi akibat kandungan silika abu sekam padi bereaksi dengan kapur bebas hasil hidrasi semen. Abu sekam padi juga berperan sebagai pengisi pori atau celah antara agregat yang membuat beton lebih padat (Raharja et al., 2013). Hasil uji berat isi segmen kolom menunjukkan bahwa berat isi segmen kolom yang menggunakan ASP sebesar 10 % menghasilkan berat isi maksimal. Hasil ini didukung penelitian

terdahulu oleh Triastuti dan Nugroho (2017) beton memiliki berat isi maksimal pada variasi ASP 10%.

## 2. Kriteria kolom struktur modular beton termasuk beton ramah lingkungan

Hasil penelitian ini didapatkan dari pembuatan segmen kolom struktur modular beton, menunjukkan adanya ciri-ciri beton ramah lingkungan sesuai dengan perangkat penilaian *GreenShip New Building* versi 1.2. Terletak pada aspek penilaian tentang Sumber dan Siklus Material (*Material Resource and Cycle-MRC*). Segmen kolom struktur modular beton adalah produk yang difungsikan untuk kolom struktur, dibuat menggunakan sistem prapabrikasi dengan variasi abu sekam padi sebagai substitusi parsial semen (Ardhiansyah & Azizah, 2020).

Tolok ukur yang terpenuhi dalam segmen kolom struktur modular beton termasuk kriteria ramah lingkungan diantaranya:

- a. MRC 1 mengenai penggunaan gedung dan material.

Terkait hal ini tidak ditemukan material limbah konstruksi pada segmen kolom struktur modular beton. Hal ini disebabkan aplikasi dari segmen kolom adalah disusun ke atas hingga menjadi kolom sesuai ketinggian rencana pembangunan. Selama tinggi kolom yang direncanakan merupakan kelipatan modul maka tidak akan menghasilkan limbah bangunan. Serta proses pembuatan kolom struktur modular tidak menggunakan bekisting, sehingga pekerjaan kolom tidak menghasilkan limbah konstruksi.

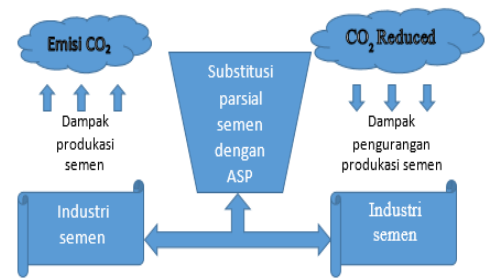
- b. MRC 2 mengenai material ramah lingkungan.

Daur ulang adalah suatu proses untuk mengubah bahan bekas atau limbah menjadi sesuatu bahan yang baru. Tujuannya untuk mencegah adanya limbah menjadi sesuatu yang lebih berguna (Damayanti et al., 2017). Material ASP merupakan limbah pabrik batu bata, kemudian digunakan sebagai bahan substitusi parsial dalam pembuatan segmen kolom struktur modular beton.

ASP diolah menjadi suatu produk segmen kolom yang dapat digunakan kebermanfaatannya. Pengurangan limbah ASP di Pabrik sebesar 7.5% dari limbah total yang dihasilkan tiap bulan, atau sebesar 15 Kg per bulan. ASP yang dibutuhkan pada penelitian ini untuk variasi maksimal ASP adalah 10% dari berat semen, sehingga dibutuhkan abu sekam padi sebesar 32.73 Kg tiap 1 m<sup>3</sup> beton pada penelitian ini.

- c. MRC 3 mengenai penggunaan *refrigerant* tanpa ODP.

Terkait hal ini pembuatan segmen kolom struktur modular beton tidak ditemukan material yang berbahan *refrigerant*, karena menggunakan material limbah ASP sebagai substitusi semen yang dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub>. Besar pengurangan emisi pada penelitian ini sebesar 27,16 Kg Skema pengurangan emisi CO<sub>2</sub> dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Skema Reduksi Emisi CO<sub>2</sub>

- d. MRC 4 mengenai kayu bersertifikat.

Terkait hal ini kolom struktur menggunakan segmen untuk berbagai ukuran tinggi kolom tidak membutuhkan papan kayu bekisting saat proses pembuatannya.

Menurut (Prakoso Nugroho, 2018) bekisting pada kolom struktur konvensional dengan menggunakan papan kayu dapat digunakan hingga 3 kali pemakaian. Pembuatan kolom struktur menggunakan metode prapabrikasi dengan dimensi 30 cm x 30 cm dan tinggi 300 cm sebanyak 3 kolom dapat mengurangi limbah papan kayu seluas 3900 cm<sup>2</sup>.

- e. MRC 5 mengenai fabrikasi.

Terkait hal ini segmen kolom struktur modular didesain berbentuk segmen modular. Hal tersebut berdampak pada lingkungan untuk mengurangi sampah hasil konstruksi. Dampak yang paling jelas adalah tidak adanya sampah hasil konstruksi yaitu sampah hasil bekisting kolom, karena segmen difungsikan sebagai bekisting kolom.

- f. MRC 6 mengenai material regional

Terkait hal ini pembuatan segmen kolom struktur modular beton diharapkan memberi manfaat dalam kehidupan baik dari sisi lingkungan, ekonomi dan sosial.

Diantaranya dapat mengurangi biaya penggunaan semen, karena dapat dikurangi dengan penggantian sebagian semen dengan ASP dari lingkungan sekitar. Serta mengurangi biaya dan waktu pembuatan bekisting yang menimbulkan sampah konstruksi. Segmen kolom struktur modular juga dapat menjadi produk yang bisa dikembangkan pada sektor usaha kecil dan menengah.

Berdasarkan penjelasan diatas mengenai 6 kriteria dalam aspek sumber dan siklus material *GreenShip New Building Versi 2.1*, maka segmen kolom struktur modular beton termasuk ciri-ciri beton ramah lingkungan.

### 3. Perbandingan kolom struktur konvensional dengan kolom struktur modular beton

Perhitungan biaya pembuatan kolom struktur menggunakan acuan harga satuan pekerjaan konstruksi, harga satuan dasar bahan bangunan dan upah kota Surakarta tahun 2020 dan peraturan PUPR 28/PRT/M/2016 tentang analisis harga satuan pekerjaan bidang pekerjaan umum.

Perhitungan bekisting pada kolom struktur konvensional didasarkan pada teori dan penggunaan di lapangan. Penggunaan bekisting menurut *Wigbout* dapat digunakan sebanyak 3-5 kali pemakaian. Penggunaan bekisting kolom di lapangan pada proyek Rumah Sakit JIH Solo dapat digunakan sebanyak 3 kali pemakaian (Prakoso Nugroho, 2018), maka analisis harga satuan pemasangan bekisting pada bagian biaya bahan dibagi 3 dan diperoleh harga satuan bekisting sebesar Rp 179,819.20 /m<sup>2</sup>.

Analisis harga tersebut dijadikan acuan untuk perhitungan rencana anggaran biaya pembuatan kolom struktur konvensional dan kolom struktur modular beton. Terlihat pada tabel 3 biaya pembuatan kolom struktur Konvensional sebesar Rp 1,099,323.20, sedangkan biaya pembuatan kolom struktur modular beton adalah Rp 899,171.44. Hasil perhitungan tersebut terdapat perbedaan yang signifikan yaitu 18.21 % lebih murah biaya pembuatan kolom struktur modular beton dibandingkan biaya pembuatan kolom struktur konvensional tiap kolom setinggi 3 meter.

Waktu yang dibutuhkan untuk pembuatan 1 kolom konvensional (Mushlih, 2021) sebagai berikut: (Asumsi lama 1 hari kerja = 8 jam = 480 menit)

Pemasangan tulangan kolom = 5 buah/hari = 96 menit/buah  
 Pengecoran kolom = 18 buah/hari = 26.67 menit  
 Bongkar dan pasang bekisting = 5 buah/hari = 96 menit/buah  
 Total waktu yang dibutuhkan untuk membuat 1 buah kolom konvensional adalah 218.67 menit atau 3.65 jam

Waktu yang dibutuhkan untuk pembuatan 1 kolom modular beton

Pemasangan segmen = 90 menit/buah  
 Pemasangan tulangan kolom = 5 buah/hari = 96 menit/buah  
 Pengecoran kolom = 50 buah/hari = 9.6 menit/buah  
 Total waktu yang dibutuhkan untuk membuat 1 buah kolom struktur konvensional adalah 195.6 menit atau 3.26 jam

Tabel 3 *Perbandingan Kolom Struktur Konvensional Dengan Kolom Struktur Modular*



Aspek	1 Kolom KV	1 Kolom modular
<b>Pelaksanaan</b>		
Waktu	3.65 jam	10.55 % lebih efisien, yaitu 3.26 jam
Biaya	Rp 1,099,323.2 0	18.21 % lebih murah, yaitu Rp 899,171.44
Teknologi	Teknologi konvension al	Teknologi konvensional dan keahlian khusus
Tenaga kerja	Lebih banyak	Lebih sedikit 10%
Pengawasan	Lebih kompleks karena jumlah item pekerjaan lebih banyak	Lebih sederhana, sebagian pekerjaan dilakukan di pabrik
<b>Hasil Kerja</b>		
Mutu	Tergantung keahlian pekerja dan pengawasa n	Tergantung keahlian pekerja dan pengawasan, sebagian dilakukan di pabrik
<i>Finishing</i>	Sangat bervariasi (tergantung <i>skill</i> pekerja), resiko biaya tak terduga tinggi	Variasi lebih sedikit, resiko biaya tak terduga relatif mudah dikendalikan

Berdasarkan tabel 3 dapat disimpulkan bahwa perbandingan antara kolom struktur konvensional dengan kolom struktur modular beton memiliki perbandingan yang signifikan. Ditinjau dari waktu pembuatan, kolom struktur modular lebih efisien 10,55 % dibandingkan dengan waktu pembuatan kolom struktur konvensional. Ditinjau dari biaya pembuatan, kolom struktur modular beton lebih hemat biaya sebesar 18.21 % dibandingkan dengan biaya pembuatan kolom struktur konvensional. Ditinjau dari tenaga kerja yang dibutuhkan, kolom struktur modular beton membutuhkan tenaga 10 % lebih sedikit dibandingkan dengan tenaga kerja untuk membuat kolom struktur konvensional.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian pemanfaatan abu sekam padi sebagai substitusi parsial semen pada campuran segmen kolom struktur modular beton adalah:

- Berat isi segmen kolom struktur modular beton sebesar 2317.75 kg/m<sup>3</sup> diperoleh pada persentase 10 % abu sekam padi sebagai substitusi parsial semen.
- Penggunaan abu sekam padi pada kolom struktur modular beton memiliki ciri-ciri beton ramah lingkungan sesuai aspek penilaian Sumber dan Siklus Material (*Material Resource and Cycle-MRC*) pada perangkat penilaian *GreenShip New Building* versi 1.2. Pemanfaatan abu sekam padi sebagai substitusi parsial semen pada variasi maksimal dalam penelitian ini dapat mengurangi penggunaan semen 10 % dari komposisi normal segmen kolom atau sebesar 32.73 kg/m<sup>3</sup> semen.

- c. Penggunaan sistem prapabrikasi kolom struktur modular menjadi bahan alternatif bangunan yang bernilai ekonomis karena dapat mereduksi biaya pembuatan kolom sebesar 18.21 % dibandingkan kolom struktur konvensional. Biaya pembuatan kolom struktur modular beton dengan tinggi 3 meter sebesar Rp. 899,171.44 lebih murah dibandingkan biaya pembuatan kolom struktur konvensional sebesar Rp. 1,099,323.20.

## SARAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan kesimpulan. Peneliti memberi saran-saran sebagai berikut:

- Perlu adanya pengembangan penelitian mengenai segmen kolom struktur modular beton dengan bahan tambah yang inovatif.
- Perlu menyiapkan alternatif pengujian sampel apabila alat uji kuat tekan beton mengalami kerusakan.
- Perlu dilakukan pengujian kolom dengan dimensi yang lebih kecil supaya gaya yang dibutuhkan untuk pengujian kuat tekan tidak terlalu besar.
- Perlu dilakukan pengujian kolom yang lebih kompleks, seperti pengujian kolom dengan memperhatikan perilaku tekuk dan gaya geser pada kolom.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ardhiansyah, I., & Azizah, R. (2020). Pengukuran GreenShip New Building Ver. 1.2 pada Bangunan Baru Rumah Atsiri Indonesia (Final Assessment). *Sinektika: Jurnal Arsitektur*, 15(2), 79–86.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Cara uji berat isi, volume produksi campuran dan kadar udara beton*. In SNI 1973:2008 (Issue 1).
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. In SNI 2847:2013 (pp. 1–265).
- Damayanti, N., Chyntia, E., Herlina, D., Agriani, R., Desriana, S., & Anshory, M. S. (2017). Muhammad Baedowy. Pengusaha Daur Ulang Sampah Yang Sukses Serta Pengaruh Usahanya Dalam Melestarikan Lingkungan. Nadia Damayanti. <https://nadiadamayanti29.blogspot.com/2017/11/makalah-daur-ulang-softskill.html>
- Dinas Bina Marga dan Cipta Karya. (2020). *Harga Satuan Pekerjaan Konstruksi, Harga Satuan Dasar Bahan Bangunan dan Upah* (II, Issue 024).
- Hidayat, A. (2011). Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Beton K-225. *JURNAL APTEK*, 3(2), 161–172.
- Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2016). *Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum Nomor 28/PRT/M/2016*. In Kementerian PUPR (Issue 28, pp. 1–874).
- Mushlih, A. (2021). Perbandingan Waktu dan Biaya Pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung Berdasarkan Metode Kontroversial dan Pracetak. *Universitas Islam Indonesia*.
- Prakoso Nugroho, S. (2018). *Analisis perbandingan biaya bekisting antara bekisting multiplek dan bekisting tegofilm untuk kolom gedung bertingkat*. Universitas Islam Indonesia.
- Raharja, S., As'ad, S., & Sunarmasto. (2013). Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Kinerja Tinggi. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 1(4), 503–510.

- Setia, H., Habsya, C., & S, T. L. A. (2015). *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. Journal Uns, 37, 1–31.*
- Suprasman, & Ermiyati. (2006). *Kuat Tekan Dengan Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Sebagian Semen. Spektrum, 4(2), 198–205.*
- Tjokrodimuljo, K. (2004). *Teknologi Beton* (2nd ed.). Universitas Gadjah Mada.
- Triastuti, & Nugroho, A. (2017). *Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi terhadap Sifat Mekanik Beton Busa Ringan. Jurnal Teknik Sipil, 24(2), 139–144.*
- Wigbout, F. (n. d. (1992). *Pedoman Tentang Bekisting (Kotak Cetak).*