

KAJIAN PEMANFAATAN LIMBAH KACA SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT HALUS KOLOM MODULAR

Fedra Ari Wibowo¹, Chundakus Habsya², Rima Sri Agustin³

Email : fedraari@student.uns.ac.id

Diterima : 11 Februari 2021

Disetujui : 05 Juni 2021

Terbit : 28 Juli 2021

Abstrak: Salah satu komponen pembangunan gedung adalah kolom. Metode pelaksanaan kolom masih menggunakan metode konvensional. Proses bongkar pasang begesting kolom akan menunda waktu pemasangan batu-bata, sehingga dalam menyelesaikan bangunan akan membutuhkan waktu yang semakin lama. Menggunakan komponen prapabrikasi merupakan salah satu solusi untuk mempersingkat waktu dalam pengerjaan bangunan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji (1) persentase limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus agar diperoleh nilai penyerapan air segmen kolom modular yang minimal; (2) persentase optimal limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus agar diperoleh kuat aksial kolom modular beton yang maksimal; (3) perbandingan kuat aksial dan biaya pembuatan kolom praktis konvensional dengan kolom modular beton. Penelitian kuantitatif ini menguji uji penyerapan air segmen kolom modular yang mengacu SNI 03-0349-1989 dan uji kuat aksial kolom modular beton yang mengacu SNI 2847-2013. Biaya pembuatan dan pekerjaan benda uji menggunakan acuan Keputusan Walikota Surakarta Nomor 050-151 tahun 2019 Tentang Standar Satuan Harga tahun Anggaran 2019 dan Peraturan PUPR 28/PRT/M/2016 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. Hasil penelitian ini sebagai berikut: (1) Variasi limbah kaca sebesar 15% sebagai pengganti agregat halus menghasilkan penyerapan air segmen kolom praktis modular minimal sebesar 11,68% dan memenuhi mutu II SNI 03-0349-1989; (2) Variasi limbah kaca optimal sebesar 3,74% sebagai pengganti agregat halus menghasilkan kuat aksial kolom praktis modular beton maksimal sebesar 7,39 MPa; (3) Kuat aksial kolom praktis konvensional 17% lebih tinggi dari kolom praktis modular beton sedangkan biaya pembuatan kolom praktis konvensional 39,59% lebih tinggi dari kolom praktis modular beton.

Kata Kunci : ekonomis, kolom praktis modular, kolom praktis konvensional, kuat aksial modular, limbah kaca, penyerapan air

Abstract: One of the components of building construction is a column. The column implementation method still uses conventional methods. The process of loading and unloading the columns will delay the installation of the bricks, so finishing the building will take longer. Using prefabricated components is one solution to shorten the time in building construction. This study aimed to examine (1) the percentage of glass waste as a substitute of the fine aggregate in order to obtain minimal water absorption value for the practical modular column segment; (2) the percentage optimal of glass waste as a substitute for some of the fine aggregate in order to obtain maximum axial strength of the concrete modular practical column; (3) the comparison of axial strength and manufacturing cost of conventional practical columns with concrete modular practical columns. This quantitative research tests with a practical modular column segment water absorption test referring to SNI 03-0349-1989 and a concrete modular practical column axial strength test referring to SNI 2847-2013. The manufacturing costs and specimen processing referring to the Mayor of Surakarta Decree Number 050-151 of 2019

concerning the Standard Unit Price for the 2019 Fiscal year and PUPR Regulation 28 / PRT / M / 2016 concerning the Analysis of Work Unit Prices in the Public Works Sector. The results of this study were as follows: (1) The variation of glass waste by 15% as a substitute for fine aggregate resulted in the minimal 11.68% of the modular practical column segment water splitting and fulfilling the quality II SNI 03-0349-1989.; (2) The variation of glass waste optimal by 3.74% as a substitute for fine aggregate resulted in the maximum axial strength of the concrete modular practical column of 7.39 Mpa.; (3) The conventional practical column's axial strength was 17% higher than the concrete modular practical column, while the manufacturing cost of the conventional practical column was 39,59% higher than the concrete modular practical column.

Keywords : *axial compression, conventional practical column, economical, glass waste, modular column, water absorption*

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

PENDAHULUAN

Laju pertumbuhan penduduk di Indonesia mengalami peningkatan pada tahun 2010–2018 sebesar 1,33%. Kepadatan penduduk mengalami peningkatan pada tahun 2010–2018 sebesar 138 km² (BPS, 2019). Pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat berakibat kepada meningkatnya pembangunan dalam bidang konstruksi. Bahan bangunan yang digunakan di Indonesia umumnya adalah beton.

Beton mempunyai kelebihan, antara lain: tahan kebakaran, tahan aus, tahan gempa, tahan beban angin, dan mudah dibentuk (Asroni, 2017:14). Salah satu cara mengatasi banyaknya permintaan kebutuhan bahan baku beton tersebut adalah dengan cara memanfaatkan dan menggunakan sumberdaya yang ada di sekitar lingkungan kita.

Pemanfaatan sumber daya lokal dapat berupa pemanfaatan limbah maupun sampah. Pada tahun 2017, jumlah sampah non-organik di Indonesia meningkat menjadi 43% sedangkan 57% lainnya merupakan sampah organik. Jumlah limbah kayu meningkat sebesar 7% atau setara 4,5 juta ton. Sementara, jumlah limbah kaca sebanyak 6% atau setara dengan 3,7 juta ton (CNN, 2018). Limbah yang tidak bisa terurai oleh alam

dapat mencemari lingkungan sekitar, salah satunya limbah kaca. Salah satu cara mengurangi limbah adalah dengan menerapkan konsep beton dengan bahan pengganti limbah yang bernilai ekonomis.

Beton yang bernilai ekonomis merupakan beton yang memiliki biaya pembuatan lebih rendah dibandingkan beton pada umumnya. Biaya pembuatan beton termasuk biaya pembuatan beton itu sendiri yaitu agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), semen, biaya transportasi, dan biaya produksi beton. Diasumsikan bahwa biaya produksi beton untuk semua jenis beton adalah sama karena beton dapat diproduksi dengan menggunakan peralatan yang sama, jumlah pekerja yang sama dan pada saat yang sama (Tošić et al., 2015).

Salah satu komponen pembangunan gedung adalah kolom. Metode pelaksanaan kolom masih menggunakan metode konvensional. Proses bongkar pasang begesting kolom akan menunda waktu pemasangan batu-bata, sehingga dalam menyelesaikan bangunan akan membutuhkan waktu yang semakin lama. Menggunakan komponen prapabrikasi merupakan salah satu

solusi untuk mempersingkat waktu dalam pengerjaan bangunan (Pambudi et al., 2017).

Beton prapabrikasi merupakan suatu konstruksi bangunan yang komponen bangunannya dipabrikasi/dicetak terlebih dahulu di pabrik atau di lapangan, lalu disusun di lapangan untuk membentuk satu kesatuan bangunan gedung (Dyastari et al., 2017), . *Modular Concrete Building* yaitu beton prapabrikasi yang terdiri dari komponen kolom, balok, panel lantai, panel dinding, dan panel atap (Generalova et al., 2016). Berdasarkan uraian tersebut dimungkinkan untuk melakukan prapabrikasi komponen kolom praktis secara massal dengan membuat segmen kolom praktis modular. Segmen kolom praktis modular merupakan segmen kolom dari mortar berbentuk segi empat berdimensi modular, 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 (Pambudi et al., 2017).

1. Limbah Kaca

Limbah kaca mempunyai kandungan unsur SiO₂ 97,0080%; Al₂O₃ 0,1273%; Fe₂O₃ 0,0026% dan CaO 0,1804%. Penggunaan pecahan kaca halus bermanfaat dalam mengurangi penyerapan air dan pengeringan susut dalam batas yang diizinkan (Lu et al., 2019).



Gambar 1. Limbah Kaca

2. Bentuk, Detail, dan Dimensi Segmen Kolom Beton

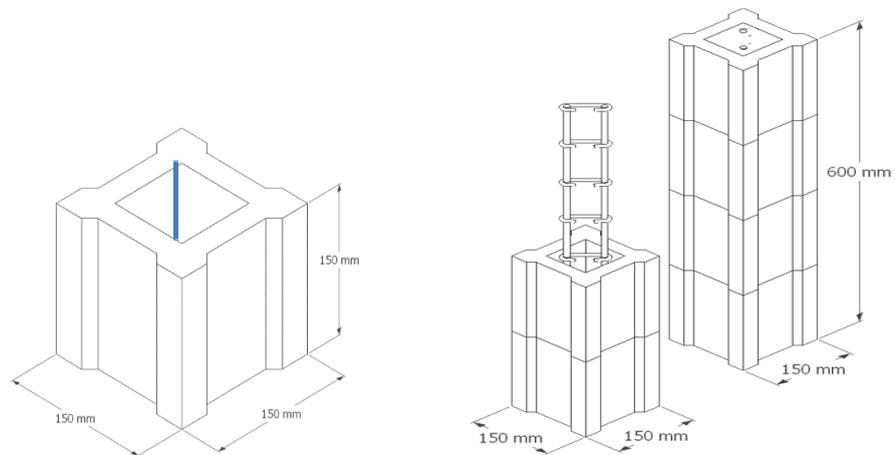
Seperti halnya kolom praktis pada gambar 2, bentuk dari segmen kolom beton (modular) segi empat, berdimensi 150 mm x 150 mm dan tinggi 150 mm dengan dimensi lubang pada bagian tengah berukuran 80 mm x 80 mm x 150 mm (Pambudi et al., 2017).

METODE PENELITIAN

1. Bahan

Semen yang digunakan adalah semen Portland tipe I merk Gresik yang memenuhi persyaratan dalam spesifikasi ASTM C-150-2007.

Agregat halus yang digunakan diambil dari Muntilan Magelang memiliki kadar air 6,59% sesuai SNI 1971:2011. Kadar air total dalam bahan dapat dijadikan perhatian dalam memberikan faktor air semen yang akan digunakan dalam campuran agar tidak terlalu basah. Kadar lumpur dari bahan uji sebesar 10,609% masih bisa digunakan karena menurut SNI ASTM C117:2012 dengan metode pencucian agregat hingga bersih dengan air, hasil kadar lumpur mendekati 10% berarti masih bisa digunakan. Berat jenis sebesar 2,56 memenuhi persyaratan sebesar 2,5-2,7, serta penyerapan air 2,05% sesuai SNI 1970:2008. Kandungan zat organik menghasilkan warna kuning kemerahan yang masuk dalam nomor pelat warna 3 sesuai SNI 2816: 2014. Modulus kehalusan sebesar 2,22 memenuhi persyaratan sebesar 2,3-3,1 sesuai ASTM C33:2003.



Gambar 2. Desain Benda Uji

Limbah kaca yang digunakan merupakan kaca limbah produksi aquarium yang dipecahkan dan berukuran maksimal 4,75 mm sesuai standar agregat halus. Berat jenis sebesar 2,36 sehingga belum memenuhi persyaratan sebesar 2,5-2,7. Penyerapan air 0,5 % sesuai SNI 1970:2008. Modulus kehalusan sebesar 3,32 sehingga belum memenuhi persyaratan sebesar 2,3-3,1 sesuai ASTM C33:2003. Faktor-faktor yang mempengaruhi limbah kaca diakibatkan pada saat proses pemecahan limbah kaca.

Agregat kasar pada menunjukkan kadar air 3,24% sesuai SNI 1971:2011. Kadar air total dalam bahan dapat dijadikan acuan dalam memberikan faktor air semen. Berat jenis agregat sebesar 2,302, serta penyerapan air 5,87 % sesuai SNI 1970:2008. Modulus kehalusan agregat pada pengujian ini sebesar 6,33 sehingga memenuhi persyaratan sebesar 6-7,1 sesuai ASTM C33:2003. Keausan agregat kasar sebesar 82,716% masuk dalam mutu B0 sesuai SNI 2417:2008.

Tulangan sengkang (diameter 6) termasuk baja tulangan polos (BJTP) 26. Tulangan utama menggunakan (diameter 10) yang digunakan termasuk BJTP 38. Pengujian kuat tarik baja sesuai baja tulangan beton SNI 2052: 2017.

2. Alat

Alat yang digunakan adalah mesin pengaduk/mixer beton kering, mesin cetak segmen kolom praktis hidrolik, ember, cetok, neraca digital, bak rendaman, dapur pengering, kain, mesin uji kuat tekan Universal Testing Machine (UTM), dan alat uji aksial gambar 3.

3. Benda Uji

Benda uji penyerapan air berbentuk Segmen Kolom Praktis Modular sebanyak 12 buah. Masing-masing variasi berjumlah 3 benda uji. Benda uji berukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm dengan lubang tengah berukuran 8 cm x 8 cm x 8 cm dan setebal 2,5 cm. Benda uji untuk pengujian kuat aksial kolom praktis modular beton menggunakan sampel berdimensi 150 mm x 150 mm dan tinggi 600 mm dengan sampel sebanyak 12 sampel gambar 2. Benda uji kontrol untuk mortar dengan benda uji kubus 5 x 5 x 5 cm dan kontrol beton dengan benda uji silinder diameter 15 cm serta tinggi 30 cm.

4. Pengujian

a. Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air segmen kolom praktis modular dilakukan sesuai dengan acuan SNI 03-0349-1989. Berikut rumus hitungan untuk menentukan nilai

penyerapan air segmen kolom modular.



Gambar 3 Alat Pengujian

$$PA = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots(1)$$

Dimana:

- PA = Penyerapan air (%)
- A = Keadaan basah (kg)
- B = Keadaan kering (kg)

b. Kuat Aksial

Pengujian kuat aksial kolom praktis modular beton dilakukan sesuai dengan acuan SNI 2847-2013. Berikut rumus hitungan untuk menentukan kuat beban aksial kolom praktis modular beton SNI (2847:2013).

$$P_o = 0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \dots\dots(2)$$

Dimana:

- P_o = kuat beban aksial nominal tanpa eksentrisitas
- f'_c = kuat tekan beton (N/mm²)
- A_g = luas kotor penampang melintang kolom (mm²)
- A_{st} = luas total penampang tulangan memanjang (mm²)
- f_y = tegangan leleh baja (N/mm²)

c. Biaya Pembuatan

Biaya pembuatan dan pekerjaan benda uji menggunakan acuan Keputusan Walikota Surakarta Nomor 050-151 tahun 2019 Tentang Standar Satuan Harga tahun Anggaran 2019

dan Peraturan PUPR 28/PRT/M/2016 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, kuat tekan mortar sebagai segmen kolom modular yang direncanakan adalah 4,4 MPa mutu II, setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil mortar kontrol dengan benda uji kubus 5x5x5 cm memiliki kuat tekan rata-rata 4,6 MPa, sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel mortar memenuhi target perencanaan. Kuat tekan beton sebagai isi kolom praktis modular beton yang direncanakan adalah 10 MPa, setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil beton kontrol dengan benda uji silinder memiliki kuat tekan rata-rata 11,88 MPa, sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel beton memenuhi target perencanaan.

Mix design mortar berdasarkan SNI 03-6825-2002 dengan perbandingan semen (PC) dan agregat halus (Ps) 1 PC : 7 Ps. Mix design yang digunakan untuk beton pengisi segmen kolom praktis modular beton berdasarkan pedoman SNI 7656:2012

Keseragaman variasi hasil kuat aksial kolom praktis modular beton diklasifikasikan sesuai tabel standar kontrol beton SNI 03-6815-2002 tabel 1.

1. Penyerapan Air

Pembahasan menggunakan analisis linieritas diperoleh kesimpulan bahwa variasi limbah kaca sebagai pengganti agregat halus berpengaruh signifikan

terhadap penyerapan air. Gambar 4. menunjukkan bahwa penyerapan air semua benda uji pada masing-masing variasi telah memenuhi standar Syarat-syarat fisis bata beton SNI 03-0349:1989.

Penyerapan air untuk mutu II <35%, pada penelitian ini segmen praktis modular kontrol memiliki nilai penyerapan air rata-rata sebesar 17,501%, sehingga dapat dikategorikan masuk pada mutu II tertera pada gambar 4. Pada segmen kolom praktis modular dengan variasi limbah kaca 0% didapatkan nilai rata-rata penyerapan air sebesar 17,501%, dan berturut-turut sampai variasi limbah kaca 15%, berikut nilai rata-rata penyerapan air dengan variasi limbah kaca 5%: 12,797%, variasi limbah kaca 10%: 13,887%, variasi limbah kaca 15%: 11,678%. Nilai rata-rata penyerapan air segmen kolom praktis modular variasi limbah kaca di atas tidak ada yang melebihi 35%, maka semua nilai penyerapan air segmen kolom praktis modular dikategorikan masuk mutu II.

Penyerapan air untuk mutu II <35%, pada penelitian ini segmen praktis modular kontrol memiliki nilai penyerapan air rata-rata sebesar 17,501%, sehingga dapat dikategorikan masuk pada mutu II tertera pada Gambar 4.5. Pada segmen kolom praktis modular dengan variasi limbah kaca 0% didapatkan nilai rata-rata penyerapan air sebesar 17,501%, dan berturut-turut sampai variasi limbah kaca 15%, berikut nilai rata-rata penyerapan air dengan variasi limbah kaca 5%: 12,797%, variasi limbah kaca 10%: 13,887%, variasi limbah kaca 15%: 11,678%. Nilai rata-rata penyerapan air segmen kolom praktis modular variasi

limbah kaca di atas tidak ada yang melebihi 35%, maka semua nilai penyerapan air segmen kolom praktis modular dikategorikan masuk mutu II.

Pada penelitian ini limbah kaca dapat menurunkan penyerapan air Segmen kolom praktis modular hingga lebih rendah dari segmen kolom praktis modular kontrol. Penyerapan air segmen kolom modular 23% lebih tinggi dari referensi (Ling & Poon, 2012). Penurunan penyerapan air dikarenakan limbah kaca bermanfaat dalam mengurangi penyerapan air dan pengeringan susut dalam batas yang diizinkan (Lu et al., 2019). Penggantian 10% limbah kaca menunjukkan penyerapan air yang tinggi dengan memiliki struktur mikro yang lebih berpori sesuai jurnal (Calmon et al., 2014).

2. Kuat Aksial

Pembahasan menggunakan analisis *polynomial* diperoleh kesimpulan bahwa variasi limbah kaca sebagai pengganti agregat halus berpengaruh signifikan terhadap kuat aksial kolom praktis modular. Dari hasil uji *polinomial* ini diperoleh persamaan $y=0,0011x^3+0,0373x^2+0,2328x+6,9829$, untuk hasil perhitungan variasi kuat aksial dari persamaan *polinomial* tersebut dapat dilihat pada gambar 5.

Kuat aksial kolom praktis modular beton dengan variasi limbah kaca 0% didapatkan nilai rata-rata 6,98 MPa. Sedangkan, kuat aksial kolom praktis modular dengan variasi limbah kaca 5%, 10%, dan 15% masing-masing adalah 7,36 MPa, 6,71 MPa, serta 5,88 MPa. Pada semua variasi limbah kaca nilai kuat aksial kolom praktis modular beton berada dibawah 10 MPa.

Tabel. 1 Deviasi Standar (DS)

Kode Benda Uji	Variasi Kaca	f'cr (kgf/cm ²)	DS	Standar	Klasifikasi
K	-	89.97	1.09	Di bawah 14,1	terbaik
K.1.7.0	0%	71.43	10.26	Di bawah 14,1	terbaik
K.1.7.5	5%	75.25	13.52	Di bawah 14,1	terbaik
K.1.7.10	10%	68.60	14.77	14,1-17,6	sangat baik
K.1.7.15	15%	60.12	6.30	Di bawah 14,1	terbaik



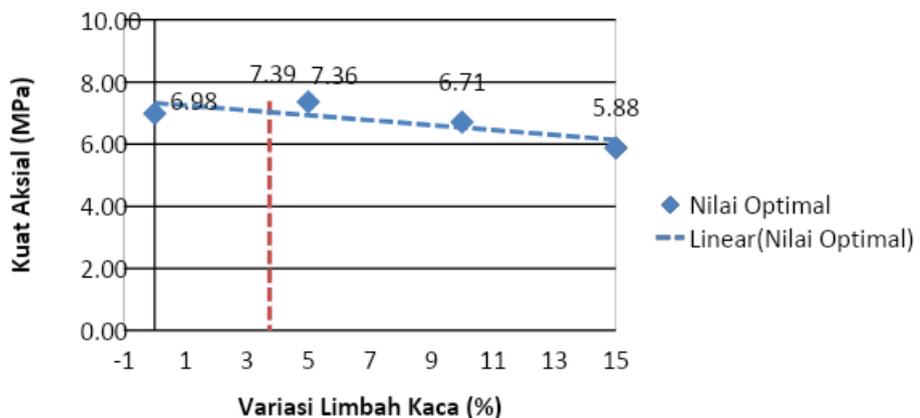
Gambar 4. Grafik Hasil Penyerapan Air Segmen Kolom Praktis Modula

Limbah kaca pada penelitian ini cukup berpengaruh terhadap kuat aksial kolom praktis modular beton, dari jurnal Sani et al (2015) menyatakan bahwa alkali silika pada limbah kaca mempengaruhi kuat aksial. Dapat disimpulkan bahwa persentase penggunaan limbah kaca yang semakin meningkat pada beton akan menghasilkan reaksi alkali silika yang semakin meningkat. Hal tersebut merupakan permasalahan serius mengenai penggunaan limbah kaca kasar dalam beton yang akan menimbulkan reaksi kimiawi yang berlangsung antara partikel kaca kaya silika dan alkali dalam larutan pori beton. Persentase optimal limbah

kaca sebesar 3,74% dengan kuat aksial maksimal sebesar 7,39 MPa. Kuat aksial kolom praktis modular beton 12% lebih tinggi dari referensi (Silaban & Ola, 2019).

3. Biaya Pembuatan

Pembahasan ini bertujuan untuk mengkaji perbandingan kolom praktis konvensional dengan kolom praktis modular beton. Perbandingan kuat aksial kolom praktis sesuai SNI 2847:2013 sedangkan biaya pembuatan sesuai Keputusan Walikota Surakarta No. 050/151 tahun 2019 tentang standar satuan harga tahun anggaran 2019.



Gambar 5. Grafik Hasil Kuat Aksial Kolom Praktis Modular Beton

Tabel 2. Hasil Perbandingan Kolom Praktis

	Limbah Kaca	Kuat Aksial (MPa)	Biaya Pembuatan (Rp)
Konvensional		8,91	365.538,90
Modular Beton (%)	0	6,98	220.810,12
	5	7,36	221.205,31
	10	6,71	221.600,50
	15	5,88	221.995,70

Perhitungan bekisting pada kolom konvensional didasarkan pada teori dan penggunaan di lapangan. Bekisting pada umumnya hanya dipakai untuk satu kali pekerjaan, apabila material kayu masih memungkinkan dapat disusun kembali menjadi sebuah bentuk lain (Pratama et al., 2017). Penggunaan bekisting di lapangan pada Proyek Pembangunan Edutorium Universitas Muhammadiyah Surakarta hanya 2 kali pemakaian, maka pada analisis harga satuan pemasangan bekisting pada bagian biaya bahan dibagi 2 dan diperoleh harga satuan bekisting sebesar Rp. 120.066,50. Biaya pembuatan segmen kolom praktis modular sebesar Rp. 115.430,51.

Kuat aksial kolom praktis konvensional pada hasil penelitian ini sebesar 8,91 MPa lebih tinggi dari pada kuat aksial kolom praktis modular beton. Kuat aksial kolom praktis modular beton dengan variasi limbah kaca 0% didapatkan nilai rata-rata 6,98 MPa. Sedangkan, kuat aksial kolom praktis modular dengan variasi limbah kaca 5%, 10%, dan 15% masing-masing adalah 7,36 MPa, 6,71 MPa, serta 5,88 MPa. Diperoleh hasil perhitungan bahwa kolom praktis konvensional mempunyai kuat aksial lebih tinggi sebesar 17% dari kolom praktis modular beton, untuk hasil perbandingan antara kolom praktis konvensional dan kolom praktis modular beton dapat dilihat pada table 2.

Biaya pembuatan kolom praktis konvensional pada hasil penelitian ini sebesar Rp 365.538,90 lebih tinggi dari

pada biaya pembuatan kolom praktis modular beton. Biaya pembuatan kolom praktis modular beton dengan variasi limbah kaca 0% sebesar Rp 220.810,12. Sedangkan, biaya pembuatan kolom praktis modular dengan variasi limbah kaca 5%, 10%, dan 15% masing-masing adalah sebesar Rp 221.205,31, Rp 221.600,50, serta 221.995,70.

KESIMPULAN

1. Variasi limbah kaca sebesar 15% sebagai pengganti agregat halus menghasilkan penyerapan air segmen kolom praktis modular minimal sebesar 11, 68% dan memenuhi mutu II SNI 03-0349-1989.
2. Variasi limbah kaca optimal di 3,74% sebagai pengganti agregat halus menghasilkan kuat aksial kolom praktis modular beton maksimal sebesar 7,39 MPa.
3. Kuat aksial kolom praktis konvensional 17% lebih tinggi dari kolom praktis modular beton sedangkan biaya pembuatan kolom praktis konvensional 39.59% lebih tinggi dari kolom praktis modular beton.

SARAN

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai reaksi kimia yang terjadi antara limbah kaca, agregat halus, dan semen pada campuran mortar.
2. Diharapkan adanya penelitian-penelitian yang lebih berkembang dalam pembuatan segmen kolom modular menggunakan bahan campuran yang inovatif.

3. Perlu adanya penelitian komponen prapabrikasi yang lain, seperti segmen sloof dan balok modular beton.

018

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, A. (2017). Teori dan Desain Balok Plat Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2013. In *Surakarta: Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*. UMS Press.
- BPS. (2019). *STATISTIK INDONESIA 2019* (Subdirektorat Publikasi dan Kompilasi Statistik (ed.)). BPS-Statistics Indonesia.
- Calmon, J. L., Sauer, A. S., Vieira, G. L., & Teixeira, J. E. S. L. (2014). Effects of windshield waste glass on properties of repair mortars. *Cement and Concrete Composites*, 53, 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.04.008>
- Dyastari, F., Agus, S. E., & Tyaghita, B. (2017). Penerapan Konsep Modular dalam Perancangan Rumah Susun Berdasarkan Right Conservation Method. *Temu Ilmiah IPLBI*.
- Generalova, E. M., Generalov, V. P., & Kuznetsova, A. A. (2016). Modular Buildings in Modern Construction. *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.098>
- Indonesia, C. N. N. (2018). *5 Fakta Memprihatinkan Seputar Sampah*. CNN Indonesia. <https://www.cnnindonesia.com/gaya-hidup/20180119202025-282-270298/5-fakta-memprihatinkan-seputar-sampah>
- Ling, T. C., & Poon, C. S. (2012). A comparative study on the feasible use of recycled beverage and CRT funnel glass as fine aggregate in cement mortar. *Journal of Cleaner Production*, 29–30, 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.018>
- Lu, J.-X., Zheng, H., Yang, S., He, P., & Poon, C. S. (2019). Co-utilization of waste glass cullet and glass powder in precast concrete products. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.231>
- Nasional, B. S. (1989). SNI 03-0349-1989. *Bata Beton Untuk Pasangan Dinding*.
- Nasional, B. S. (2002). SNI 03-6825-2002. *Standar Nasional Indonesia Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*.
- Nasional, B. S. (2012). SNI 7656:2012. *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa*.
- Nasional, B. S. (2013). SNI 2847-2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.
- Pambudi, H. S., Habsya, C., & Adi S, T. L. (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*. <https://doi.org/10.20961/ijcee.v1i2.18230>
- Pratama, H. S., Anggraeni, R. K., Hidayat, A., & Khasani, R. R. (2017). Analisa Perbandingan Penggunaan Bekisting Konvensional, Semi Sistem, Dan Sistem (Peri) Pada Kolom Gedung Bertingkat. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(1), 303–313.
- Sani, M. S. H. M., Osman, A. R., & Muftah, F. (2015). Investigation on compressive strength of special concrete made with crushed waste glass. *MATEC Web of Conferences*, 27, 2–5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/2015702005>

Silaban, D. P., & Ola, A. L. (2019). Limbah Fly Ash Pabrik Minyak Nabati sebagai Bahan Substitusi Semen dalam Pembuatan Batako. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*, 11(1), 30–38.

Tošić, N., Marinković, S., Dašić, T., & Stanić,

M. (2015). Multicriteria optimization of natural and recycled aggregate concrete for structural use. *Journal of Cleaner Production*, 87(1), 766–776. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.070>