

PENGARUH PENGGUNAAN VARIASI LIMBAH KACA SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS PADA SEGMENT KOLON PRAKTIS MODULAR RAMAH LINGKUNGAN

Nafilah Hanun Khoiriyah¹, Chundakus Habsya², Rima Sri Agustin³

Email : nafilahhanun@student.uns.ac.id

Diterima : 11 Februari 2021
Disetujui : 05 Juni 2021
Terbit : 28 Juli 2021

Abstrak : Material berbentuk segmen kolom praktis modular merupakan salah satu solusi untuk pembuatan kolom praktis bangunan. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis: (1) pengaruh penggantian limbah kaca dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap berat isi segmen kolom praktis modular; 2) pengaruh penggantian limbah kaca dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap kuat tekan segmen kolom praktis modular; 3) pengaruh penggantian limbah kaca dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap kriteria ramah lingkungan. Penelitian kuantitatif ini menggunakan metode eksperimen. Standar uji berat isi segmen kolom praktis modular mengacu pada SNI 1973:2008 dan standar kuat tekan segmen kolom praktis modular mengacu pada SNI 03-0349-1989. Perawatan benda uji selama 28 hari. Variasi penggantian limbah kaca adalah 0%, 5%, 10%, dan 15%. Sampel segmen kolom praktis modular berdimensi 150 mm x 150 mm tinggi 150 mm untuk uji berat isi sebanyak 12 sampel dan uji kuat tekan sebanyak 12 sampel. Hasil penelitian menunjukkan: 1) penggantian limbah kaca berpengaruh terhadap berat isi segmen kolom praktis modular, semakin besar penambahan variasi limbah kaca mengakibatkan penurunan berat isi, dengan nilai terendah sebesar 1900,423 kg/m³ pada variasi 15%; 2) penggantian limbah kaca berpengaruh terhadap kuat tekan segmen kolom praktis modular, kuat tekan maksimal pada persentase 10% sebesar 74,700 kgf/cm²; 3) pengaruh penggantian limbah kaca dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% berpengaruh terhadap kriteria ramah lingkungan sesuai dengan aspek penilaian sumber dan siklus material (*Material Resource and Cycle-MRC*) pada perangkat *greenship* bangunan baru versi 1.2 dari *Green Building Council Indonesia* penggantian limbah kaca penelitian ini mencapai 15% atau 236,3 kg/m³ terhadap agregat halus.

Kata Kunci : berat isi, kuat tekan, limbah kaca, segmen kolom praktis modular, ramah lingkungan.

Abstract : Practical modular column segment-shaped material is one solution for the manufacture of practical columns of buildings. The purposes of this research are to analyze the effect of substitution of waste glass with variation 0%, 5%, 10%, 15% toward (1) the density of modular practical column segment; (2) the compressive strength; (3) the suitability with criteria of environmentally friendly. The experimental quantitative research has been conducted with standard density test for modular practical column segment based on SNI 1973:2008 and standard compression strength test for modular practical columns segment based on SNI 03-0349-1989. Curing of the test object was carried out for 28 days. The samples of practical modular column segment were in the dimension of 150 mm x 150 mm x 150 mm totaling 24 samples. This research resulted: 1) the substitution of the waste glass has an effect on the density, the greater the addition of variations in waste glass resulting in a decrease in density, with the lowest is 1900,423 kg/m³ in 15% waste glass substitution; 2) the substitution of the waste glass has an effect to the compressive strength, with maximum compressive strength found in 10% waste glass substitution with a compressive strength of 74,700 kgf/cm²; 3) the substitution of waste glass with variations of 5%, 10%, and 15% has an effect on the criteria for environmentally friendly with the assessment aspects of Material Resource and Cycle (MRC) on the greenship device for new buildings version

1.2 of Green Building Council Indonesia then waste glass substitution in this research are 15% or 236.3 kg/m³ of fine aggregate.

Keywords : *compressive strength, density, environmentally friendly, modular practical column segments, waste glass*

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

PENDAHULUAN

Pembangunan rumah tinggal merupakan kebutuhan masyarakat yang erat kaitannya pada bidang konstruksi. Salah satu komponen didalamnya adalah kolom yang memiliki fungsi sebagai pendukung beban-beban struktur bangunan bagian atas, yang meliputi: struktur atap, kuda-kuda, dan balok. Proses pembangunan di Indonesia masih banyak menggunakan beton sebagai penyusunnya.

Beton memiliki keunggulan diantaranya tahan terhadap aus dan kebakaran; perawatan yang hampir tidak mengeluarkan biaya; kuat terhadap beban gempa bumi ataupun beban angin dan dapat dibuat berbagai bentuk dengan mengatur perancang yang digunakan (Asroni, 2010). Hal tersebut menyebabkan beton tak tergantikan didalam dunia konstruksi serta peningkatan terhadap material beton menjadikan masalah yang baru terhadap kebutuhan material beton. Dibutuhkannya inovasi terhadap kebutuhan material beton dan proses pengerjaan beton yang masih menggunakan metode konvensional diharapkan dapat terpecahkan dengan berkembangnya teknologi penggunaan beton.

Inovasi beton prapabrikasi merupakan salah satu solusi pembangunan yang membutuhkan kecepatan dalam pengerjaannya yang berupa komponen prapabrikasi. Arti dari konstruksi beton prapabrikasi (pracetak) yaitu konstruksi bangunan yang komponen bangunannya dipabrikasi/dicetak sebelumnya di pabrik atau di lapangan, lalu disusun di lapangan untuk membentuk satu kesatuan bangunan gedung (Dinariana & Wijaya, 2015).

Solusi berupa segmen kolom modular diharapkan dapat mempersingkat waktu pengerjaan beton. Selain hal tersebut sistem prapabrikasi memiliki banyak kelebihan diantaranya yaitu hemat biaya, mutu mudah dikontrol, lebih inovatif. Berdasarkan uraian tersebut sangat dimungkinkan jika dilakukan sistem prapabrikasi dengan dibuat secara masal berupa segmen kolom praktis modular (SKPM) (Gambar 1, Gambar 2).

SKPM (Gambar 1, Gambar 2) merupakan komponen dari kolom praktis modular beton yang berupa segmen berbentuk segi empat berdimensi modular, masing-masing dinding luar SKPM terdapat takikan berbentuk trapesium untuk perkuatan sambungan dengan dinding atau kusen, memiliki lubang ditengah untuk rangkaian tulangan dan adukan beton (Habsya & Adi, 2017). Bahan utama penyusun SKPM (Gambar 1, Gambar 2) seperti pada SNI 03-0349-1989 yang tersusun dari semen Portland, agregat dan air.

Inovasi penggunaan material ramah lingkungan menjadi sebuah keharusan dengan adanya fenomena meningkatnya kebutuhan terhadap agregat dan bahan campuran beton. Material penyusun beton yang ramah lingkungan dapat dibuat dengan mewujudkan 3 (tiga) usaha kelangsungan dan konservasi lingkungan, yaitu : (1) pengurangan emisi gas rumah kaca (terbesar adalah CO₂), (2) efisiensi energi dan material dasar, (3) penggunaan material buangan/waste, dan (4) penggunaan efek yang mengganggu kesehatan/keselamatan pada pengguna konstruksi, baik yang timbul selama proses konstruksi ataupun yang timbul selama operasi bangunan, dengan menggunakan konsep 4R (*Reduce, Refurbish,*

Reuse and Recycle) (The Institution of Structural Engineers/ISE,1999) (Basuki 2012).

Konsep *reduce* atau menggunakan kembali limbah dengan diolah terlebih dahulu, erat kaitannya dengan inovasi beton ramah lingkungan. Masalah limbah kaca yang tidak ditangani dengan cara tepat akan menimbulkan bahaya, terlebih limbah kaca tidak bisa langsung terurai. Selain itu, kaca memiliki tekstur yang tajam, padat dan menyudut seperti pasir. Kaca memiliki jumlah kandungan silika (SiO_2) yang lebih dari 70% oleh karena itu kaca bisa dipakai sebagai alternatif bahan pembuatan beton (Fanisa & Tanzil, 2013).

Serbuk kaca memiliki kelebihan sebagai pengisi pori yang lainnya : (1) memiliki sifat tidak menyerap air, (2) kekerasan dari gelas menjadikan beton tahan terhadap abrasi yang hanya dapat dicapai oleh sedikit agregat alami, (3) serbuk kaca memperbaiki kandungan dari beton segar sehingga kekuatan yang tinggi dapat dicapai tanpa penggunaan *superplasticizer*, (4) Serbuk kaca yang baik mempunyai sifat *pozzoland* sehingga dapat berfungsi sebagai pengganti semen dan *filler* (Dian, 2011; Wibowo, 2013; Indrawan & Hastuty, 2016).

Kandungan silika yang ada pada kaca menjadikan kaca sebagai material pozzolan, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas (kalsium hidroksida) yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dan adanya air (Nugraha, Paul & Antoni 2007).

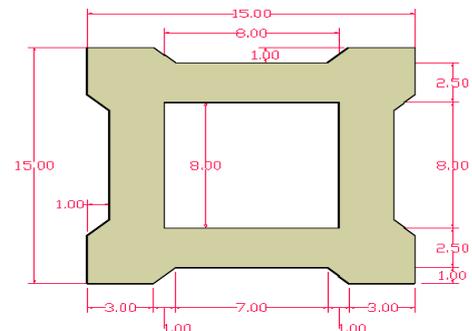
Penelitian oleh Srivastav (2016) menggunakan limbah serbuk kaca sebagai bahan pengganti pasir dengan persentase 5%, 10%, 15%, dan 20% dengan hasil kuat tekan optimum pada persentase 10% sebesar 37,15 MPa pada usia 28 hari. Penelitian lain oleh Rahim et al., (2015) untuk mengetahui pengaruh limbah kaca yang digunakan sebagai pengganti pasir pada beton dengan variasi 5%, 10%, 20%, dan 50%. Persentase optimum kuat tekan yang dihasilkan pada variasi 10% sebesar 32,9 MPa.

Penelitian ini mempunyai tujuan untuk menganalisis yaitu pengaruh variasi penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap berat isi SKPM, pengaruh variasi penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat tekan SKPM, dan ciri-ciri SKPM memenuhi kriteria ramah lingkungan.

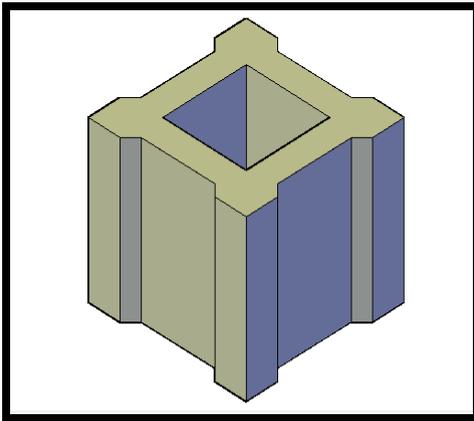
METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang dilakukan menggunakan metode kuantitatif (analisis keseragaman variasi kekuatan) dengan melakukan eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium dengan kondisi dan perlengkapan yang disesuaikan dengan kebutuhan untuk mendapatkan data tentang berat isi dan kuat tekan SKPM.

Populasi pada penelitian ini adalah benda uji SKPM (Gambar 1, Gambar 2) dengan limbah kaca sebagai pengganti agregat halus dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat agregat halus, dengan dimensi 15 mm x 15 mm x 15 mm sebanyak 12 buah untuk pengujian berat isi dan 12 buah kuat tekan SKPM. Benda uji seperti pada gambar 1. dan gambar 2.



Gambar 1. Benda uji SKPM.



Gambar 2. Benda uji SKPM.

Data primer merupakan data yang didapatkan dari hasil penelitian atau eksperimen dan pengamatan yang dilakukan di laboratorium. Hasil data diantaranya adalah data-data uji bahan yang dilakukan sebelum pembuatan benda uji, dan data hasil uji berat isi dan kuat tekan SKPM. Data sekunder diperoleh dari literatur/referensi berupa buku-buku relevan dan jurnal penelitian yang bisa untuk menunjang berlangsungnya penelitian ini.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a) Semen portland tipe 1
- b) Air
- c) Pasir daerah Muntilan, Magelang.
- d) Limbah kaca yang digunakan adalah semua jenis kaca yang dipecahkan dan berukuran maksimal 4,75 mm berasal dari industri pembuatan aquarium.

Setelah dilakukan pemeriksaan bahan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji, lalu dilakukan perhitungan bahan campuran SKPM sesuai dengan percobaan SNI 03-6285-2002. Proses berikutnya yaitu pencampuran dengan *mixer*, ketika pengadukan dilakukan perataan bahan dengan cetok sangat perlu dilakukan agar adonan tidak menggumpal pada tangkai *mixer*. Dalam waktu yang bersamaan, persiapan mesin pencetak dengan pemberian oli dan dengan memasang alas cetakan dimesin pencetak. Kemudian dipastikan dengan menurunkan cetakan tepat diatas alas cetakan dengan tuas penggerak cetakan.

Adukan yang telah homogen dimasukkan dalam cetakan secara bertahap dan unit penggetar dihidupkan sampai adukan penuh. Tutup cetakan dengan tuas penggerak cetakan, angkat tuas keatas sampai tutup cetakan jatuh dan menekan adukan dalam cetakan. Getarkan unit penggetar dengan pedal pada bawah mesin hingga penutup cetakan sesuai dengan batas yang ditandai.

Kemudian unit penggetar dimatikan dan cetakan serta tutup cetakan dinaikkan dengan tuas penggerak cetakan hingga diatas produk. Produk SKPM (Gambar 1, Gambar 2) selesai dicetak. Setelahnya pindahkan ketempat yang jauh dari sinar matahari dan lakukan perawatan selama 28 hari.

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini :

- a) Berat isi SKPM

Menurut SNI 1973:2008, definisi dari berat isi yaitu berat per satuan volume. Berat isi dari beton mortar menurut Tjokrodimulyo (2004:IX-2) sebesar 1800 – 2200 kg/m³. Tahapan dalam pengujian berat isi SKPM :

- 1) Pengukuran dimensi SKP berupa panjang, lebar, tinggi dan ketebalan benda uji
- 2) Kemudian ditimbang dan dicatat beratnya.
- 3) Lakukan pada semua benda uji.

Rumus Perhitungan :

$$\text{Berat Isi (B)} = \frac{W}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- B = Berat isi (kg/m³)
 W = Berat benda uji (kg)
 V = Volume benda uji (m³)

- b) Kuat tekan SKPM

Kuat tekan beban beton merupakan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya desak tertentu, yang dihasilkan oleh mesin desak/*Universal Testing Machine* (SNI 03-0349-1989) (Gambar 3)



Gambar 3. Mesin Desak / *Universal Testing Machine*

Tahapan pengujian kuat tekan SKPM :

- 1) Melakukan pengukuran luas penampang SKPM dan menimbang benda uji.
- 2) Meletakkan benda uji pada mesin tekan secara sentris dengan menyesuaikan arah tekanan pada bidang tekan benda uji
- 3) Melakukan pembebanan sampai benda uji hancur dan mencatat beban maksimum dalam pengujian.
- 4) Lakukan pada semua benda uji.

Rumus perhitungan :

$$\text{Kuat tekan (P)} = \frac{F}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)(2)}$$

Keterangan :

P = Kuat tekan (kg/cm²)

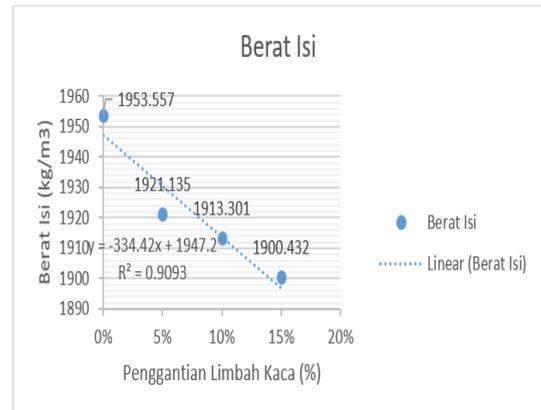
F = Beban tekan maksimum (kg)

A = Luas penampang benda uji yang ditekan (cm²)

Sebelum dilakukan analisis data berat isi SKPM dan kuat tekan SKPM, dilakukan terlebih dahulu analisis keseragaman variasi kekuatan benda uji sesuai standar kontrol beton. Kemudian, data berat isi dan SKPM dianalisis dengan analisis statistik menggunakan program *Microsoft Excel* berupa grafik *linieritas*. Data hasil uji kuat tekan dianalisis menggunakan analisis statistik menggunakan program *Microsoft Excel* berupa grafik kurva *polinomial*.

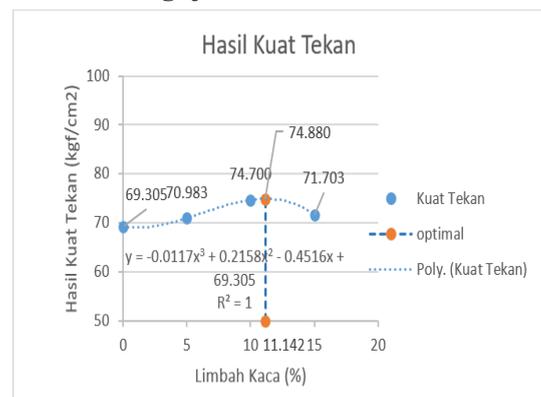
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Berat Isi SKPM



Gambar 4. Grafik Hasil Berat Isi SKPM

2. Hasil Pengujian Kuat Tekan SKPM



Gambar 5. Grafik Hasil Kuat Tekan SKPM

3. Pembahasan

Berdasarkan Gambar 4. berupa grafik hasil berat isi SKPM yang didapatkan dari hasil pengujian berat isi SKPM, disimpulkan bahwa berat isi SKPM terus mengalami penurunan dengan meningkatnya persentase penggantian variasi limbah kaca dari 5%, 10%, hingga 15%. Berat isi minimal pada variasi penggantian limbah kaca 5%, 10%, dan 15% yaitu terletak pada variasi limbah kaca 15% sebesar 1900,432 kg/m³ dan berat isi maksimal berada pada variasi limbah kaca 5% sebesar 1921,135 kg/m³.

Tingkatan variasi penggunaan limbah kaca sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% ini terdapat berat isi minimal pada persentase

15% dengan perbedaan lebih ringan 2,795% dibanding SKPM tanpa penggantian apapun. Semakin banyak penggantian limbah kaca terhadap agregat halus maka massa pada benda uji SKPM (Gambar 1, Gambar 2) semakin ringan sehingga nilai berat isi semakin menurun. Hal ini dapat dikaitkan dengan berat jenis limbah kaca yaitu lebih ringan 7,11% dari pada berat jenis pasir yang digunakan. Namun, efek ini sedikit diimbangi oleh beberapa faktor yang lainnya diantaranya : penurunan rasio agregat halus dalam setiap campuran yang dihasilkan, pengaruh proses pencetakan pada saat memasukkan bahan campuran yang memungkinkan terjadinya perbedaan perlakuan seperti pengisian campuran yang kurang pada cetakan, kekuatan jatuh pematat saat menggunakan mesin cetak yang memungkinkan untuk terjadi perbedaan perlakuan serta proses penggetaran mesin saat pemadatan.

Berdasarkan gambar 5. grafik hasil kuat tekan SKPM menunjukkan yang didapatkan dari hasil alat uji mesin desak (Gambar 3) diperoleh hasil kuat tekan yang maksimal pada variasi 10% yaitu sebesar 74,700 kgf/cm² pada benda uji SKPM (Gambar 1, Gambar 2). Sampel SKPM (Gambar 1, Gambar 2) yang dibuat memenuhi standar mutu II yang telah disyaratkan pada awal pembuatan yaitu minimal sebesar 50 kgf/cm² berdasar (SNI 03-6825-2002).

Penelitian pembuatan SKPM ini dengan variasi persentase penggantian limbah kaca 0%, 5%, 10%, dan 15% terdapat nilai kuat tekan optimal yaitu pada persentase 11,142% dengan kuat tekan sebesar 74,880 kgf/cm². Penurunan kekuatan pada variasi penggantian 15% sebesar 4,013% dari persentase variasi penggantian 10%. Hasil kuat tekan yang menurun ini disebabkan oleh benda uji yang belum sempurna kering setelah penyiraman saat perawatan, pemadatan pada saat pencetakan yang kurang, dan perawatan beton yang memungkinkan

terjadi perbedaan perlakuan banyak sedikitnya air yang disiramkan.

Penelitian ini totalnya dapat menggunakan material limbah kaca dalam produknya mencapai sebesar 236,3 kg per m³ SKPM adalah produk yang difungsikan untuk kolom praktis, dibuat dengan sistem prapabrikasi dan berbentuk desain SKPM (Gambar 1, Gambar 2) dengan variasi limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus. Hasil penelitian yang didapatkan dari pembuatan SKPM menunjukkan bahwa ada ciri -ciri kriteria beton ramah lingkungan yang sesuai dengan perangkat penilaian *greenship* untuk bangunan baru versi 1.2 dari *Green Building Council* Indonesia terletak pada aspek penilaian mengenai tentang Sumber dan Siklus Material (*Material Resource and Cycle-MRC*).

Tolok ukur yang terpenuhi diantaranya :

- 1) Poin MRC 1 mengenai penggunaan gedung dan material.
- 2) Poin MRC 2 mengenai material ramah lingkungan.
- 3) Poin MRC 3 terkait dengan penggunaan material yang dapat merusak ozon.
- 4) Poin MRC 5 yaitu mengenai material prafabrikasi.
- 5) Poin MRC 6 yaitu terkait dengan material regional yang bertujuan untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi dalam negeri.

SIMPULAN

Berdasarkan tujuan dari penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan variasi limbah kaca sebagai pengganti agregat halus berpengaruh terhadap nilai berat isi SKPM dan berat isi minimal pada variasi limbah kaca 15% sebesar 1900,432 kg/m³.
2. Penggunaan variasi limbah kaca sebagai pengganti agregat halus berpengaruh terhadap nilai kuat tekan SKPM dan kuat tekan maksimal pada variasi limbah kaca 10% sebesar 74,700 kgf/cm².

3. Penggunaan variasi limbah kaca memiliki ciri-ciri dalam kriteria beton ramah lingkungan sesuai aspek penilaian mengenai Sumber dan Siklus Material (*Material Resource and Cycle-MRC*) pada perangkat penilaian *greenship* untuk bangunan baru versi 1.2 *Green Building Council Indonesia* dan penggantian limbah kaca terhadap sebagian agregat halus maksimal dalam penelitian ini mencapai 15% atau sebesar 236,3 kg/m³ agregat halus.

SARAN

Dalam penelitian ini terdapat beberapa saran yang perlu disampaikan oleh penulis antara lain sebagai berikut :

1. Perlu pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai reaksi kimia yang terjadi antara limbah kaca, agregat halus, dan semen pada SKPM.
2. Perlu pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai SKPM dengan bahan campuran lain yang inovatif.
3. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai nilai sebar dari uji *flow hydraulic mortar cement* pada campuran lain untuk membuat sampel SKPM.
4. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dalam bidang pendidikan tentang penggunaan kajian variasi limbah kaca sebagai pengganti agregat halus sebagai suplemen bahan ajar Mata Kuliah Teknologi Beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Srivastav, A. K. 2016. Partial Replacement of Fine Aggregates by Using Waste Glass. *Partial Replacement of Fine Aggregates by Using Waste Glass* 4 (3). <http://ijniet.org/wp-content/uploads/2016/03/2.pdf>.
- Asroni, Ali. 2010. *Teori Dan Desain Kolom Fondasi Balok "T" Beton Bertulang Berdasarkan SNI-2847-2013*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Basuki, Achmad. 2012. "BETON RAMAH LINGKUNGAN."

<https://Achmadbasuki.Wordpress.Com/2012/09/23/Beton-Ramah-Lingkungan/>. 2012.

<https://achmadbasuki.wordpress.com/2012/09/23/beton-ramah-lingkungan/>.

- Dinariana, Dwi, and Dedy Wijaya. 2015. "Cost Efficiency in Precast Construction Method on Multi-Storey Buildings." *International Journal of Engineering and Technology* 7 (2): 135–38. <https://doi.org/10.7763/ijet.2015.v7.781>.

Indonesia, Standar Nasional. 2002. "Standar Nasional Indonesia Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil." *Sni 03-6825-2002*.

Nasional, Badan Standardisasi. 1989. "SNI 03-0349-1989 Bata Beton Untuk Dinding." *Badan Standardisasi Nasional*.

Nasional, Badan Standardisasi. 2002. "SNI 03-6815-2002 Tata Cara Mengevaluasi Hasil Uji Kekuatan Beton," 31.

Nugraha, Paul, and Antoni. 2007. *Teknologi Beton Dari Material Pembuatan Beton Kinerja Tinggi*.

Nursyamsi, Indrawan, I., dan Hastuty, I.P.. 2016. Use of Materials as Glass Powder Added In Making Batako

Fanisa, E. G. P., dan Tanzil, G. 2013. "Pengaruh Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Bubuk Kaca Substitusi Sebagian Pasir Dengan w/c 0,60 Dan 0,65" 1 (1): 1–6.

Setia P., H., Habsya C., and Lilo T. A. 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.org/10.20961/ijcee.v1i2.18230>

Rahim, Liza N., Che Amat R., Norlia Mohamad Ibrahim, Shamshinar Salehuddin, Syakirah Afiza Mohammed, and Mustaqqim Abdul Rahim. 2015. "Utilization of Recycled Glass Waste as Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete Production." *Materials Science Forum* 803: 16–20. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.803.16>.

SNI 1973:2008. 2008. "Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran Dan Kadar Udara Beton." *Standar Nasional Indonesia*, 16.

Tjokrodimuljo, K. 2004. *Buku Ajar Teknologi Beton*. Yogyakarta