

Pengaruh Penambahan *Waste Glass* Sebagai Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton

Sri Rejeki Laku Utami^{a,*}, Muh Zaini^b, Adib Wajyu Hidayat^b

^aProgram Pascasarjana, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 565223, Indonesia

^bDepartemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 565223, Indonesia

Keywords:
Waste Glass Concrete (BWG)
Compressive strength

Kata kunci:
Beton *Waste Glass* (BWG)
Kuat tekan

ABSTRACT

This research aims to utilize glass waste as the basic material of coarse aggregate in the concrete mix used to reduce glass waste. This research uses 15 specimens with 150 x 300 mm in dimensions. The test results of normal concrete (BN) at 7, 14, and 28 days were 20.95 N/mm, 28.31 N/mm, and 34.54 N/mm. The BWG 1 at 7, 14, and 28 days was 24.35 N/mm, 25.48 N/mm, and 33.97 N/mm. BWG₂ at 7, 14, and 28 days of 17.55 N/mm², 23.78 N/mm, and 29.44 N/mm. Waste glass (BWG₃) at 7, 14, and 28 days of 20.38 N/mm², 20.95 N/mm, and 26.04 N/mm. BWG₄ at 7, 14, and 28 were 13.02 N/mm, 19.82 N/mm, and 22.08 N/mm. Comparison of the compressive strength of normal concrete with waste glass concrete at the age of 7 days showed that BWG₁ increased around 16%. As for other test specimens, there was a decrease in compressive strength compared to BN were the results for BW₂, BW₃, BW₄ (16%, 3%, and 38%). At 14 days shows that the BWG₁, BWG₂, BWG₃, and BWG₄ decrease by 10%, 16%, 26%, and 30%. At 28 days showed the BWG₁, BWG₂, BWG₃, and BWG₄ decrease of 2%, 15%, 25%, and 36% compared to BN.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah kaca sebagai bahan dasar agregat kasar dalam campuran beton yang digunakan untuk mereduksi limbah kaca. Penelitian ini menggunakan 15 benda uji dengan dimensi 150 x 300 mm. Hasil pengujian beton normal (BN) pada umur 7, 14, dan 28 hari adalah 20,95 N/mm, 28,31 N/mm, dan 34,54 N/mm. BWG 1 pada hari ke 7, 14, dan 28 adalah 24,35 N/mm, 25,48 N/mm, dan 33,97 N/mm. BWG 2 pada 7, 14, dan 28 hari sebesar 17,55 N/mm², 23,78 N/mm, dan 29,44 N/mm. BWG 3 pada 7, 14, dan 28 hari sebesar 20,38 N/mm², 20,95 N/mm, dan 26,04 N/mm. BWG 4 pada 7, 14, dan 28 adalah 13,02 N/mm, 19,82 N/mm, dan 22,08 N/mm. Perbandingan kuat tekan beton normal dengan beton limbah kaca pada umur 7 hari menunjukkan bahwa BWG₁ meningkat sekitar 16%. Sedangkan untuk benda uji lainnya terjadi penurunan kuat tekan dibandingkan dengan BN yaitu pada hasil BW₂, BW₃, BW₄ (16%, 3%, dan 38%). Pada 14 hari menunjukkan bahwa BWG₁, BWG₂, BWG₃, dan BWG₄ mengalami penurunan sebesar 10%, 16%, 26%, dan 30%. Pada hari ke 28 menunjukkan penurunan BWG₁, BWG₂, BWG₃, dan BWG₄ sebesar 2%, 15%, 25%, dan 36% dibandingkan dengan BN.



This is an open access article under the [CC-BY](#) license.

1. Pendahuluan

Pembangunan berperan penting bagi suatu negara, Pembangunan bisa berupa pembangunan fisik maupun non fisik. pembangunan fisik di-era sekarang ini banyak sekali menggunakan beton,mulai dari beton konvensional, beton *ready mix* ataupun beton pracetak (*precast*). beton di minati karena mudah dibentuk sesuai dengan desain yang diinginkan dan memiliki nilai kuat tekan lebih tinggi

dibandingkan kayu ataupun bambu. Beton didefinisikan sebagai campuran dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan hidrolik (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah (*admixture* atau *additive*) SNI 2847:2013 [1]–[3].

Pemanfaatan bahan limbah dan analisis material penyusun telah diteliti [4]–[7] kaca sebagai bahan dasar agregat

*Corresponding author.

E-mail: udhitami@gmail.com

<https://doi.org/10.21831/inersia.v17i2.41223>

Received 10 June 2021; Revised 28 December 2021; Accepted 29 December 2021

Available online 31 December 2021

kasar dalam campuran beton digunakan untuk mengurangi limbah kaca tersebut. Kaca dibuat dengan mencampur pasir, abu soda, dan kapur/oksida timah. Tiga bahan dasar dicampur dengan *cullet* (pecahan kaca), *dolomite* dan *saltcake*, kemudian dilelehkan dalam tungku pembakaran, panas yang sangat tinggi, membuat bahan-bahan itu menyatu dan mencair [8], [9].

Limbah kaca ini mempunyai ukuran beragam dan rata-rata mempunyai bentuk memanjang. Penelitian ini ingin memanfaatkan limbah pecahan kaca sebagai bahan pengganti agregat kasar (Batu Split) dalam komposisi campuran beton. Adukan campuran beton memakai bahan batu split, pasir muntilan, semen gresik, dan air sumur sebagai bahan dasar campuran beton serta menggunakan asumsi perbandingan 1 Semen, 3 Agregat Halus, dan 3 Agregat Kasar (1:3:3) dengan Faktor Air Semen (f.a.s) 0,58 untuk mencapai mutu rencana yaitu mutu beton K-225 dengan memakai cetakan berbentuk silinder berukuran 150 mm x 300 mm dengan jumlah 15 buah. Penambahan *waste glass* untuk menggantikan Agregat Kasar Batu Split pada adukan beton memiliki persentase penambahan 0%, 5%, 15%, 30%, dan 50 % dengan 3 buah sample pada tiap-tiap variannya, pengujian kuat tekan beton dilakukan saat beton berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

1.1 Limbah Kaca Penyusun Beton

Inovasi beton dengan caramemanfaatkan limbah kaca sebagai bahan campuran beton mulai berkembang [8], [10]–[13], pemanfaatan *waste glass* digunakan sebagai substitusi untuk agregat halus, agregat kasar, dan bahan pencampur lainnya. Dari penelitian tentang pemanfaatan limbah kaca bertujuan untuk mendaur ulang/ menggunakan kaca yang sudah berbentuk limbah mulai dari pecahan kaca plat/botol kaca/ dan limbah kaca berbetuk lainnya.



Gambar 1. Limbah kaca

1.2 Metode Pelaksanaan Penelitian

Pencampuran bahan-bahan penyusun beton dilakukan agar diperoleh suatu komposisi yang solid dari bahan-bahan

penyusun berdasarkan rancangan campuran beton. Sebelum diimplementasikan dalam pelaksanaan konstruksi di lapangan, pencampuran bahan-bahan dapat dilakukan di laboratorium. Agar tetap terjaga konsistensi rancangannya, tahapan lebih lanjut dalam pengolahan beton perlu diperhatikan. Komposisi yang baik akan menghasilkan kuat tekan yang tinggi, tetapi jika pelaksanaannya tidak dikontrol dengan baik, kemungkinandihasilkannya beton yang tak sesuai dengan rencana akan semakin besar [14], [15].

Berikut adalah beberapa tahapan dalam pelaksanaan pembuatan beton.

1. Persiapan
2. Pengadukan (*Mixing*)
3. Penuangan atau pengecoran (*Placing*)
4. Perawatan (*Curing*)
5. pengujian.

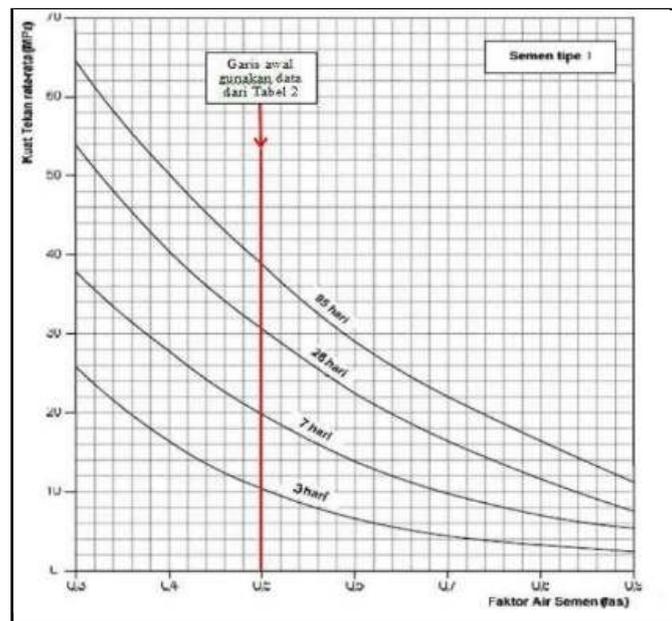
1.3 Kuat Tekan

Untuk merencanakan sebuah komponen struktur beton, biasanya diasumsikan bahwa beton akan menopang tegangan tekan dan bukannya tegangan tarik. Oleh sebab itu kuat tekan beton pada dasarnya dijadikan pedoman untuk menentukan mutu atau kualitas suatu material beton. Umumnya sifat mekanik beton yang lainnya, dapat diperkirakan berdasarkan pada kuat tekan beton. Untuk menentukan besarnya kuat tekan beton dapat dilakukan uji kuat tekan dengan mengacu pada standar ASTM C39/C39M-20 ‘*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*’ [16]. Benda uji yang sering digunakan di negara Indonesia adalah benda uji berupa silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kuat tekan, antara lain: jenis dan kualitas semen yang dipakai, jenis dan tekstur bidang permukaan agregat, pemakaian dan kualitas air, Faktor air semen, umur beton saat diuji serta kondisi kelembapan udara saat masaperawatan benda uji.

1.4 Nilai FAS (Faktor Air Semen)

Faktor air semen (f.a.s.) adalah perbandingan antara berat air dengan berat semen yang digunakan dalam campuran beton. Tidak hanya pada beton mutu rendah, pada beton mutu tinggi, w/c bisa diartikan sebagai *water to cementitious ratio* yang berarti rasio atau perbandingan berat air terhadap berat semen dan aditif cementitious yang umumnya ditambahkan dalam campuran beton mutu tinggi. Adapun untuk grafik FAS dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kuat tekan dan f.a.s.

Setelah diketahui nilai fas dari grafik diatas, maka dilanjutkan dengan menentukan faktor air semen (fas) maksimum yang dapat ditentukan dari Tabel 1.

Persyaratan Fas dan Jumlah Semen Minimum untuk BerbagaiPembetonan dan Lingkungan Khusus.

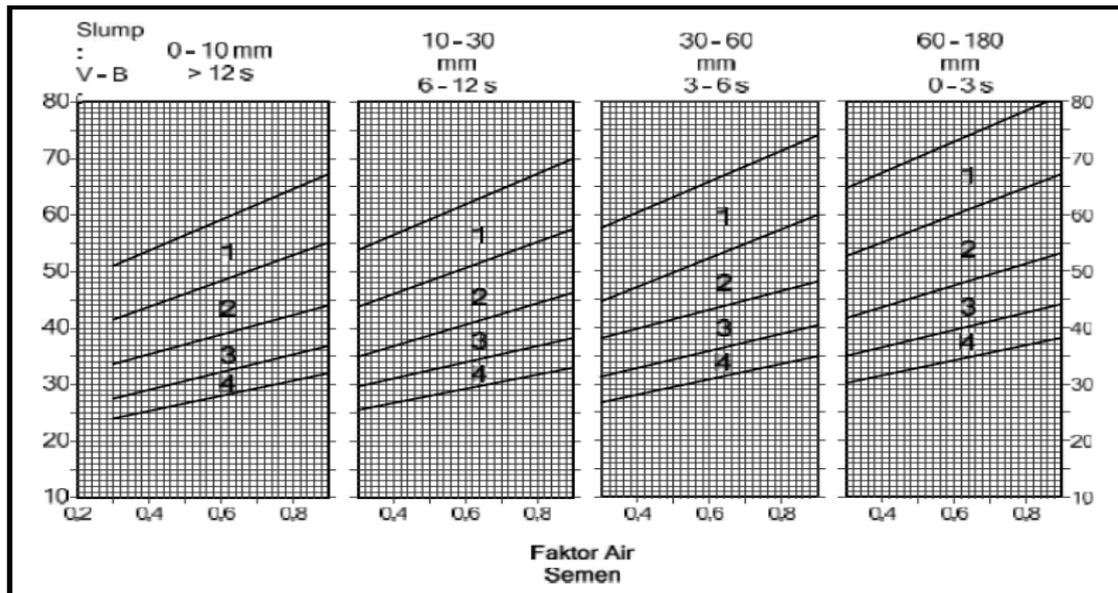
Tabel 1. Syarat f.a.s. dan jumlah semen minimum untuk lingkungan khusus

Jenis pembetonan	Jumlah semen minimum per-m ³ beton (kg)	Nilai f.a.s. maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
Keadaan keliling non korosif	275	0,6
Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,6
Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk ke dalam tanah		
Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,52
Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 3.10
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Tabel 3.11

1.5 Persentase Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir halus yang memiliki ukuran butir maksimal 5 mm. Salah satu kegunaan agregat halus adalah sebagai bahan pengisi campuran beton. Untuk memperoleh kualitas beton yang baik, perlu dihitung jumlah agregat halus yang membentuk campuran beton tersebut. Adapun untuk grafik prosentase agregat halus

dapat dilihat pada Gambar 3 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm [17].



Gambar 3. Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10mm

1.6 Campuran Beton

Pencampuran bahan-bahan penyusun beton dilakukan agar diperoleh suatu komposisi yang solid dari bahan-bahan penyusun berdasarkan rancangan campuran beton. Sebelum diimplementasikan dalam pelaksanaan konstruksi di lapangan, pencampuran bahan-bahan dapat dilakukan di laboratorium. Agar tetap terjaga konsistensi rancangannya, tahapan lebih lanjut dalam pengolahan beton perlu diperhatikan. Komposisi yang baik akan menghasilkan kuat tekan yang tinggi, tetapi jika pelaksanaannya tidak dikontrol dengan baik, kemungkinan dihasilkannya beton yang tak sesuai dengan rencana akan semakin besar.

Setelah didapatkan komposisi yang direncanakan untuk kuat tekan tertentu, maka proses selanjutnya adalah pencampuran di lapangan. Komposisinya disesuaikan dengan kapasitas alat aduk. Secara umum Pengadukan dilakukan sampai didapatkan suatu sifat yang plastis dalam campuran beton segar. Indikasinya adalah warna adukan merata, kelecakan yang cukup, dan tampak *homogeny*.

Selama proses pengadukan, harus dilakukan pendataan rinci mengenai meliputi: jumlah batch-aduk yang dihasilkan, proporsi material, perkiraan lokasi dari penuangan akhir, waktu dan tanggal pengadukan serta penuangan.

Untuk menghindari terjadinya segregasi dan *bleeding*, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penuangan beton. Hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Campuran yang akan dituangkan harus ditempatkan sedekat mungkin dengan cetakan akhir untuk mencegah segregasi karena penanganan kembali atau pengaliran adukan.
2. Pembetonan harus dilaksanakan dengan kecepatan penuangan yang diatur sedemikian rupa sehingga campuran beton selalu dalam keadaan plastis dan dapat mengalir dengan mudah ke dalam rongga di antara tulangan.
3. Campuran beton yang telah mengeras atau yang telah terkotori oleh material asing tidak boleh dituang ke dalam struktur.
4. Campuran beton yang setengah mengeras atau telah mengalami penambahan air tidak boleh dituangkan, kecuali telah disetujui oleh pengawas ahli.
5. Beton yang dituangkan harus dipadatkan dengan alat yang tepat secara sempurna dan harus diusahakan secara maksimal agar dapat mengisi semua rongga beton.

1.7 Perawatan (*Curing*)

Perawatan (*Curing*) bermaksud untuk menghindari panas hidrasi yang tidak dikehendaki yang disebabkan oleh suhu. Cara dan bahan serta alat yang dipakai untuk perawatan akan menentukan sifat dari beton hasilkan, terutama dari sisi kekuatannya. Waktu-waktu untuk merawat beton pun harus terjadwal dengan benar. Beton akan mengalami pengerasan secara sempurna adalah setelah 28 hari, sehingga pada hari-hari sebelumnya akan mempunyai kuat tekan yang berbeda. Perawatan dengan pembasahan

bisa dilakukan di laboratorium ataupun di lapangan. Pekerjaan perawatan dengan pembasahan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu:

1. meletakkan beton segar dalam ruangan yang lembab.
2. meletakkan beton segar dalam air.
3. Menyelimuti permukaan beton dengan air.
4. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah.
5. Menyirami permukaan beton secara kontinu.

1.8 Pengujian Beton

Pengambilan contoh uji dan pengujian dalam pelaksanaan pekerjaan beton secara umum dapat dibagi menjadi tiga kegiatan: pengujian material penyusun beton, pengujian beton segar, pengujian beton keras. Pengujian beton dilakukan setelah masa perawatan benda uji. Benda uji yang digunakan dapat berupa silinder, balok ataupun kubus dengan ukuran sesuai dengan yang disyaratkan. standart pengujian kuat tekan beton dengan silinder.

2. Metode

2.1 Bahan Penelitian

Bahan bahan yang dipakai dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut: (a) Beton yang digunakan adalah mutu 19 MPa dan slump 10 ± 2 cm. Pemilihan sesuai dengan peraturan SNI 2834-2000 [18] dan SNI 2847 2013 [1]. Bahan campuran yang digunakan adalah limbah kaca atau *Beton Water Glass (BWG)* menggunakan silinder 15 x 30 mm sejumlah 15 benda uji. Beton Agregat Kasar Limbah Kaca, uji kuat tekan beton dengan memakai campuran pecahan kaca untuk agregat kasarnya mengalami penurunan seiring penambahan persentase pecahan kaca, oleh karena itu peneliti akan melakukan *treatment* pemecahan tidak beraturan pada limbah kaca dengan tujuan untuk meningkatkan nilai kuat tekan beton. Karena sifat kaca yang tahan terhadap zat kimia dan mudah pecah, pelaksanaan *treatment* pada limbah kaca ini tidak bisa memakai bahan kimia cair untuk merubah karakteristik kaca tetapi peneliti akan lebih mengarah pada

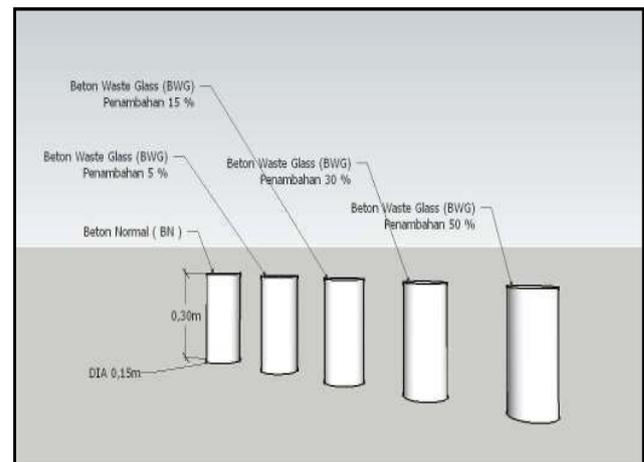
cara pemecahan limbah kaca dan bentuk pecahan kaca yang tidak beraturan.

2.2. Peralatan Pengujian

Alat yang dipakai dalam pengujian ini adalah Mesin Uji Tekan Beton, *Slump Test* (kerucut Abram's) [19].

2.3 Benda Uji

Dalam pembuatan benda uji persentase penambahan limbah pecahan kaca (*waste glass*) dalam campuran beton untuk pengganti agregat kasar (Batu Split) adapun presentase penambahannya adalah 0%, 5%, 15%, 30%, dan 50 %. Benda uji pada penelitian ini berbentuk silinder dengan tinggi 300 mm dan lebar 150 mm, dibuat 3 sampel dari setiap varian dengan total seluruh sampel benda uji berjumlah 15 buah, pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan beton. Pembuatan perencanaan benda uji bertujuan agar sampel yang nantinya akan di ujikan jumlahnya terperinci sekaligus menjadi pedoman peneliti untuk membuat benda uji beton, tiap-tiap varian campuran beton dibuat 3 sample untuk tiap sampel di ujikan nilai kuat tekannya ketika beton dalam umur tertentu.



Gambar 3. Penambahan *waste glass* pada beton

Selanjutnya, untuk sampel pada benda uji mengacu kepada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah benda uji

Bentuk uji	Agregat halus (pasir Muntilan)	Agregat kasar (Batu split)	Agregat kasar (pecahan kaca)	Jumlah benda uji
Silinder	100%	100%	0%	3
Silinder	100%	95%	5%	3
Silinder	100%	85%	15%	3
Silinder	100%	70%	30%	3
Silinder	100%	50%	50%	3
Jumlah				15

Tabel 3. Estimasi Harga Satuan untuk Benda Uji

Kode Benda uji	Volume material	Satuan	Total harga (Rp)
BN	50,341	kg	17.401,00
BWG ₁	50,341	kg	17.353,00
BWG ₂	50,341	kg	17.257,00
BWG ₃	50,341	kg	17.113,00
BWG ₄	50,341	kg	16.920,00

Kebutuhan material dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jika menggunakan benda uji berupa silinder dengan ukuran silinder (\varnothing : 150 mm/ 0,15 m, h: 300 mm/ 0,30 m) maka dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\pi \cdot r^2 \cdot t &= 3,14 \times 0,075^2 \times 0,30 \\ &= 0,005299 \text{ m}^3\end{aligned}$$

2. menghitung kebutuhan material beton tiap satu silinder.

Proporsi Campuran untuk 1 m³ beton:

Semen *Portland* = 353,448 kg/m³, Air = 205 kg/m³,

Agregat Halus = 962,772 kg/m³, Agregat Kasar = 853,779 kg/m³.

Selanjutnya, setiap 1 m³ membutuhkan berat total material yakni sebanyak 2375 kg/m³ yaitu Proporsi Campuran untuk 0,00529 m³ beton : Semen *Portland* = 1,873 kg/m³, Air = 1,086 kg/m³, Agregat Halus = 5,102 kg/m³, Agregat Kasar = 4,524 kg/m³.

2.4. Perhitungan Estimasi Biaya

Untuk mengetahui perkiraan biaya per material sekaligus pembandingan dari segi biaya antara beton normal dengan beton pecahan kaca maka penulis membuat rincian tabel perhitungan estimasi biaya material untuk 0,021195 m³ campuran beton adapun estimasi perhitungan pada Tabel 3.

Penambahan komposisi pecahan kaca pada campuran beton, maka semakin murah untuk biaya pembuatan beton uji. adapun perincian estimasi biaya pada Tabel 3.

2.5 Pengujian Kuat Tekan Benda Uji

Setelah benda uji memasuki umur beton pada 7 hari 5 buah sampel benda uji bisa di tes untuk mengetahui nilai kuat tekannya, selanjutnya 5 sample pada beton ketika sudah berumur 14 hari dan sisanya 5 sample setelah beton berumur 28 hari. Pengujian dilakukan menggunakan mesin kuat tekan hidrolik.

Tabel 4. Perhitungan Estimasi Biaya Beton Normal dan Beton BW

Kode Benda uji	Material	Volume material	Satuan	Massa jenis (kgm ³)	Harga satuan per-m ³ (Rp)	Total Harga (Rp)
BN	Semen	7,492	kg	31,50	4.410.000,00	10.488,00
	Air	4,345	kg	1000	10.000,00	43,00
	Ag. Halus (pasir Muntilan)	20,407	kg	1400	285.000,00	4.154,00
	Ag. Kasar (Batu Split)	18,097	kg	1800	270.000,00	2.715,00
	Ag. Halus (Pecahan kaca)	0,000	kg	2579	250.000,00	0,00
	Total volume material	50,340	Kg		Total harga	17.401,00
BWG ₁	Semen	7,492	kg	3150	4.410.000,00	10.488,00
	Air	4,345	kg	1000	10.000,00	43,00
	Ag. Halus (pasir Muntilan)	20,407	kg	1400	285.000,00	4.154,00
	Ag. Kasar (Batu Split)	17,192	kg	1800	270.000,00	2.579,00
	Ag. Halus (Pecahan kaca)	0,905	kg	2579	250.000,00	88,00
	Total volume material	50,340			Total harga	17.353,00
BWG ₂	Semen	7,492	kg	3150	4.410.000,00	10.488,00
	Air	4,345	kg	1000	10.000,00	43,00
	Ag. Halus (pasir Muntilan)	20,407	kg	1400	285.000,00	4.154,00
	Ag. Kasar (Batu Split)	15,382	kg	1800	270.000,00	2.307,00
	Ag. Halus (Pecahan kaca)	2,715	kg	2579	250.000,00	263,00
	Total volume material	50,340	kg		Total harga	17.257.000,00

Kode Benda uji	Material	Volume material	Satuan	Massa jenis (kgm ³)	Harga satuan per-m ³ (Rp)	Total Harga (Rp)
BWG ₃	Semen	7,492	kg	3150	4.410.000,00	10.488,00
	Air	4,345	kg	1000	10.000,00	43,00
	Ag. Halus (pasir Muntilan)	20,407	kg	1400	285.000,00	
	Ag. Kasar (Batu Split)	12,668	kg	1800	270.000,00	
	Ag. Halus (Pecahan kaca)	5,429	kg	2579	250.000,00	
	Total volume material	50,341	kg	Total harga		17.113,00
BWG ₄	Semen	7,492	kg	3150	4.410.000,00	10.488,00
	Air	4,345	kg	1000	10.000,00	43,00
	Ag. Halus (pasir Muntilan)	20,407	kg	1400	285.000,00	4.154,00
	Ag. Kasar (Batu Split)	12,668	kg	1800	270.000,00	1.357,00
	Ag. Halus (Pecahan kaca)	5,429	kg	2579	250.000,00	877,00
	Total volume material	50,341	kg	Total harga		16.920,00

3. Hasil

3.1 Hasil uji eksperimental

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental yang dilakukan di PT Tugu Beton Semesta Abadi yang terletak di Jl. Pelabuhan Kendal No. 100, Desa Wonorejo, Kec. Kaliwungu, Kab. Kendal, Jawa Tengah-Indonesia.

3.2 Pengujian Agregat Halus

Kegiatan Pengujian material agregat halus bermaksud untuk mengetahui sifat dan karakteristik Pasir Muntilan yang nantinya akan dipakai untuk campuran beton.

Pengujian material agregat halus meliputi uji berat jenis dan penyerapan agregat halus, analisa saringan (Modulus Halus), kadar lumpur dan berat isi [20]. Hasil pengujian material agregat halus adalah sebagai berikut. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus bertujuan untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air pada agregat halus. Hasil analisis pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian penyerapan air Agregat halus

Uraian	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Pasir SSD	gram	500	500	500
Berat pasir kering mutlak (Bk)	gram	480	485	482,50
Berat Piknometer + Air + Pasir (Bt)	gram	1195	1200	1197,50
Berat Piknometer Berisi Air (B)	Gram	890	890	890
Berat jenis Curah Bk/(B+500-Bt)	-	2,46	2,55	2,51
Berat Jenis SSD 500/(B+500-Bt)	-	2,56	2,63	2,60
Berat Jenis Semu Bk/(B+Bk-Bt)	-	2,74	2,77	2,76
Penyerapan Air (500-Bk)/Bk*100%	persen	4,17	3,09	3,63

Tabel 5. Pengujian Agregat Kasar (Batu Split)

Uraian	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kerikil SSD (B)	gram	1000	1000	1000
Berat kerikil kering mutlak (Bk)	gram	990	988	989
Berat kerikil dalam air (Ba)	gram	632	628	630
Berat jenis Curah Bk/(Bj-Ba)	gram	2,69	2,66	2,67
Berat Jenis SSD BJ/(Bj-Ba)	-	2,72	2,69	2,70
Berat Jenis Semu Bk/(Bk-Ba)	-	2,77	2,74	2,75
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk*100%	-	1,01	1,21	1,11

Gradasi pasir muntilan tidak terlalu jauh melewati ambang batas yang telah ditentukan, Pasir muntilan masuk

kedalam gradasi pasir Daerah II, untuk modulus halus butir didapatkan nilai sebesar 2,51 %, nilai tersebut masih

masuk kedalam syarat SNI 03-1968-1990 yakni sebesar 1,5 % - 3,8 %.

Kegiatan Pengujian material agregat kasar bertujuan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari batu split dan limbah pecahan kaca yang nantinya akan dipakai untuk campuran beton. Pengujian material agregat kasar meliputi uji berat jenis dan penyerapan agregat kasar (batu split) [21], analisa saringan (Modulus Halus) batu split, kadar lumpur (batu split) dan berat isi (batu split dan *waste glass*). Hasil pengujian material agregat kasar adalah sebagai berikut.

3.3 Pengujian Berat isi Agregat Kasar (*Waste Glass*)

Sama seperti Pengujian berat isi agregat kasar batu split pengujian agregat kasar *waste glass* dibagi menjadi dua juga, yaitu pengujian berat isi gembur dan berat isi padat.. Hasil pengujian berat isi gembur dan padat agregat kasar *waste glass* sebagaimana pada Tabel 6 dimana skema pengujian ini dilaksanakan di laboratorium dengan banyak variabel pengendali pada penelitian yang telah dilaksanakan.

Tabel 6. Pengujian Agregat Kasar *Waste Glass*

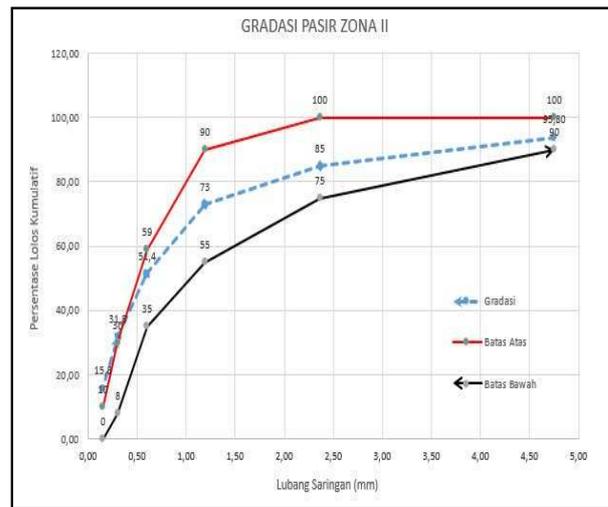
Uraian	Satuan	Hasil Pengujian
Berat tabung (W_1)	gram	2450
Berat tabung + agregat kering tungku (W_2)	gram	10295
Berat agregat (W_3)	gram	7845
Volume tabung (V)	cm ³	6612,84
Berat isi gembur (W_3/V)	gram/cm ³	1,19

3.4 Pengujian Agregat Kasar

Hasil pengujian di atas menghasilkan berat isi gembur agregat halus sebesar 1,370 gram/cm³, dan berat isi padat agregat halus adalah sebesar 1,450 gram/cm³. Hal ini berarti bahwa berat isi agregat kasar yang digunakan cukup baik untuk bahan campuran beton. karena selisih antara berat isi gembur dengan berat isi padat tidak terlalu jauh, yaitu sebesar 0,070 gr/cm³. Sama seperti Pengujian berat isi agregat kasar batu split pengujian agregat kasar *waste glass* dibagi menjadi dua juga, yaitu pengujian berat isi gembur dan berat isi padat.

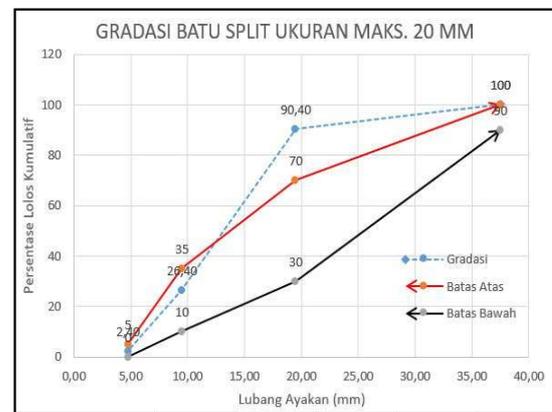
3.5 Pengujian Kuat Tekan Trial Mix

Percobaan uji campuran dimaksudkan untuk mengidentifikasi apakah komposisi campuran beton yang telah direncanakan bisa mencapai mutu beton rencana yakni sebesar 18 MPa atau tidak. percobaan ini dilakukan dengan membuat benda uji silinder dengan proporsi campuran beton normal mutu k225. Setelah setelah memasuki masa perawatan beton *trial mix* akan di uji ketika beton berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Jika hasil pengujian kuat tekan beton tidak mencapai 18 MPa, maka



Gambar 4. Grafik Gradasi Agregat Halus (Pasir Muntulan)

peneliti akan menambahkan proporsi campuran semen pada perhitungan komposisi campuran beton agar mutu beton tercapai. Dan apabila dalam pelaksanaan pengujian kuat tekan beton 18 Mpa sudah bisa tercapai maka penelitian dilanjutkan pada proses pembuatan benda uji yang berjumlah 15 buah. Berikut adalah hasil pengujian *slump* dan kuat tekan beton *trial mix* mutu k225 atau 18 MPa.



Gambar 5. grafik gradasi batu split untuk lubang ayakan 19,50 mm

Grafik gradasi batu split untuk lubang ayakan 19,50 mm hasil pengujian melampaui batas atas persen lolos kumulatif tetapi untuk hasil nilai modulus halus butir didapatkan nilai sebesar 7,19 %, nilai tersebut masih masuk kedalam syarat SNI 03-1968-1990 yakni sebesar 5% - 8% [22].

3.6 Hasil Pengujian Beton Normal

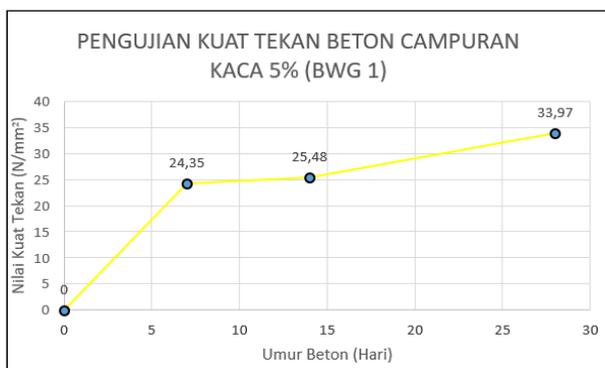
Dari hasil pengujian pada Gambar 6 kuat tekan beton normal menunjukkan nilai kuat tekan beton umur 7 hari menghasilkan nilai 20,95 N/mm², dan beton berumur 14 hari menghasilkan nilai kuat tekan 28,31 N/mm², dari hasil perbandingan kuat tekan beton umur 7 hari dan 14 hari, kuat tekan beton mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 26%, dan untuk hasil uji kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 34,54 N/mm², nilai kuat tekan tersebut mengalami peningkatan sebesar 18% dari beton umur 14 hari.



Gambar 6. Pengujian silinder beton Normal

3.7 Beton BWG 5%

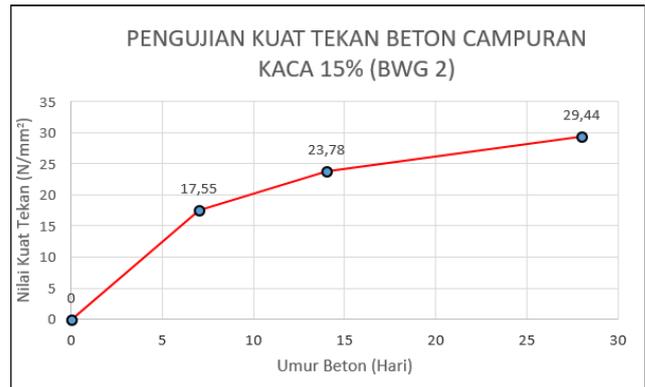
Dari hasil pengujian pada Gambar 7 kuat tekan beton waste glass 5% menunjukkan nilai kuat tekan beton umur 7 hari menghasilkan nilai 24,35 N/mm², dan beton berumur 14 hari menghasilkan nilai kuat tekan 25,48 N/mm² dari hasil perbandingan kuat tekan beton umur 7 hari dan 14 hari, kuat tekan beton mengalami peningkatan sebesar 4%, dan untuk hasil uji kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 33,97 N/mm², naik sebesar 25% dari beton umur 14 hari.



Gambar 7. Hasil Pengujian Beton BWG 5%

3.8 Beton BWG 15%

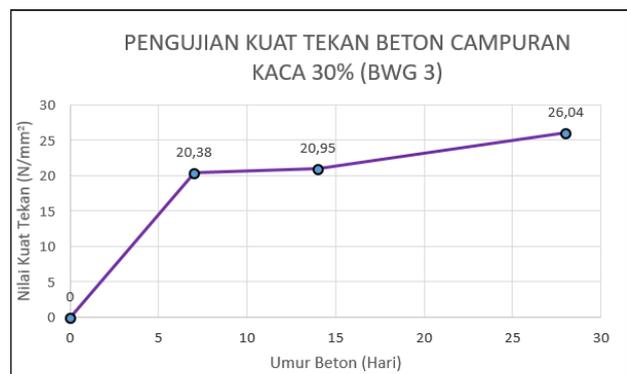
Dari hasil pengujian pada Gambar 8 kuat tekan Beton Waste Glass 15% menunjukkan nilai kuat tekan beton umur 7 hari menghasilkan nilai 17,55 N/mm², dan beton berumur 14 hari menghasilkan nilai kuat tekan 23,78 N/mm² dari hasil perbandingan kuat tekan beton umur 7 hari dan 14 hari, kuat tekan beton mengalami peningkatan sebesar 26%, dan untuk hasil uji kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 29,44 N/mm², naik sebesar 19% dari beton umur 14 hari.



Gambar 8. Hasil uji kuat tekan beton BWG 15%.

3.9 Beton BWG 15%

Dari hasil pengujian Gambar 9 kuat tekan Beton Waste Glass 30% menunjukkan nilai kuat tekan beton umur 7 hari menghasilkan nilai 20,38 N/mm², dan beton berumur 14 hari menghasilkan nilai kuat tekan 20,95 N/mm² dari hasil perbandingan kuat tekan beton umur 7 hari dan 14 hari, kuat tekan beton mengalami peningkatan nilai kuat tekan sebesar 2%, dan untuk hasil uji kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 26,04 N/mm², naik sebesar 19% dari beton umur 14 hari.

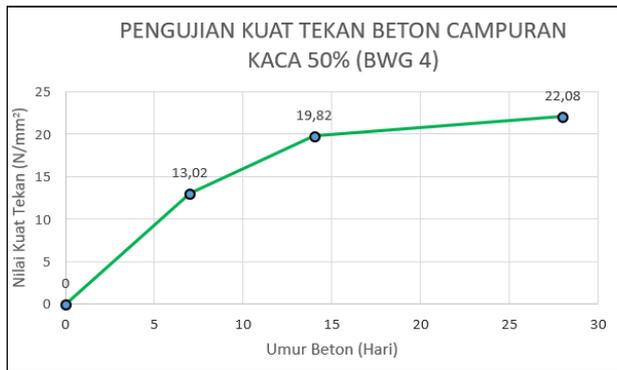


Gambar 9. Pengujian Uji Kuat Tekan Beton BWG 30%.

3.10 Hasil Pengujian BWG 50%

Dari hasil pengujian pada Gambar 10 kuat tekan Beton

waste glass 50% menunjukkan nilai kuat tekan beton umur 7 hari menghasilkan nilai 13,02 N/mm², dan beton berumur 14 hari menghasilkan nilai kuat tekan 19,82 N/mm² dari hasil perbandingan kuat tekan beton umur 7 hari dan 14 hari, kuat tekan beton mengalami peningkatan nilai kuat tekan sebesar 34%, dan untuk hasil uji kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 22,08 N/mm², naik sebesar 10% dari beton umur 14 hari.



Gambar 10. Pengujian Uji Kuat Tekan Beton BWG 50%

3.11 Analisa Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal dan Kuat Tekan Beton BWG

Perbandingan hasil pengujian kuat tekan pada tiap-tiap varian benda uji bertujuan untuk melihat dan membandingkan beton normal dengan beton perlakuan penambahan agregat pecahan limbah kaca.

Dari hasil analisa pada Gambar 11 Diagram grafik menunjukkan pada pengujian benda uji umur 7 hari Beton Waste Glass 5% (BWG₁) mendapatkan nilai kuat tekan paling tertinggi dengan nilai 24,35 N/mm², di ikuti Beton Normal 20,95 N/mm², Beton Waste Glass 30% (BWG₃) 20,38 N/mm², Beton Waste Glass 15% (BWG₂) 17,55 N/mm², dan Beton Waste Glass 50% (BWG₄) 13,02 N/mm²

Untuk hasil umur 14 hari Beton Normal (BN) memperoleh hasil yang tertinggi dengan hasil kuat tekan 28,31 N/mm², di ikuti Beton Waste Glass 5% (BWG₁) 25,48 N/mm², Beton Waste Glass 15% (BWG₂) 23,78 N/mm², Beton Waste Glass 30% (BWG₃) 20,95 N/mm², dan Beton Waste Glass 50% (BWG₄) mendapatkan hasil yang paling rendah dengan hasil nilai kuat tekan 19,82 N/mm². Untuk hasil pengujian 28 hari Beton Normal (BN) memperoleh hasil yang tertinggi dengan hasil kuat tekan 34,58 N/mm², di ikuti Beton Waste Glass 5% (BWG₁) 33,97 N/mm², Beton Waste Glass 15% (BWG₂) 29,44 N/mm², Beton Waste Glass 30% (BWG₃) 26,04 N/mm², dan Beton Waste

Glass 50% (BWG₄) mendapatkan hasil kuat tekan 22,08 N/mm².



Gambar 11. Perbandingan Hasil Uji Kuat Tekan Beton



Gambar 12. Diagram batang Perbandingan Beton Normal dan Beton BWG

Hasil analisa perbandingan kuat tekan Beton Normal dengan Beton Waste Glass untuk pengujian 7 hari menunjukkan beton BWG₁ mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 16% dibandingkan BN, hal ini bisa disebabkan karena isi dari benda uji terlalu banyak mengandung agregat kasar batu split, sedangkan untuk benda uji lain mengalami penurunan nilai kuat tekan dibandingkan BN dengan penurunan yang beragam mulai dari BWG₂ mengalami penurunan 16%, beton BWG₃ penurunan 3%, dan BWG₄ mengalami penurunan yang terbesar yaitu sebesar 38%.

Analisa perbandingan kuat tekan Beton Normal dengan Beton Waste Glass untuk pengujian 14 hari menunjukkan beton BWG₁ mengalami penurunan sebesar 10%, BWG₂ sebesar 16%, BWG₃ sebesar 26%, dan BWG₄ sebesar 30%. Perbandingan kuat tekan beton maksimum untuk Beton Normal dengan Beton Waste Glass dalam pengujian 28 hari menunjukkan beton BWG 1 mengalami penurunan sebesar 2%, BWG₂ sebesar 15%, BWG₃ sebesar 25%, dan BWG 4 sebesar 36% dibanding BN.

Dari seluruh hasil pengujian kuat tekan beton umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari, hasil perbandingan nilai kuat tekan beton *waste glass* 5%, 15%, 30%, dan 50% dengan beton normal kecuali untuk yang beton *waste glass* 5% pengujian 7 hari, seluruh benda uji mengalami penurunan nilai kuat tekan beton. Semakin banyak penambahan kaca nilai kuat tekannya akan semakin menurun bisa di lihat pada hasil pengujian kuat tekan pada Gambar 12 penurunan kuat tekan dipengaruhi oleh kandungan kaca yang ada pada campuran beton mengalami pemuatan ditambah dengan bentuk kaca yang tidak memiliki pori-pori membuat kaca tidak bisa mengikat agregat halus, air dan semen secara sempurna dibandingkan dengan batu split.

4. Simpulan

Dari hasil pengujian kuat tekan beton pada tiap-tiap varian campuran beton yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut: Pemanfaatan Waste Glass sebagai pengganti agregat kasar pada beton mutu K-225 dalam campuran adukan beton merupakan inovasi yang efektif untuk menekan biaya pembuatan beton sekaligus mengurangi limbah kaca yang tidak terpakai/ sulit di daur ulang.

Hasil perbandingan uji tekan beton normal dengan beton campuran agregat kasar (*waste glass*) 5%, 15%, 30%, dan 50% mutu K-225 mengalami perbedaan nilai kuat tekan, seiring penambahan persentase agregat pecahan kaca, sehingga dibutuhkan proporsi campuran yang tepat agar memperoleh nilai kuat tekan yang maksimal. Pemakaian perbandingan campuran adukan beton 1 semen, 3 agregat halus, dan 3 agregat kasar (1:3:3) dengan Faktor Air Semen (f.a.s) 0,58 untuk mutu beton k225 melebihi target dari nilai kuat tekan beton yang telah direncanakan.

Hasil data pengujian kuat tekan beton umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari diperoleh nilai kuat tekan Beton Normal: 20, 28 MPa, dan 34 MPa, beton *waste glass* 5%: 24MPa, 25 MPa, dan 33 MPa, beton *waste glass* 15%: 17, 23, dan 29N/mm², beton *waste glass* 30%: 20 MPa, 20 MPa, dan 26MPa, serta beton *waste glass* 50%: 13 MPa, 19 MPa, dan 22 MPa.

Beton *waste glass* 5% merupakan proporsi campuran beton kaca yang mempunyai nilai kuat tekan tertinggi dibandingkan dengan proporsi pecampuran kaca 15%, 30% dan 50%, karena hasil uji kuat tekan beton tersebut mendekati hasil kuat tekan Beton Normal.

Daftar Rujukan

- [1] A. Setiawan, *Perancangan Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SNI 2847:2013) Edisi I*, 1st ed. Jakarta: Erlangga., 2016.

- [2] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 2847:2013. Persyaratan Beton Struktural untuk bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2013.
- [3] I. Dipohusodo, *Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI)*, 1st ed. Yogyakarta: Gramedia Pustaka Utama, 1994.
- [4] A. Santoso, S. Widodo, and F. Ma, "4. Pemanfaatan Limbah Styrofoam (Expanded Polysterene) untuk Pembuatan Dinding Struktural Beton Ringan Ramah Lingkungan," *Inersia : Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 7, no. 1, May 2011, doi: 10.21831/INERSIA.V7I1.3701.
- [5] F. Ma'arif, Z. Gao, and F. Li, "Investigation of concrete quality using Discrete Element Method (DEM)," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1833, no. 1, p. 012053, Mar. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1833/1/012053.
- [6] A. Santoso, S. Widodo, and F. Ma'arif, "Prediction of Lighweight Concrete Panel Homogeneity by Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)," pp. 1–7, Sep. 2017, doi: 10.2991/ICTVT-17.2017.1.
- [7] F. Ma'arif, Z. Gao, F. Li, and H. U. Ghifarsyam, "The New Analysis of Discrete Element Method Using ARM Processor," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 832, no. 1, p. 012016, Jul. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/832/1/012016.
- [8] N. H. Aswad and T. S. Soeparyanto, "Penggunaan Pecahan Botol Kaca Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Beton," *Jurnal Stabilita*, vol. 2, no. 1, pp. 101–108, 2014.
- [9] A. Mulyadi, Diawarman, and Ricih, "Analisis Pengaruh Penambahan Limbah Pecahan Kaca Terhadap Campuran Beton Mutu K-175," *Jurnal Unpal*, vol. 1, no. 1, pp. 6–12, 2018.
- [10] M. Liaqat, M. L. Shah, and M. A. Baig, "Effect of Waste Glass as Partial Replacement for Coarse Aggregate in Concrete," *International Journal of Technical Innovation in Modern Engineering & Science*, vol. 4, no. 6, pp. 609–619, 2018.
- [11] P. Meilita, Azizah, I. A. Resti, and R. G. Lina, "Industri Kaca," *INA-Rxiv Papers*, vol. 1, no. 1.
- [12] U. Tomas and J. Ganiron, "The Effect of Waste Glass Bottles as an Alternative Coarse Aggregate in Concrete Mixture," *International Journal of ICT-aided Architecture and Civil Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 1–10, 2014.
- [13] S. Valand, K. K. Singh, H. Pathak, and G. Deshpande, "Performance Evaluation of Concrete by using Waste Glass," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 5, no. 8, pp. 824–827, 2018.
- [14] T. Mulyono, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi, 2005.
- [15] K. Tjokrodinuljo, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: NAFIRI, 1996.
- [16] ASTM International, *ASTM International - ASTM*

- C39/C39M-20 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. 2020.
- [17] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-3449-2002. Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2002.
- [18] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-2834-2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2000.
- [19] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1972:2008. Cara Uji Slump Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2008.
- [20] B. S. Nasional, *SNI 1970:2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2008.
- [21] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1969:2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2008.
- [22] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar dan Agregat Halus*. 1990.