

**KAJIAN PEMANFAATAN LIMBAH KACA SEBAGAI PENGGANTI
AGREGAT HALUS DAN FLY ASH 30% DARI BERAT SEMEN
DITINJAU DARI KUAT TARIK BELAH, DAYA SERAP DAN
POROSITAS BETON**

Cahyo Didit Prasetyo¹, Ernawati Sri Sunarsih², Taufiq Lilo Adi Sucipto³

Email : cahyodidit10@gmail.com

Abstrak : Perkembangan IPTEK di Indonesia semakin maju, terutama di bidang bangunan, hal ini memunculkan ide untuk menciptakan bahan bangunan yang relatif murah dan tidak merusak keseimbangan alam. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui, 1) pengaruh limbah kaca sebagai bahan pengganti agregat halus terhadap kuat tarik belah beton 2) pengaruh limbah kaca sebagai bahan pengganti agregat halus terhadap daya serap air beton 3) pengaruh limbah kaca sebagai bahan pengganti agregat halus terhadap porositas beton 4) persentase kuat tarik belah maksimal yang dihasilkan dari penggantian agregat halus dengan kaca 5) persentase daya serap air minimal yang dihasilkan dari penggantian agregat halus dengan kaca 6) persentase porositas minimal yang dihasilkan dari penggantian agregat halus dengan kaca. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di laboratorium dengan pengujian sampel. Adapun pengujian yang dilakukan berupa pengujian kuat tarik belah, daya serap dan porositas beton. Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa, variasi penggantian serbuk kaca sebagai agregat halus berpengaruh negatif sebesar 46,2% terhadap kuat tarik belah. Variasi penggantian serbuk kaca sebagai agregat halus berpengaruh negatif sebesar 63,9% terhadap daya serap air beton. Variasi penggantian serbuk kaca sebagai agregat halus berpengaruh negatif sebesar 73% terhadap porositas beton. Persentase serbuk kaca optimal sebagai pengganti agregat halus yang menghasilkan kuat tarik belah beton maksimal terdapat pada persentase penggantian serbuk kaca 10% yaitu sebesar 2,258 MPa, Persentase serbuk kaca optimal sebagai pengganti agregat halus yang menghasilkan daya serap beton minimal terdapat pada persentase penggantian serbuk kaca 10% yaitu sebesar 6,407%, Persentase serbuk kaca optimal sebagai pengganti agregat halus yang menghasilkan porositas beton minimal terdapat pada persentase penggantian serbuk kaca 10% yaitu sebesar 14,006%,

Kata Kunci : limbah kaca, abu terbang (*fly ash*), kuat tarik belah, daya serap, porositas.

Abstract : *The development of science and technology in Indonesia is increasingly advanced, especially in the field of building, this has led to the idea of creating building materials that are relatively inexpensive and do not destroy the balance of nature. The purpose of this study was to determine, 1) the effect of glass waste as a substitute for fine aggregate on the split tensile strength of concrete 2) the effect of glass waste as a substitute for fine aggregate on the water absorption capacity of concrete 3) the effect of glass waste as a substitute for fine aggregate*

on porosity. concrete 4) the maximum percentage of split tensile strength resulting from replacing fine aggregate with glass 5) the percentage of minimal water absorption resulting from replacing fine aggregate with glass 6) the percentage of minimal porosity resulting from replacing fine aggregate with glass. This study used an experimental method in the laboratory with sample testing. The tests carried out were in the form of split tensile strength, absorption and porosity tests of concrete. Based on the results of the study, it is concluded that the variation of glass powder replacement as fine aggregate has a negative effect of 46.2% on the split tensile strength. Variation of replacement of glass powder as fine aggregate has a negative effect of 63.9% on the water absorption capacity of concrete. Variation of replacement of glass powder as fine aggregate has a negative effect of 73% on concrete porosity. The optimal percentage of glass powder as a substitute for fine aggregate which produces the maximum tensile strength of concrete is found in the percentage of glass powder replacement of 10%, which is 2.258 MPa, the optimal percentage of glass powder as a substitute for fine aggregate which produces a minimum concrete absorption is at the percentage of glass powder replacement of 10%. amounting to 6.407%, the optimal percentage of glass powder as a substitute for fine aggregate concrete that produces minimal porosity found in the percentage of 10% replacement of glass powder that is equal to 14.006%.

Keywords : *glass waste, fly ash, split tensile strength, absorption capacity, porosity.*

¹ Mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan FKIP UNS

² Dosen Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan FKIP UNS

³ Dosen Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan FKIP UNS

PENDAHULUAN

Perkembangan di bidang konstruksi saat ini begitu pesat, hal ini mengakibatkan meningkat pula kebutuhan akan bahan material penyusun yang digunakan yaitu pada beton. Beton memiliki banyak kelebihan diantaranya kuat, awet, mudah dalam pengerjaannya. Ditinjau dari permintaan (*demand*) beton pra cetak nasional saat ini melebihi kapasitas pasokan, sehingga sudah saatnya kapasitas industri beton pra cetak ditingkatkan (IAPPI, 2016). Berdasarkan data Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian PUPR, kapitalisasi industri beton pra cetak tahun 2014 sekitar 16,61 persen dari total pekerjaan beton nasional. Porsi ini akan terus didorong hingga mencapai 30% pada tahun 2019. Dari sisi produksi, kapasitas produksi beton pra cetak saat ini masih sangat terbatas, ditambah dengan faktor biaya logistik transportasi yang menjadikan biaya mahal. Berdasarkan data Ikatan Ahli Pracetak dan Prategang Indonesia (IAPPI) tahun 2016, total kapasitas produksi dari 56 pabrik beton pra cetak di seluruh Indonesia adalah 25,4 juta ton per tahun atau rata-rata produksi satu pabrik 454.499 ton per tahun. Sementara kebutuhan terus meningkat lima kali lipat di atas kemampuan produksi industri beton pra cetak.

Jumlah limbah pecahan kaca berdasarkan data statistik Kementerian Negara Lingkungan Hidup Indonesia (KNLH) ditahun 2008 menyebutkan limbah kaca yang dihasilkan oleh 26 kota besar di Indonesia mencapai 0,7 ton pertahun. Di Bandung dari tahun 2003

sehingga 2008 jumlahnya sampah meningkat sebanyak 41% dan sampah yang diolah baru sekitar 10% dari sampah kota. (Suyoto, 2008)

Dari hasil pengujian dan penelitian sebelumnya oleh (Valentinus Denny Wijaya, 2015) penelitiannya menunjukkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi pada beton dengan substitusi 30% serbuk kaca yaitu sebesar 34,79 MPa. Nilai modulus elastisitas tertinggi pada beton dengan substitusi 10% serbuk kaca yaitu sebesar 29657,10 MPa. Nilai kuat tarik belah tertinggi pada beton dengan substitusi 40% serbuk kaca yaitu sebesar 3,16 MPa. Nilai penyerapan air beton terendah diperoleh pada beton substitusi serbuk kaca 30% sebesar 7,93%. Berdasarkan hasil pengujian, serbuk kaca layak digunakan sebagai alternatif pemanfaatan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus pada beton.

Untuk mewujudkan usaha kelangsungan dan konservasi lingkungan yang lebih baik lagi tidak hanya penggunaan limbah kaca saja, pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) yang termasuk salah satu limbah yang berbahaya merupakan suatu usaha untuk membantu menanggulangi masalah lingkungan. Upaya dalam penelitian ini adalah dengan menggantikan sebagian penggunaan semen sebagai bahan pengikat beton, dengan melakukan pemanfaatan material lain seperti abu terbang (*fly ash*), sebagai *pozzolan* yang dapat mengurangi sebagian penggunaan semen.

Abu terbang atau biasa dikenal dengan *fly ash* merupakan limbah sisa pembakaran batu bara yang dikategorikan sebagai limbah

berbahaya (B3) oleh Bapedal. *Fly ash* jika tidak dimanfaatkan dapat menjadi ancaman bagi lingkungan hidup di sekitar kita (Ardha, 2003). Abu terbang (*fly ash*) merupakan material yang di hasilkan dari proses pembakaran batu bara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral-mineral pengotor dalam batu bara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batu bara, titik leleh abu batu bara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Abu terbang (*fly ash*) terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang (*fly ash*) hasil pembakaran batu bara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Ukuran butiran abu terbang (*fly ash*) sangat halus, berkisar sampai 88%. (Sri Prabandiyani, 2008)

Dari hasil pengujian penelitian sebelumnya, penambahan persentase abu terbang (*fly ash*) sebesar 30%, 40%, 50%, 60%, 70% memiliki nilai kuat tarik belah tertinggi pada persentase abu terbang (*fly ash*) 30% yaitu sebesar 3,21 MPa untuk umur beton 28 hari. Nilai kuat tarik belah terendah pada persentase abu terbang (*fly ash*) 70% yaitu sebesar 0,82 MPa untuk umur beton 7 hari. (Adrian, 2015)

Kaca adalah salah satu produk industri kimia yang paling akrab dengan kehidupan sehari-hari. Dipandang dari segi fisika kaca merupakan zat cair yang sangat dingin. Disebut demikian karena struktur partikel-partikel penyusunnya yang saling berjauhan

seperti dalam zat cair, namun kaca sendiri berwujud padat. Ini terjadi akibat proses pendinginan (*cooling*) yang sangat cepat, sehingga partikel-partikel silika tidak sempat menyusun diri secara teratur. Dari segi kimia, kaca adalah gabungan dari berbagai oksida anorganik yang tidak mudah menguap, yang dihasilkan dari dekomposisi dan peleburan senyawa alkali dan alkali tanah, pasir serta berbagai penyusun lainnya.

Kaca memiliki sifat-sifat yang khas dibandingkan dengan golongan keramik lainnya. Kehasan sifat-sifat kaca ini terutama dipengaruhi oleh keunikan silika (SiO_2) dan proses pembentukannya.

Karakteristik dari serbuk kaca pembuatan beton adalah :

- a) Kaca merupakan bahan yang tidak menyerap air atau *zero water absorption*.
- b) Sifat kaca yang tidak menyerap air dapat mengisi rongga-rongga pada beton secara maksimal sehingga beton bersifat kedap air.
- c) Kaca dalam hal ini adalah serbuk kaca mempunyai sifat sebagai *pozzolan* yang dapat meningkatkan kuat tekan dari beton.
- d) Kaca tidak mengandung bahan yang berbahaya, sehingga pada saat pengerjaan beton aman bagi manusia.
- e) Serbuk kaca juga dapat digunakan sebagai bahan pengisi pori atau *filler*, sehingga diharapkan akan diperoleh beton yang lebih padat dengan porositas minimum sehingga kekuatan beton dapat meningkat. (Setiawan, 2006)

Tabel 1. Kandungan yang ada dalam kaca

Unsur	Serbuk Kaca
SiO ₂	61,72%
Al ₂ O ₃	3,45%
Fe ₂ O ₃	0,18%
CaO	2,59%

Sumber : (Hanifah, 2011)

Fly ash atau biasa dikenal dengan abu terbang merupakan limbah sisa pembakaran batu bara yang dikategorikan sebagai limbah berbahaya (B3) oleh Bapedal. *Fly ash* jika tidak dimanfaatkan dapat menjadi ancaman bagi lingkungan hidup di sekitar kita. (Ardha, 2003)

Penggunaan *fly ash* sebagai salah satu bahan pengganti semen dapat bermanfaat pada penyelamatan lingkungan di sekitar kita dan sekaligus mampu mengurangi penggunaan semen *portland* dalam aplikasi pembuatan beton. (Hardjito, 2001) dalam Maryoto (2008).

Dalam peranan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen didapatkan beberapa keunggulan atau keuntungan antara lain berfungsi untuk menambah kelecakan beton sehingga *workability* beton menjadi lebih baik dan mudah dikerjakan, keunggulan lain yang didapatkan adalah meningkatkan *flowability* dan *self-compactibility*. Penggunaan *fly ash* mampu mereduksi kapur bebas atau Ca(OH)₂ yang merupakan hasil sampingan dari proses hidrasi semen dan air. *Fly ash* juga berfungsi sebagai *filler* sehingga tujuan untuk mendapatkan struktur beton yang memiliki tingkat kepadatan tinggi dapat dicapai. Abu terbang (*fly ash*) adalah material yang berasal dari sisa pembakaran batu bara yang tidak terpakai. Pembakaran batu bara

kebanyakan digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap. Produk limbah dari PLTU tersebut mencapai 1 juta ton per tahun.

PLTU (pembangkit listrik tenaga uap) yang menghasilkan abu terbang ini misalnya PLTU Cilacap, PLTU Suralaya dan PLTU Paiton. Abu terbang dihasilkan oleh pabrik kertas maupun pabrik kimia. Sekitar 75% – 90% abu yang keluar dari cerobong asap dapat ditangkap oleh sistem elektrostatik precipitator. Sisa yang lain didapat didasar tungku (disebut *bottom ash*). Mutu *fly ash* tergantung pada kesempurnaan proses pembakarannya.

Material ini mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat *pozzolan*. Kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari silika dioksida (SiO₂), aluminium (Al₂O₃), besi (Fe₂O₃) dan kalsium (CaO), serta magnesium, potasium, sodium, titanium dan sulfur dalam jumlah yang lebih sedikit.

Tabel 2. Persyaratan Kimia *Fly Ash*

Uraian	Kelas		
	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min, %	70	70	50
SO ₃ , maks, %	4	5	5
Kadar air, maks, %	3	3	3
Hilang pijar, maks, %	10	6 ^A	6

(Sumber: SNI 2460:2014)

Tabel 3. Persyaratan Fisik *Fly Ash*

Uraian	Kelas		
	N	F	C
Kehalusan:			
Jumlah yang tertinggal di atas ayakan 45 µm (No. 325), diayak secara basah, maks, %	34	34	34

Indeks aktifitas kekuatan: ^A dengan semen portland, pada umur 7 hari, min, persen kontrol	75 ^B	75 ^B	75 ^B
dengan semen portland, pada umur 28 hari, min, persen kontrol	75 ^B	75 ^B	75 ^B
Kebutuhan air, maks, persen kontrol	115	105	105
Kekekalan bentuk (Soundness): ^C			
Ekspansi atau penyusutan dengan <i>autoclave</i> , maks, %	0,8	0,8	0,8
Persyaratan keseragaman: Densitas dan kehalusan dari sampel individu tidak boleh bervariasi dari rata-rata 10 sampel atau dari seluruh sampel jika jumlahnya kurang dari 10, lebih dari:			
Densitas, variasi maksimal dari rata-rata, %	5	5	5
Persentase bahan yang tertinggal pada ayakan 45 µm, (No. 325), variasi maksimal, persentase dari rata-rata	5	5	5

(Sumber: SNI 2460:2014)

Fly ash yang digunakan sebagai pengganti sebagian penggunaan semen pada beton dapat membuat beton lebih kuat, tahan lama dan mengurangi dampak lingkungan. *Fly ash* itu sendiri memiliki kegunaan untuk meningkatkan kekuatan, memperlambat *setting time* dan mengurangi panas hidrasi dari semen, sehingga kemungkinan terjadinya *cracking* dapat dikurangi. Selama ini terdapat 2 jenis *fly ash* yaitu *fly ash* tipe C dan *fly ash* tipe F. *Fly ash* tipe C dihasilkan dari pembakaran batu bara muda, sedangkan *fly ash* tipe F dihasilkan dari pembakaran batu bara antrasit. *Fly ash* tipe C memiliki karakteristik ringan dan berwarna lebih terang dari *fly ash* tipe F, sedangkan *fly ash* tipe F berwarna lebih gelap dari *fly ash* tipe C.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui, 1) pengaruh limbah kaca sebagai bahan pengganti agregat halus terhadap kuat tarik

belah beton 2) pengaruh limbah kaca sebagai bahan pengganti agregat halus terhadap daya serap air beton 3) pengaruh limbah kaca sebagai bahan pengganti agregat halus terhadap porositas beton 4) persentase kuat tarik belah maksimal yang dihasilkan dari penggantian agregat halus dengan kaca 5) persentase daya serap air minimal yang dihasilkan dari penggantian agregat halus dengan kaca 6) persentase porositas minimal yang dihasilkan dari penggantian agregat halus dengan kaca.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan dan Laboratorium Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen.

Metode campuran yang digunakan adalah metode *mix design* SK SNI 03-3449-2002 dengan menggunakan benda uji berupa silinder diameter 150 mm dan tinggi 30 mm untuk pengujian kuat tarik belah dan silinder diameter 110 mm dan tinggi 60 mm untuk pengujian daya serap air dan porositas air. Benda uji tersebut dirawat dan diuji pada umur 28 hari untuk mengetahui pengaruh perlakuan oleh peneliti terhadap kuat tarik belah, daya serap dan porositas beton.

Sampel dalam penelitian ini adalah 20 buah benda uji kuat tarik belah berdasarkan 2491:2014 dan 20 buah benda uji daya serap berdasarkan Berdasarkan SNI 03-6433-2000, ASTM D C 642-97, dan porositas berbentuk silinder berdasar

Berdasarkan SNI 03-6433-2000, ASTM D C 642-97,. Penelitian ini menggunakan semua anggota populasi untuk dijadikan sampel.

Penelitian ini dilaksanakan dalam 8 tahap yaitu (1) Persiapan alat dan bahan, (2) Pengujian bahan, (3) Perhitungan rencana campuran, (4) pembuatan benda uji, (5) Perawatan benda uji, (6) Pengujian, (7) Analisis data, (8) Kesimpulan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kuat Tarik Belah

Berikut ini adalah tabel dan gambar hasil pengujian kuat tarik belah:

Tabel 4. Hasil pengujian Kuat Tarik Belah

No	Variasi Serbuk Kaca	Variasi Fly Ash	Nomor sampel	Beban (KN)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Rata-rata (MPa)
1.	0%	0%	1	180	2.495	2,375
			2	175	2.449	
			3	175	2.457	
			4	150	2.097	
2.	0%	10%	1	180	2.510	2.355
			2	170	2.412	
			3	180	2.544	
			4	140	1.954	
3.	10%	10%	1	190	2.699	2.520
			2	170	2.391	
			3	180	2.556	
			4	175	2.434	
4.	20%	10%	1	115	1.607	1.858
			2	140	1.964	
			3	145	2.059	
			4	130	1.802	
5.	30%	10%	1	130	1.845	1.927
			2	130	1.827	
			3	145	2.015	
			4	145	2.021	
6.	40%	10%	1	125	1.762	1.864
			2	130	1.830	
			3	115	1.620	
			4	160	2.246	



Gambar 1. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Berdasarkan hipotesis pertama yang diuji menggunakan SPSS 23 diperoleh nilai signifikansi $0,582 > 0,05$ dan t hitung $\leq t$ tabel ($0,561 \leq 2,101$) maka dapat diartikan bahwa penggantian serbuk kaca sebagai pengganti agregat halus terhadap kuat tarik belah beton tidak berpengaruh. Pada hipotesis keempat menggunakan analisis deskriptif didapat hasil dilihat bahwa kuat tarik belah yang paling tinggi pada variasi persentase penggantian serbuk kaca 10% yaitu 2,52 MPa dan yang terendah pada variasi persentase penggantian serbuk kaca 20% yaitu 1,858 Mpa, sedangkan kuat tarik belah beton normal yaitu 2,310 Mpa. Hal ini menunjukkan penurunan sebesar 9,09%

Penggantian serbuk kaca yang optimal untuk mencapai kuat tarik beton yang maksimal adalah 10% dengan nilai kuat tariknya 2,26 MPa. Kadar optimum penambahan serbuk kaca terhadap kuat tarik belah beton berada pada perentase 10% yaitu sebesar 2,78 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 9,02% dibandingkan dengan beton normal (Hendra Purnomo, 2014)

Bertambahnya persentase kaca mengakibatkan nilai kuat tarik belah

beton terus menurun, hal itu disebabkan karena serbuk kaca yang permukaannya cenderung halus dan rata menyebabkan tidak saling mencengkeram ikatan antara kerikil, semen dan air. berbeda dengan pasir yang memiliki permukaan yang kasar akan membuat ikatan antara kerikil, semen dan air seperti halnya dengan batu kali dan batu pecah

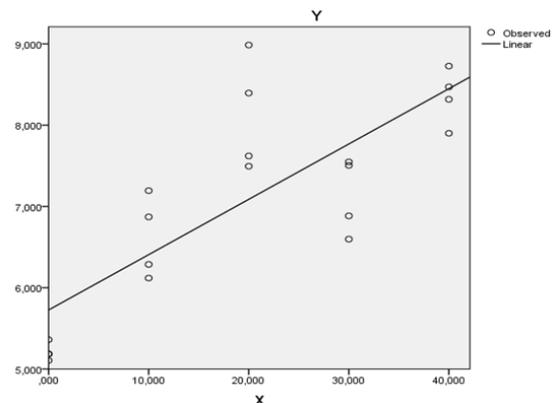
Kesimpulannya adalah penambahan serbuk kaca terhadap beton semakin banyak penambahannya akan berpengaruh negatif terhadap kuat tarik belah beton

Daya Serap Air

Berikut ini adalah tabel dan gambar hasil pengujian daya serap air

Tabel 5. Hasil Pengujian Daya Serap Air

No	Variasi Serbuk Kaca	Variasi Fly Ash	Nomor sampel	Massa Kering Oven (gram)	Massa Jenuh Setelah Perendaman (gram)	Nilai Daya Serap (%)	Rata-rata
1.	0%	0%	1	1244.3	1327.4	6.678	6,683
			2	1257.7	1342.1	6.711	
			3	1269.1	1354.3	6.713	
			4	1262.9	1346.6	6.628	
2.	0%	10%	1	1302.7	1369.2	5.105	5,209
			2	1283.3	1352.1	5.361	
			3	1272.3	1338.3	5.187	
			4	1281.1	1347.5	5.183	
3.	10%	10%	1	1254.5	1340.7	6.871	6,618
			2	1245.2	1321.4	6.119	
			3	1275.6	1355.8	6.287	
			4	1256.6	1347.0	7.194	
4.	20%	10%	1	1208.5	1317.1	8.986	8,124
			2	1276.9	1372.6	7.495	
			3	1186.2	1276.6	7.621	
			4	1213.8	1315.7	8.395	
5.	30%	10%	1	1212.6	1303.6	7.505	7,134
			2	1283.7	1368.4	6.598	
			3	1226.1	1310.5	6.884	
			4	1261.2	1356.4	7.548	
6.	40%	10%	1	1207.6	1303.0	7.900	8,354
			2	1184.1	1284.4	8.471	
			3	1195.2	1299.5	8.727	
			4	1187.8	1286.6	8.318	



Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Daya Serap Air

Berdasarkan hipotesis kedua yang diuji menggunakan SPSS 23 diperoleh nilai signifikansi $0,000 > 0,05$ dan nilai t hitung $> +t$ tabel ($5,645 > 2,101$) maka dapat diartikan bahwa penggantian serbuk kaca sebagai agregat halus terhadap daya serap beton berpengaruh signifikan. Pada hipotesis kelima menggunakan analisis regresi sederhana dengan persamaan $Y = 0,068X + 5,727$ didapat hasil serbuk kaca yang optimal untuk mencapai daya serap beton yang minimal adalah 10% dengan nilai daya serapnya 6,407% (sesuai standar SII 15–2094–2000), sedangkan daya serap air beton normal sebesar 6,683%, hal ini menunjukkan penurunan sebesar 4,13%

Semakin banyak ditambahkan serbuk kaca, rongga yang terbentuk semakin banyak dan daya serap semakin tinggi

Hal ini terjadi karena kaca sulit untuk melakukan ikatan dengan semen, kerikil dan air karena memiliki bentuk yang rata dan berbentuk seperti pasir yang berbulir namun tidak mudah hancur sekalipun di padatkan dengan tongkat saat pengecoran, hal itu membuat rongga yang membuat air menyerap air lebih

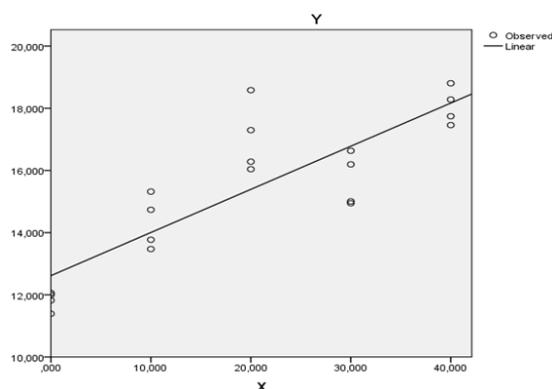
banyak daya serap semakin meningkat

Kesimpulannya adalah penambahan serbuk kaca terhadap beton semakin banyak penambahannya akan berpengaruh negatif yang begitu signifikan terhadap daya serap beton.

Porositas

Berikut ini adalah tabel dan gambar hasil pengujian porositas air :
Tabel 6. Hasil Pengujian Porositas Air

Variasi Serbuk Kaca	Variasi Fly Ash	Norma	Massa Kering Oven (gram)	Massa Jenuh Setelah Pendiangan (gram)	Massa Perendaman Semu (gram)	Porositas (%)	Rata-rata	
1.	0%	0%	1	1236.3	1324.5	738.1	15.041	15.065
			2	1244.3	1334.1	742.8	15.187	
			3	1257.7	1348.3	747.7	15.085	
			4	1269.1	1359.5	754.7	14.947	
2.	0%	10%	1	1302.7	1372.3	761.3	11.391	11.818
			2	1283.3	1356.0	753.1	12.058	
			3	1272.3	1342.5	748.7	11.822	
			4	1281.1	1352.1	760.4	11.999	
3.	10%	10%	1	1254.5	1343.6	738.9	14.735	14.324
			2	1245.2	1324.8	733.9	13.471	
			3	1275.6	1359.1	752.7	13.770	
			4	1256.6	1350.0	740.3	15.319	
4.	20%	10%	1	1208.5	1322.5	709.0	18.582	17.050
			2	1276.9	1379.2	750.9	16.282	
			3	1186.2	1280.0	695.2	16.040	
			4	1213.8	1319.0	710.8	17.297	
5.	30%	10%	1	1212.6	1310.1	723.9	16.633	15.694
			2	1283.7	1374.3	768.1	14.946	
			3	1226.1	1314.9	723.1	15.005	
			4	1261.2	1360.5	747.3	16.194	
6.	40%	10%	1	1207.6	1315.6	706.9	17.743	18.071
			2	1184.1	1292.3	700.4	18.280	
			3	1195.2	1308.3	706.8	18.803	
			4	1187.8	1291.3	698.4	17.457	



Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Porositas Air

Berdasarkan hipotesis ketiga yang diuji menggunakan SPSS 23 diperoleh nilai signifikansi $0,000 < 0,05$ dan nilai t hitung $> +t$ tabel ($6,984 \leq 2,101$) maka dapat diartikan bahwa penggantian serbuk kaca sebagai agregat halus terhadap porositas beton berpengaruh signifikan. Pada hipotesis keenam menggunakan analisis regresi sederhana $Y = 0,139X + 12,616$ didapat hasil serbuk kaca yang optimal untuk mencapai porositas beton yang minimal adalah variasi 10% dengan nilai daya serapnya 14,006 %, sedangkan porositas beton normal sebesar 15,065 hal ini menunjukkan penurunan sebesar 18.91%

Semakin banyak ditambahkan serbuk kaca, rongga yang terbentuk semakin banyak dan daya serap semakin tinggi

Hal ini terjadi karena kaca sulit untuk melakukan ikatan dengan semen, kerikil dan air karena memiliki bentuk yang rata dan berbentuk seperti pasir yang berbulir namun tidak mudah hancur sekalipun di padatkan dengan tongkat saat pengecoran, hal itu membuat rongga udara yang membuat air dan udara masuk kedalam beton

Kesimpulannya adalah penambahan serbuk kaca terhadap beton semakin banyak penambahannya akan berpengaruh negatif yang begitu signifikan terhadap porositas beton.

KESIMPULAN

1. Ada pengaruh negatif penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian pasir terhadap kuat tarik belah beton dengan abu terbang (fly ash) sebagai pengganti 30% dari berat semen terhadap kuat tarik belah beton normal sebesar 46,2% artinya semakin banyak penggantian variasi maka kuat tarik belah beton semakin menurun.
2. Ada pengaruh negatif penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian pasir terhadap daya serap beton dengan abu terbang (fly ash) sebagai pengganti 30% dari berat semen terhadap daya serap beton normal sebesar 63,9% artinya semakin banyak penggantian variasi maka daya serap beton semakin menurun.
3. Ada pengaruh negatif penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian pasir terhadap porositas beton dengan abu terbang (fly ash) sebagai pengganti 30% dari berat semen terhadap porositas beton normal sebesar 73%, artinya semakin banyak penggantian variasi maka porositas beton semakin menurun.
4. Persentase serbuk kaca optimal sebagai pengganti agregat halus yang menghasilkan kuat tarik beton maksimal terdapat pada persentase penggantian serbuk kaca 10% yaitu sebesar 2,258 Mpa, sedangkan kuat tarik belah beton normal yaitu 2,310 Mpa. Hal ini menunjukkan penurunan sebesar 9,09%
5. Persentase serbuk kaca optimal sebagai pengganti agregat halus yang menghasilkan daya serap beton minimal terdapat pada persentase 10% yaitu sebesar 6,407 Mpa, sedangkan daya serap air beton normal sebesar 6,683%, hal ini menunjukkan penurunan sebesar 4,13%
6. Persentase serbuk kaca optimal sebagai pengganti agregat halus yang menghasilkan porositas beton minimal terdapat pada persentase 10% yaitu sebesar 14,006 Mpa, sedangkan porositas beton normal sebesar 15,065 hal ini menunjukkan penurunan sebesar 18,91%

SARAN

1. Perlu dilakukannya penelitian yang berlanjut menggunakan serbuk kaca sebagai pengganti pasir dan fly ash sebagai pengganti semen agar semakin dikenal dan dimanfaatkan serta memiliki nilai ekonomis
2. Perlu adanya teknologi yang lebih sederhana untuk membuat kaca menjadi agregat halus
3. Perlu diperluasnya distribusi fly ash agar mudah untuk didapatkan

DAFTAR PUSTAKA

- Ardha, N. 2003. *Pemanfaatan Abu Terbang PLTU Suralaya untuk Castable Refractory* (Penelitian Pendahuluan). Litbang Pengolahan Mineral. Jakarta.
- American Society for Testing and Materials Standard. 1997. ASTM C 642 : *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. USA : ASTM Internasional.
- Adrian Philip Marthinus, Marthin DJ Sumajouw, Reky S Windah. 2015. *Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Kuat Tarik Belah Beton*. Jurnal Sipil Statik Vol.3 No.11 November 2015 (729-736) ISSN: 2337-6732
- Agus Maryoto. 2008. *Pengaruh Penggunaan High Volume Fly Ash Pada Kuat Tekan Mortar*. Program Studi Sipil Fakultas Sains dan Teknik Universitas Jenderal Soedirman. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, Nomor 2 Volume 10 Juli 2008, hal : 103 - 114
- Ashish Kumer Saha. 2018. *Effect of class F fly ash on the durability properties of concrete*. Sustainable Environment Research
- G. M. Sadiqul Islam, M. H. Rahman, Nayem Kazi. 2017. *Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice*. International Journal of Sustainable Built Environment
- Gamage, N., et.al 2011. *Overview of Different Type of Fly Ash and Their Use as A Building and Construction Material*. http://www.civil.mrt.ac.lk/conference/ICSECM_2011/SEC-11-35.pdf (diakses pada tanggal 20 Mei 2014).
- Hanifah. 2011. *Kandungan yang ada dalam kaca*.
- Ilham. 2013. *Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton Mutu Normal*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau. Pekanbaru.
- Ikatan Ahli Pracetak dan Prategang Indonesia (IAPPI). 2016. *Perkembangan Industri Pra Cetak*. <https://www.pu.go.id/berita/view/11080/menteri-basuki-dukung-pengembangan-industri-precast-nasional>. diakses tanggal 21/11/2018.
- Kementrian Negara Lingkungan Hidup Indonesia. 2008. *Fly-Bottom Ash dan Pemanfaatannya*. terdapat pada http://b3.menlh.go.id/3r/article.php?article_id=6. Diakses tanggal 19 Mei 2016.
- Lasryza, Sawitri. 2012. *Pemanfaatan Fly Ash Batubara sebagai Adsorben Emisi Gas CO pada Kendaraan Bermotor*. Jurnal Teknik POMITS Vol.1, No. 1 (2012) 1-6
- M Mageswari, Dr B Vidivelli. 2010. *The Use of Sheet Glass Powder as Fine Aggregate*

- Replacement in Concrete. The Open Civil Engineering Journal*, 2010, 4, 65-71
- Paweł Walczak, Jan M. Łolepsz, Manuela Reben, Karol Rzepa. (2015). *Mechanical properties of concrete mortar based on mixture of CRT glass cullet and fluidized fly ash*. 7th Scientific-Technical Conference Material Problems in Civil Engineering (MATBUD' 2015)
- Setiawan, B. 2006. *Pengaruh Penggunaan Agregat Kacapada Beton Ditinjau dari Segi Kekuatan dan Shrinkage*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Petra.
- Sri Prabandiyani Retno. 2008. *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Semarang : Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
- Standar Nasional Indonesia. 2000. SNI 03-6433-2000 : *Metode Pengujian Kerapatan, Penyerapan dan Rongga Dalam Beton yang Telah Mengeras*. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 2002. SNI 03-3449-2002 : *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 2002. SNI 03-6863-2002. *Metode pengambilan contoh dan pengujian abu terbang atau pozolan sebagai mineral pencampur dalam beton semen portland*. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 2014. SNI 2491:2014 : *Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*. Badan Standarisasi Nasional.
- Mustafa Azeez Bahedh, Mohd Saleh Jaafar. 2018. *Ultra high-performance concrete utilizing fly ash as cement replacement under autoclaving technique*. Case Studies in Construction Materials
- Standar Nasional Indonesia. 2014. SNI 2460:2014 : *Spesifikasi abu terbang batubara dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton*. Badan Standarisasi Nasional
- Suyoto. 2008. *Fenomena Gerakan Mengolah Sampah*. Prima Infosarana Media. Jakarta.

Tarun Sama, Dilip Lalwani, Ayush Shukla, Sofi A. 2014. *Effect of Strength of Concrete by Partial Replacement of Cement with Flyash and addition of Steel Fibres*. Journal of Civil Engineering and Environmental Technology Print ISSN: 2349-8404; Online ISSN: 2349-879X; Volume 1, Number 1; August, 2014 pp. 5-9.

Thangaraj Sathanandam, Paul O Awoyera, Venkudusamy Vijayan, Karupannan Sathishkumar. 2017. *Low carbon building: Experimental insight on the use of fly ash and glass fibre for making geopolymer concrete*. Sustainable Environment Research

Valentinus Denny Wijaya. 2015. *Pengaruh Serbuk Kaca sebagai Substitusi Sebagian Agregat Halus dan sebagai Filler terhadap Sifat Mekanik Beton*. <http://e-journal.uajy.ac.id/8435/1/TS013839.pdf>.