

**PEMANFAATAN LIMBAH KACA SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN
VOLUME PASIR DAN FLY ASH 20% SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN
DITINJAU DARI KUAT TEKAN DAN BERAT JENIS BETON DALAM
LINGKUNGAN AGRESI SULFAT 5%**

Muharram Wijaya Kusuma¹, Ernawati Sri Sunarsih², Taufiq Lilo Adi Sucipto²

Email: muwikusuma@gmail.com

Abstrak: Asam sulfat yang terkandung dalam air laut maupun air tanah merupakan faktor yang dapat menyebabkan korosi pada beton jika terpapar dalam jangka panjang yang berakibat pada menurunnya kekuatan beton. Penggunaan limbah *fly ash* dan limbah kaca diharapkan mampu memperkuat ketahanan beton didalam lingkungan yang mengandung asam sulfat dan menjadi salah satu langkah alternatif untuk mengurangi limbah *fly ash* dan limbah kaca. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui : (1) pengaruh variasi penggunaan limbah kaca sebagai pengganti pasir dan fly ash 20% sebagai bahan pengganti semen terhadap kuat tekan dan berat jenis beton pada lingkungan agresif sulfat 5%. (2) persentase penggunaan limbah kaca sebagai pengganti pasir yang optimal dan fly ash 20% sebagai bahan pengganti semen terhadap ketahanan beton dalam agresif sulfat 5% agar diperoleh kuat tekan beton maksimal dan diperoleh berat jenis beton yang normal. (3) ketahanan beton dengan bahan serbuk kaca sebagai pengganti pasir dan fly ash 20% sebagai pengganti sebagian semen dibandingkan dengan beton normal. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan mengukur hasil perlakuan pada sampel penelitian di Laboratorium. Sampel pada penelitian ini adalah silinder berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm sebanyak 48 buah sebagai benda uji kuat tekan dan 48 buah sebagai benda uji berat jenis. Variasi serbuk kaca dimulai dari beton normal 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%. Pengujian kuat tekan menggunakan dasar SNI 1974:2011 dan berat jenis beton berdasarkan SNI 7656 – 2012. Masing-masing variasi berjumlah 4 buah sampel. analisis data menggunakan analisis regresi dengan bantuan aplikasi SPSS 21. Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa : (1) Penggunaan limbah kaca sebagai pengganti pasir dan fly ash 20% sebagai bahan pengganti semen berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan pada lingkungan agresif sulfat 5% dengan pengaruh dari serbuk kaca sebesar 73% dan berpengaruh negatif secara signifikan menurunkan berat jenis dengan besar pengaruh dari serbuk kaca sebesar 22,9%. (2) Persentase penggunaan limbah kaca sebagai pengganti pengganti pasir memiliki nilai optimal penambahan sebesar 18,44% terhadap ketahanan beton dalam agresif sulfat dan diperoleh kuat tekan beton maksimal sebesar 21,07 MPa sedangkan pada hasil uji berat jenis beton didapatkan hasil yang normal pada setiap variasi. (3) Penambahan serbuk kaca 20% memiliki ketahanan yang lebih baik dari pada beton normal maupun beton dengan variasi lainnya dengan selisih kuat tekan dan berat jenis setelah perendaman beton dalam lingkungan agresif sulfat 5% masing-masing sebesar 0,32% dan 0,04%.

Kata Kunci: asam sulfat, fly ash, serbuk kaca, kuat tekan, dan berat jenis

Abstract: Sulfuric acid contained in seawater and groundwater is a factor that can cause corrosion in concrete if exposed in the long run which results in decreased strength of the concrete. The use of fly ash and glass waste in concrete mixes is expected to strengthen concrete resilience in sulfuric acid environments and be an alternative step to reduce fly ash waste and glass waste. The purpose of this study was to determine: (1) the effect of variations in the use of glass waste as a substitute for sand and 20% fly ash as a substitute for cement on the compressive strength and density of concrete in the sulfate aggression environment of 5%. (2) the percentage of the use of glass waste as an optimal substitute for sand and 20% fly ash as a substitute for cement to the resistance of concrete in the sulfate aggression of 5% in order to obtain the

maximum compressive strength of concrete and to obtain a normal concrete density. (3) concrete strength with glass powder as a substitute for sand and 20% fly ash as a partial replacement for cement compared to normal concrete. In this study using the experimental method by measuring the results of the treatment of research samples in the Laboratory. The sample in this study was a cylinder with a diameter of 150 mm with a height of 300 mm totaling 48 pieces as a compressive strength specimen and 48 pieces as a specific gravity specimen. Glass powder variation starts from normal concrete 0%, 10%, 20%, 30% and 40%. Compressive strength testing uses the basic SNI 1974: 2011 and concrete specific gravity based on SNI 7656 - 2012. Each variation consists of 4 samples. Data analysis using regression analysis with the help of SPSS 21 application. Based on the results of the study concluded that: (1) The use of glass waste as a substitute for sand and 20% fly ash as a substitute for cement significantly influence the compressive strength in the sulfate aggression environment of 5% with the effect of glass powder by 73% and a significant negative effect reducing density with a large effect of glass powder by 22.9%. (2) The percentage of the use of glass waste as a substitute for sand has an optimal value of adding 18.44% to the resistance of concrete in sulfate aggression and the maximum compressive strength of concrete is 21.07 MPa while the results of the concrete density test show normal results in each variation. (3) Addition of 20% glass sebuk have better resistance than normal concrete and concrete with more variation with the difference in compressive strength and density after immersion in an environment of aggression concrete sulfate 5% respectively 0.32% and 0.04%.

Keywords: *sulfuric acid, fly ash, glass powder, compressive strength, and specific gravity*

A.PENDAHULUAN

Penggunaan beton pada bidang konstruksi merupakan komponen utama dalam struktur bangunan yang saat ini banyak digunakan di Indonesia. Beton dapat kita jumpai pada konstruksi bangunan kering maupun bangunan basah. Penerapan beton pada bangunan basah biasa digunakan pada pembangunan infrasutruktur yaitu dermaga, pelabuhan dan irigasi.

Bahan pembuatan beton terdiri dari agregat kasar, agregat halus, serta air dan semen sebagai pengikatnya. Agregat biasanya menempati sekitar 60%-80% dari volume total beton, maka sifat agregat memiliki pengaruh yang besar terhadap perilaku beton yang sudah mengeras. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogeni, dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar (Siti Nurlina, 2008).

Dunia industri di Indonesia menjadi salah satu penyumbang terbesar pendapatan negara. Namun disisi lain limbah yang dihasilkan dikemudian hari jika tidak dikelola dengan baik akan berdampak buruk bagi lingkungan yang salah satunya merupakan limbah kaca. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional periode 2017-2018 jumlah persentase limbah kaca yaitu 4,12% dari total limbah keseluruhan 8 juta ton per hari (SIPSN, 2018). Menurut penelitian yang dilakukan Lestari (2014), kaca sebagai bahan yang memiliki ketahanan yang tinggi terhadap bahan kimia dan pengaruh korosi serta memiliki sifat transparansi yang tinggi, sangat bagus digunakan sebagai bahan kulit bangunan. Dapat disimpulkan bahwa serbuk kaca baik digunakan sebagai bahan pengganti pasir pada beton pada jumlah tertentu. Kaca juga pernah dijadikan sebagai pengganti parsial pasir pada benda uji beton yang mengandung mikrosilika. Serbuk kaca bening memiliki kandungan unsur SiO₂ 68,1%; Al₂O₃ 0,9%; Fe₂O₃ 0,6%; CaO 14,5%; MgO, 1,8%; K₂O 0,8%; Na₂O 12,2 %; dan SO₃ 0,4%. Sedangkan serbuk kaca berwarna memiliki kandungan SiO₂ 68,7%; Al₂O₃ 1%; Fe₂O₃ 0,9%; CaO 12%; MgO, 1,8%; K₂O 1%; Na₂O 13,3%; dan SO₃ 0,1% (rashed,2014 di dalam G. M. Sadiqul Islam, 2017). Jika dilihat dari

kandungan SiO₂ > 60% dari kedua jenis serbuk kaca tersebut dapat meningkatkan kuat desak beton sehingga dapat memperbaiki kualitas struktur beton. Dalam penelitian yang dilakukan H Dabiri (2018), kaca yang digunakan dibentuk terlebih dahulu sebagai serbuk kaca. Hasil dari eksperimen penggantian pasir menggunakan limbah kaca dalam campuran beton yang mengandung mikrosilika yaitu meningkatnya kuat tekan beton. seiring dengan meningkatkan persentase partikel kaca kuat tekan akan meningkat. Sehingga diperoleh persentase optimal dari serbuk kaca adalah 50%. Menurut penelitian yang dilakukan Fanisa Eki G.P. dkk. (2013), penggantian pasir dengan serbuk kaca memiliki permeabilitas yang rendah sehingga larutan sulfat lebih sukar masuk kedalam beton dibandingkan dengan beton tanpa substitusi serbuk kaca dengan hasil maksimal kuat tekan beton akibat pengaruh sulfat untuk w/c 0,65 didapatkan 23,08 MPa pada persentase 20%.

Penambangan pasir bukan hanya menjadi persoalan dalam hal ketersediaan bahan baku pembuat beton. Dalam produksi pembuatan semen saat ini juga menjadi persoalan di kalangan masyarakat yang tinggal disekitar pabrik pembuat semen. Sebagai mana persoalan antara warga Rembang, Jawa Tengah dengan PT Semen Indonesia dimulai sejak 16 Juni 2014 lalu dimana PT Semen Indonesia mulai melakukan pembangunan pabrik. Pembangunan tersebut menuai kontroversi panjang. Sebagian penduduk pegunungan Kendeng Utara menolak rencana pembangunan tersebut dengan alasan bahwa pembangunan pabrik semen akan menambang batu gamping di pegunungan kars yang akan mengancam sumber daya yang dibutuhkan bagi warga (Yuliana Rahmatwati, 2017). Preferensi yang dapat digunakan untuk mengatasi persoalan tersebut ialah dengan cara mengganti sebagian komposisi semen dalam beton dengan bahan alternatif lain yang memiliki karakteristik menyerupai semen dengan memanfaatkan limbah yang juga masih jarang digunakan salah satunya adalah fly ash. Penggunaan fly ash dalam semen meningkatkan kekuatan daya tahan, meningkatkan ketahanan sulfat, dan mengurangi panas hidrasi, resiko reaksi alkali-silika dan pengkristalan. Penggunaan fly ash memiliki beberapa manfaat lingkungan juga misalnya daur ulang produk samping limbah

dari pembangkit listrik tenaga batu bara (Surinder Singh Viridi (2012 : 201)). Menurut penelitian yang dilakukan Surya Sebayang (2010), penggunaan abu terbang (fly ash) sebagai bahan pengganti semen dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 41,117 MPa pada penambahan 12% selain itu juga meningkatkan kekecekan pada beton dimana semakin besar penambahan semakin tinggi kekecekan pada adukan beton. Menurut penelitian Kaiwei Liu (2013), penggunaan fly ash dalam agresi sulfat dapat memperbaiki kerusakan dalam serangan sulfat secara efektif.

Menurut Robert Siagian (2014:253), Pekerjaan bangunan sipil basah merupakan pekerjaan pada bagian bawah permukaan tanah, yang berhubungan langsung dengan tanah dan air seperti dermaga, pelabuhan dan pondasi yang berhubungan langsung dengan air tanah. Menurut Surinder Singh Viridi (2012 : 289), kandungan sulfat dalam tanah dan air laut akan bereaksi dengan tricalcium aluminat dari semen menjadi tricalcium sulpho aluminat. Tricalcium sulpho aluminat menempati volume yang lebih besar daripada tricalcium aluminat dimana akan menyebabkan keretakan pada beton. Menurut penelitian yang dilakukan Adil Nurdiman (2014), Asam sulfat merupakan salah satu unsur kimia yang terkandung dalam air laut. Pada pembuatan beton yang dipergunakan berhubungan langsung dengan air yang terkandung asam sulfat didalamnya dapat menyebabkan korosi pada beton jika terekspos secara terus. Menurut Supartono (1996)(dalam penelitian yang dilakukan Fanisa Eki: 2013), mengatakan bahwa Kalsium hidroksida atau kapur yang terdapat dalam semen akan bereaksi dengan sulfat dan air, kemudian menghasilkan kalsium sulfat atau gypsum. Terbentuknya kalsium sulfat ini bila kemudian keadaannya kering, gips akan membentuk kristalnya yang seperti jarum dan mengembang, mendesak sisi sekitarnya sehingga terjadi pengrusakan pada sisi sekitar itu dan dapat terlihat pasta atau adukan betonnya merapuh. Menurut penelitian yang dilakukan Sarwono Putro dan Elfiandi Nain (1998), untuk menguji ketahanan beton terhadap lingkungan sulfat, beton harus direndam ke dalam larutan sulfat dengan persentase berat tertentu selama selang waktu tertentu dimana setelah perendaman pada umur 30 hari terjadi penurunan berat beton maupun

kuat tekan yang membuktikan terdapat pengaruh sulfat dapat mengakibatkan terjadinya peluruhan terhadap beton yang ditadai dengan terjadinya pengelupasan pada sisi luar beton dan warna fisik dari beton berwarna kekuning-kuningan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui : (1) pengaruh variasi penggunaan limbah kaca sebagai pengganti pasir dan fly ash 20% sebagai bahan pengganti semen terhadap kuat tekan dan berat jenis beton pada lingkungan agresi sulfat 5%. (2) persentase penggunaan limbah kaca sebagai pengganti pasir yang optimal dan fly ash 20% sebagai bahan pengganti semen terhadap ketahanan beton dalam agresi sulfat 5% agar diperoleh kuat tekan beton maksimal dan diperoleh berat jenis beton yang normal. (3) ketahanan beton dengan bahan serbuk kaca sebagai pengganti pasir dan fly ash 20% sebagai pengganti sebagian semen dibandingkan dengan beton normal.

B.METODE

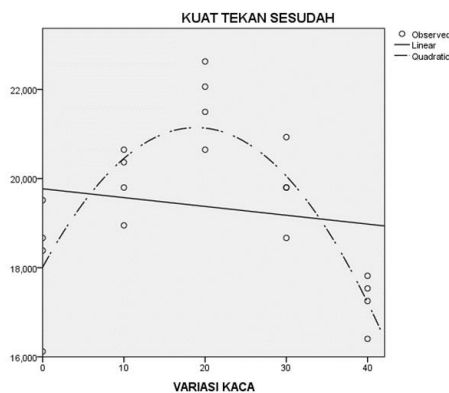
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, FKIP Univesitas Sebelas Maret Surakarta. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan mengukur hasil perlakuan pada sampel penelitian di Laboratorium. Sampel pada penelitian ini adalah silinder berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm sebanyak 48 buah sebagai benda uji kuat tekan dan 48 buah sebagai benda uji berat jenis. Variasi serbuk kaca dimulai dari beton normal 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%. Pengujian kuat tekan menggunakan dasar SNI 1974:2011 dan berat jenis beton berdasarkan SNI 7656 – 2012. Masing-masing variasi berjumlah 4 buah sampel. Perencanaan mix design menggunakan metode dalam SNI-7656-2012 dengan limbah kaca sebagai pengganti pengganti pasir dan fly ash 20% sebagai bahan pengganti semen dengan perawatan beton dalam agresi sulfat 5%. Analisis data dalam penelitian ini menggunakan analisa regresi dengan bantuan aplikasi SPSS 21

C.HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh Dan Nilai Optimal Variasi Serbuk Kaca Dan Fly Ash 20% Terhadap Kuat Tekan dalam Lingkungan Agresi Sulfat 5%

Tabel 1. Hasil Pengujian Rata-rata Kuat Tekan Beton

Variasi kaca (%)	Kuat tekan (MPa)			Persentase penurunan (%)
	Beton Tanpa Agresi Sulfat	Beton dalam agresi sulfat	Selisih kuat tekan	
Beton normal	21,990	21,919	0,071	0,32
0	18,242	18,171	0,071	0,39
10	20,081	19,939	0,141	0,70
20	21,778	21,707	0,071	0,32
30	20,788	19,798	0,990	4,76
40	19,657	17,253	2,404	12,23



Gambar 1. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Variasi Serbuk Kaca

Berdasarkan Tabel 1 terdapat data beton normal dalam lingkungan agresi sulfat 5% menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 21,919 MPa sedangkan untuk beton menggunakan fly ash sebagai pengganti 20% dari berat semen dalam lingkungan agresi sulfat 5% menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 21,707 MPa. Hal ini menunjukkan penurunan sebesar 0,212 MPa atau sebesar 0,967% dan dapat disimpulkan bahwa penambahan fly ash berpengaruh terhadap penurunan kuat tekan beton, hal tersebut dikarenakan berkurangnya unsur pengikat dalam campuran beton. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Siti Kholisoh (2014) nilai kuat tekan antara beton normal dengan beton yang

dicampur dengan high volume fly ash hasilnya lebih tinggi beton normal dan beton yang dicampur dengan high volume fly ash hasilnya rendah.

Dalam penelitian ini menggunakan serbuk kaca sebagai pengganti pasir dengan variasi kaca 10%, 20%, 30%, dan 40% yang diperoleh dari limbah kaca rumah tangga yang dihancurkan hingga memenuhi standar gradasi agregat halus lolos saringan 200 serta penambahan fly ash 20% sebagai bahan pengganti semen dengan perendaman dalam lingkungan agresi sulfat 5%. Berdasarkan hasil kuat tekan beton dengan penambahan variasi kaca 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% masing-masing memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 18,17 MPa, 19,94 MPa, 21,71 MPa, 19,80 MPa, dan 17,25 MPa. Dari hasil kuat tekan tersebut kuat tekan terbesar pada penambahan variasi kaca 20% sebesar 21,71 MPa.

Berdasar analisis regresi didapatkan persamaan $Y = -0,009X^2 + 0,332X + 18,012$. Dengan persamaan tersebut didapatkan nilai optimal beton dengan penambahan kaca dalam lingkungan agresi sulfat dalam persentase penambahan 18,444% dengan kuat tekan sebesar 21,074 MPa. Hal ini diperkuat dalam penelitian Famisa Eki G.P. dkk (2013) dimana kuat tekan beton dengan variasi kaca terbesar dengan penambahan 20% serbuk kaca dikarenakan kaca memiliki permeabilitas yang rendah sehingga larutan sulfat sulit untuk menembus masuk kedalam beton.

Pada persentase 30% dan 40% penambahan serbuk kaca mengakibatkan penurunan terhadap kuat tekan beton. Hal ini terjadi akibat dari kurang sempurnanya pengikatan mortar karena sifat serbuk kaca yang tidak menyerap air dan permukaan kaca yang licin. Menurut penelitian Handi Yohanes Karwur (2013), penurunan kuat tekan beton diakibatkan hal ini dikarenakan proses pengikatan senyawa yang melambat akibat pengurangan fungsi semen itu sendiri dimana unsur senyawa Alite (trikalsium silikat) yang berfungsi sebagai pembangun kekuatan awal beton berkurang.

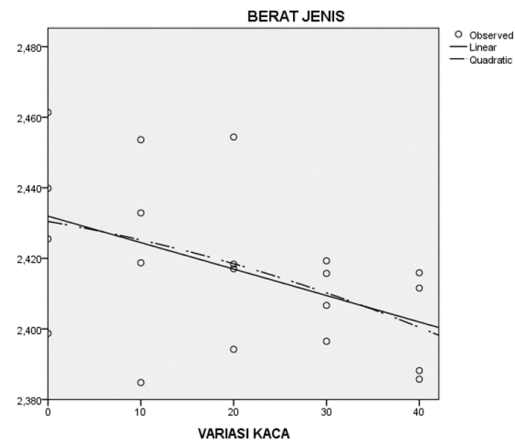
Berdasarkan Tabel 1. didapatkan selisih kuat tekan rata-rata antara beton normal, variasi kaca 0%, variasi kaca 10%, variasi kaca 20%, variasi kaca 30%, dan variasi kaca 40% dengan masing-masing selisih penurunan kuat tekan sebelum dan sesudah perendaman

dalam larutan asam sulfat 5% sebesar 0,071 MPa (0,32%); 0,071 MPa (0,39%); 0,141 MPa (0,70%); 0,071 MPa (0,32%); 0,990 MPa (4,76 %); dan 2,404 MPa (12,23%). Selisih dari kuat tekan didapat dari pengurangan hasil kuat tekan beton dengan perendaman biasa dan perendaman kedalam larutan asam sulfat. Pada beton yang direndam pada larutan asam sulfat 5% mengalami penurunan kuat tekan dan berat jenis akibat dari reaksi korosif yang dihasilkan oleh larutan asam sulfat yang dapat dilihat secara fisik dilihat dari kerusakan struktur luar beton. Menurut Supartono (1996)(dalam Fanisa Eki: 2013), mengatakan bahwa Kalsium hidroksida atau kapur yang terdapat dalam semen akan bereaksi dengan sulfat dan air, kemudian menghasilkan kalsium sulfat atau gypsum

2. Analisa pengaruh Variasi Serbuk Kaca Dan Fly ash 20% terhadap Berat Jenis beton dalam Lingkungan Agresi Sulfat 5%

Tabel 2. Hasil Pengujian Rata-rata Berat Jenis Beton

Variasi kaca (%)	Berat Jenis (Kg/m ³)			Persentase penurunan (%)
	Beton Tanpa Agresi Sulfat	Beton dalam Agresi Sulfat	Selisih Berat Jenis	
Beton normal	2.448	2.388	60	2,45
0	2.457	2.432	25	1,02
10	2.433	2.423	10	0,41
20	2.421	2.420	1	0,04
30	2.450	2.409	41	1,67
40	2.420	2.400	20	0,83



Gambar 2. Grafik Hubungan Berat Jenis dengan Variasi Serbuk Kaca

Berdasarkan tabel 2. hasil Berat jenis beton dengan penambahan variasi kaca 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% masing-masing memiliki berat jenis rata-rata sebesar 2.431 Kg/cm³, 2.423 Kg/cm³, 2.421 Kg/cm³, 2.410 Kg/cm³, dan 2.400 Kg/cm³. Dari hasil berat jenis tersebut berat jenis mengalami penurunan dengan meningkatnya penambahan variasi serbuk kaca.

Berdasar analisis regresi didapatkan persamaan $Y' = -0,750X + 2.432,776$ Dengan persamaan tersebut didapatkan hasil dalam setiap penambahan 1% serbuk kaca dalam beton akan mengurangi berat jenis beton sebesar 0,750Kg/m². semakin besar penambahan variasi serbuk kaca maka akan semakin menurun berat jenis beton dalam lingkungan agresi sulfat 5%. Seperti yang dikatakan oleh Fanisa Eki G.P. dkk (2013) seiring dengan pertambahan jumlah kaca mengakibatkan beton dengan curing biasa maupun beton dengan perendaman sulfat berbanding lurus dengan penurunan berat beton dikarenakan massa jenis serbuk kaca lebih ringan dibandingkan dengan massa jenis pasir.

Berdasarkan tabel 2. didapatkan selisih berat jenis rata-rata antara beton normal, variasi kaca 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40% dengan masing-masing selisih sebesar 60 Kg/m³ (2,45%), 25 Kg/m³ (1,02%), 10 Kg/m³ (0,41%), 1 Kg/m³ (0,04%), 41 Kg/m³ (1,67%), 20 Kg/m³ (0,83%). Selisih dari berat jenis beton dengan perendaman biasa dan perendaman kedalam larutan asam sulfat. Pada beton yang direndam pada larutan asam

sulfat 5% mengalami penurunan berat jenis akibat dari reaksi korosif yang dihasilkan oleh larutan asam sulfat yang dapat dilihat secara fisik dilihat dari kerusakan struktur luar beton. Menurut Supartono (1996)(dalam penelitian yang dilakukan Fanisa Eki: 2013), mengatakan bahwa Kalsium hidroksida atau kapur yang terdapat dalam semen akan bereaksi dengan sulfat dan air, kemudian menghasilkan kalsium sulfat atau gypsum. Terbentuknya kalsium sulfat ini bila kemudian keadaannya kering, gips akan membentuk kristalnya yang seperti jarum dan mengembang, mendesak sisi sekitarnya sehingga terjadi pengrusakan pada sisi sekitar itu dan dapat terlihat pasta atau adukan betonnya merapuh.

Ketahanan beton dapat dilihat dari selisih berat jenis terkecil dari beton tanpa perendaman dalam lingkungan agresi sulfat 5% dan beton dalam lingkungan agresi sulfat 5% karena beton dianggap tahan terhadap lingkungan agresi sulfat 5% dan mengalami pengurangan berat jenis yang lebih kecil. Selisih terkecil terdapat pada penambahan serbuk kaca 20% dan fly ash 20% dengan selisih berat jenis sebesar 1 Kg/m³ (0,04%) dibandingkan dengan beton normal yang memiliki selisih berat jenis sebesar 60 Kg/m³ (2,45%).

D.PENUTUP

Simpulan

1. Penggunaan limbah kaca sebagai pengganti pasir dan fly ash 20% sebagai bahan pengganti semen berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan pada lingkungan agresi sulfat 5% dengan pengaruh dari serbuk kaca sebesar 73% dan berpengaruh negatif secara signifikan menurunkan berat jenis dengan besar pengaruh dari serbuk kaca sebesar 22,9%.
2. Persentase penggunaan limbah kaca sebagai pengganti pengganti pasir memiliki nilai optimal penambahan sebesar 18,44% terhadap ketahanan beton dalam agresi sulfat dan diperoleh kuat tekan beton maksimal sebesar 21,07 MPa sedangkan pada hasil uji berat jenis beton didapatkan hasil yang normal pada setiap variasi.
3. Penambahan serbuk kaca 20% memiliki ketahanan yang lebih baik dari pada beton normal maupun beton dengan variasi lainnya dengan selisih kuat tekan dan berat

jenis setelah perendaman beton dalam lingkungan agresi sulfat 5% masing-masing sebesar 0,32% dan 0,04%.

Saran

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya menambahkan lamanya perendaman beton dalam lingkungan agresi sulfat agar mendapatkan hasil yang lebih signifikan
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai reaksi kimia antara serbuk kaca, *fly ash*, semen dan asam sulfat
3. Menggunakan variasi bahan tambah beton lainnya untuk meningkatkan mutu beton yang tahan terhadap lingkungan agresi sulfat.
4. Perlu adanya kajian lebih lanjut dalam bidang pendidikan mengenai serbuk kaca sebagai bahan pengganti sebagian dari berat agregat halus dan *fly ash* sebagai pengganti 20% dari berat semen terhadap berat jenis dan kuat tekan beton sebagai bahan ajar mata kuliah teknologi beton semester III PTB FKIP UNS.
5. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai perbandingan biaya yang gunakan antara penggunaan pasir dan serbuk kaca
6. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai struktur dalam beton setelah dilakukan perlakuan kedalam larutan asam sulfat 5%.

DAFTAR PUSTAKA

- Dabiri, H.dkk. 2018. *The Influence of Replacing Sand with Waste Glass Particle on the Physical and Mechanical Parameters of Concrete*. Civil Engineering Journal Vol. 4 No.7, Juli 2018
- Islam, G. M. S. et. al. 2016. *Waste Glass Powder as Partial Replacement OF Cement for Sustainable Concrete Practice*. International Journal of Sustainable Built Environment. (2017). 6, 27-44
- Kholishoh, Siti dan Budi Setiawan, 2014. Pengaruh Perbedaan Sumber Fly Ash Terhadap Karakteristik Mekanik High Volume Fly Ash Concrete Yang Dibuat Dengan Menggunakan Semen PPC. Eco Rekayasa Vol.10 No.2 September 2014
- Lestari dan Muhammad Ridha Alhamdani.

2014. Penerapan Material Kaca Dalam Arsitektur. *Jurnal Arsitektur* ISSN 2550-1194. Vol 1, No 2 (2014). Fakultas Teknik: Universitas Tanjungpura
- Liu, Kaiwei. Dkk. 2013. Effect of Fly ash on Resistance to Sulfate Attack of Cement-based Materials. *Engineering Materials* Vol. 539 (2013) pp 124-129. Trans Tech Publications: Switzerland
- Nurdiman, Adil, dkk. 2014. Makalah Oseanografi Kimiareaksi-Reaksi Kimia di Laut. UNPAD Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Program Studi Ilmu Kelautan
- Nurlina, Siti. 2014. Struktur Beton. Surabaya: Srikandi
- P, Fanisa Eki G. dan Gunawan Tanzil. .Pengaruh Sulfat terhadap Kuat Tekan Beton dengan Variasi Bubuk Kaca Substitusi Sebagian Pasir dengan W/C 0,60 Dan 0,65. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. Vol. 1, No. 1, Desember 2013
- Putro, Sarwono dan Elfiandi Nain. 1998. Pengaruh Serangan Magnesium Sulfat Dan Penambahan Fly ash Terhadap Kuat Desak Beton. Skripsi. Tidak diterbitkan. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta
- Sebayang, Surya. 2010. Pengaruh Kadar Abu Terbang Sebagai Pengganti Sejumlah Semen Pada Beton Alir Mutu Tinggi. *Jurnal Rekayasa* Vol. 14 No. 1 April 2010
- sipns.menlhk.go.id. Data Pengelolaan Sampah. Diakses tanggal 7 Februari 2009
- Siagian, Robert. 2014. Konstruksi Bangunan Jilid 1 untuk SMK Kelas XI. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- SNI 1974:2011. Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 7656 – 2012. Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa. Badan Standardisasi Nasional.
- Virdi, Surinder Singh. 2012. *Construction Science and Materials*. John Willey & Soms, Ltd.:West Sussex, UK
- Rahmatwati, Yuliana. 2017. Konflik dan Kerusakan Lingkungan Pembangunan Pabrik Semen di Rembang. www.kompasiana.com, Diakses tanggal 7 Februari 2009