

ANALISIS SIFAT FISIK DAN MEKANIK BETON *GEOPOLYMER* DENGAN PENGIKAT BERBAHAN DASAR *FLY ASH* PLTU MPANAU

Evin Hariska¹⁾, Kasman¹⁾, Syahrul Ulum¹⁾

¹⁾ Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tadulako

Email: evinhariska1715@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian tentang analisis sifat fisik dan mekanik beton *geopolymer* dengan pengikat berbahan dasar *fly ash* dari PLTU Mpanau telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan mengetahui sifat fisik (daya serap air, densitas, dan porositas) dan sifat mekanik (kuat tekan) beton *geopolymer* sederhana dengan variasi komposisi *fly ash* sebagai pengganti semen dalam pembuatan beton *geopolymer* sederhana. Pembuatan sampel beton *geopolymer* ini menggunakan bahan campuran *fly ash*, agregat halus, agregat kasar, dan aktivator dengan 5 sampel uji yaitu sampel A,B,C,D, dan E. Sampel A-C memiliki komposisi agregat tetap (105 gr) dengan (rasio agregat kasar : agregat halus = 2:1), dan aktivator tetap (526 gr) dengan memvariasikan komposisi *fly ash* (45 gr, 56 gr, 70 gr). Sampel D dan E memiliki komposisi dan binder yang bervariasi yaitu sampel D (15,77% agregat, 84,23% binder) dan sampel E (16,93% agregat, 83,07% binder). Pada sampel A-C dilakukan pengujian sifat mekanik yaitu kuat tekan dan sifat fisik yaitu porositas, daya serap air serta densitas. Sementara pada sampel D-E hanya dilakukan pengujian sifat mekanik yaitu kuat tekan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel C memiliki sifat fisik yang baik dengan daya serap air 3,23%, densitas 0,20 gr/cm³, porositas 0,73%, dan untuk pencampuran terbaik pada pengujian sifat mekanik yaitu sampel E yang memiliki kuat tekan 1,55 MPa. Berdasarkan penelitian ini maka binder berbahan dasar *fly ash* dapat diaplikasikan sebagai bahan pengganti semen dalam campuran beton *geopolymer* sederhana.

Kata kunci: *Beton, fly ash, aktivator, dan agregat*

ABSTRACT

Analysis of the physical and mechanical properties of geopolymer concrete with binder mainly made from the fly ash of Mpanau-Steam Powered Electric Generator, has been carried out. The purpose of this study is to determine the physical properties (water absorption, density, and porosity) and mechanical property (compressive strength) of simple geopolymer concrete with various composition of fly ash as a substitute for cement in production the concrete. The concrete samples were produced by mixing fly ash, coarse aggregate, fine aggregate, and activator. In this study, 5 test samples were provided, namely samples A, B, C, D, and E. Samples A, B, and C composed of a fixed aggregate (coarse aggregate : fine aggregate = 2 : 1), fixed activator, and various fly ash (45 gr, 56 gr, 70 gr). While, samples D and E composed of various aggregate and binder with respective ratio of (15,77% : 84,23%) and (16,93% : 83,07%). For samples A, B and C, the physical and mechanical properties were tested, while samples D and E were only tested for the mechanical property. Results of testing indicated that sample C

had good physical properties with water absorption of 3,23%, density of 0,20 gr/cm³, and porosity of 0,73%, and sample E had a good mechanical property, compressive strength of 1.55 MPa. Based on this study, the fly ash – based binder can be applied as a substitute for cement in a simple geopolymer concrete mixture.

Keyword: *Concrete, fly ash, activator, and aggregate*

I. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu jenis konstruksi yang banyak digunakan dalam dunia konstruksi. Bahan yang paling banyak digunakan dalam pembuatan beton adalah semen Portland, atau disebut beton konvensional. Saat meningkatnya penggunaan material beton, terdapat beberapa faktor penting yang harus diperhatikan pada isu global tentang kerusakan lingkungan akibat produksi Semen Portland.

Pengembangan beton dengan menggunakan bahan pengikat anorganik seperti alumina-silikat *polymer* atau dikenal dengan *geopolymer*. Alumina-silikat *polymer* yang merupakan sintesa dari material geologi yang terdapat pada alam yang kaya akan kandungan silika dan alumina (Davidovits, 1999). Beton *geopolymer* adalah suatu jenis beton baru yang 100% tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikat. Penggunaan material lainnya yang banyak mengandung silika dan alumina sepenuhnya sebagai pengganti semen lewat proses polimerisasi anorganik (*geopolymer*) yang dipelopori oleh seorang ilmuwan Prancis, Profesor Joseph Davidovits, pada tahun 1978.

Salah satu bahan pengganti semen sebagai bahan pengikat yaitu *fly ash*. *Fly ash* merupakan material hasil sampingan produk

industri salah satunya adalah sisa hasil proses pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Material *fly ash* dapat saja bereaksi secara kimia dengan cairan alkalin pada temperatur tertentu untuk membentuk material campuran yang memiliki sifat seperti semen (Manuahe dan Sumajouw, 2014).

Pada penelitian ini *fly ash* digunakan sebagai oksidasi silika yang diharapkan dapat membentuk sebuah ikatan polimer, dengan menambahkan bahan kimia aktivator yaitu natrium hidroksida dan sodium silikat. Menurut hasil penelitian Yunanto (2017), tentang kuat tekan beton *geopolymer* dengan variasi berat agregat dan binder, diperoleh bahwa pada nilai kuat tekan tertinggi beton *geopolymer* adalah 2.192 MPa, pada umur beton 28 hari untuk rasio 65: 35. Dimana, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana sifat fisik (daya serap air, densitas, dan porositas) dan sifat mekanik (kuat tekan) beton *geopolymer* sederhana dengan variasi komposisi *fly ash* sebagai pengganti semen dalam pembuatan beton *geopolymer* sederhana. Dengan komposisi binder yang lebih besar dibandingkan dengan agregat.

Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian yang bersifat pengembangan yang

mengarah pada pengembangan produk beton *geopolymer* dengan memanfaatkan *fly ash* sebagai bahan dasar dalam pembuatan beton sederhana untuk aplikasi material non-struktural.

II. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *Fly ash*, Aktivator (Na_2SiO_3 dan $NaOH$), Agregat, dan Air. Tahapan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tahap penyiapan *fly ash*

Dalam tahap persiapan ini yaitu penyediaan bahan pengikat yaitu *fly ash* PLTU MPANAU. Pengambilan *fly ash* sisa pembakaran batu bara dan pemisahan kotoran dengan mengayak *fly ash* menggunakan ayakan 200 mesh. Sampel *fly ash* yang didapatkan kemudian di uji komposisi kimianya menggunakan XRF.

Tahap Pembuatan aktivator

Menyediakan dua senyawa yaitu Na_2SiO_3 : $NaOH$, dan melarutkan Natrium Hidroksida ($NaOH$) menggunakan air. Selanjutnya membuat aktivator dengan mereaksikan dua senyawa Na_2SiO_3 : $NaOH$ dengan rasio tetap pada setiap pencampuran 526 gr.

Tahap pembuatan binder

Membuat binder (aktivator + *fly ash*)

Tahap pencetakan

Dalam tahap pencetakan ini, beton *geopolymer* sederhana dibuat dengan prosedur sebagai berikut:

- a. Menimbang *fly ash* dengan massa bervariasi yaitu (35, 45, 56, 70, 105) gram.
- b. Menyediakan agregat halus dan agregat kasar dengan massa tetap untuk sampel A,B,C, dan D sebanyak 105 gr..
- c. Memasukkan agregat dan binder ke dalam wadah dengan rasio 14,98% : 85,02% untuk sampel A, 15,28% : 84,72% untuk sampel B, 15,53% : 84,47% untuk sampel C, 15,77% : 84,23% untuk sampel D, dan 16,93% : 83,07% untuk sampel E.
- d. Selanjutnya diaduk sampai merata sambil dimasukkan air sedikit demi sedikit.
- e. Kemudian dimasukkan ke cetakan sampel dengan ukuran panjang 11, lebar 3 cm, dan tinggi 3 cm.
- f. Hasil cetakan kemudian dikeringkan pada suhu ruang selama 28 hari.
- g. Melakukan perlakuan yang sama untuk sampel selanjutnya dengan *fly ash* yang bervariasi.
- h. Sampel-sampel diuji dengan pengujian fisik dan mekanik.

Tahap Pengujian Sampel

- a. Daya serap air

1. Menimbang berat sampel kering dan mencatat hasilnya.
2. Merendam sampel ke dalam air selama ± 24 jam.
3. Menghilangkan air yang ada di permukaan sampel menggunakan tisu.
4. Menimbang berat sampel yang telah direndam.
5. Menghitung nilai daya serap air menggunakan Persamaan :

$$DSA = \frac{M_b - M_k}{M_k} \times 100\% \quad (1)$$

b. Densitas

1. Menimbang berat sampel dan mencatat hasilnya.
2. Memasukkan sampel ke dalam air dan mencatat kenaikan volume air.
3. Menghitung nilai densitas menggunakan Persamaan :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

c. Porositas

1. Hasil porositas berdasarkan dari hasil daya serap air dan densitas.
2. Menghitung nilai porositas menggunakan Persamaan :

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{M_b - M_k}{V} \times \frac{1}{\rho} \times 100\% \quad (2)$$

d. Kuat tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan alat UTM tipe TN20MD, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menyalakan mesin dengan menekan tombol saklar utama dan menekan tombol power ke posisi *on* pada monitor.
2. Meletakkan sampel pada tumpuan.
3. Mengatur jarak antara tumpuan.
4. Melakukan penyetelan alat dengan memutar gagang penggerak sampai sampel benar-benar berada pada posisi setimbang. Pengujian dimulai dengan memutar gagang penggerak kecepatan secara perlahan-lahan.
5. Memperhatikan sampel, nilai gaya yang diberikan pada monitor selama penekanan dilakukan. Jika sampel telah hancur maka beban maksimum tercapai dan pengujian telah selesai.
6. Membaca dan mencatat hasil penunjukan nilai gaya dan pertambahan panjang pada monitor.
7. Mengeluarkan sampel dari tumpuan.
8. Memutar kembali gagang penggerak ke posisi semula.
9. Mengulangi pengujian kuat tekan untuk sampel berikutnya dengan perlakuan yang sama.

10. Menghitung nilai kuat tekan sampel dengan menggunakan menggunakan Persamaan :

$$P = \frac{F_{max}}{A} \quad (4)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang dilakukan terbagi menjadi 2 tahap penting, yaitu tahap pengujian sifat fisik dan sifat mekanik. Namun, sebelum hal kedua tersebut dilakukan, terlebih dahulu uji karakterisasi menggunakan XRF untuk melihat kandungan awal material yang ada, dilihat pada Tabel 1.

1. Hasil karakterisasi menggunakan XRF

Tabel 1. Hasil pengujian kandungan kimia *fly ash* PLTU Mpanau

No.	Unsur Kimia Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	Persentase
1.	CaO	3,76
2.	SiO ₂	48,51
3.	Al ₂ O ₃	15,30
4.	MgO	2,21
5.	Fe ₂ O ₃	8,68
6.	H ₂ O	18,76
7.	Na ₂ O	1,05
8.	K ₂ O	1,71

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan hasil karakteristik *fly ash* mengandung 48,51% SiO₂, Fe₂O₃ 8,68%, dan Al₂O₃ 15,30%.

1. Hasil penelitian pengujian sifat fisik dan sifat mekanik

Pada penelitian ini jumlah sampel yang digunakan adalah 5 sampel uji yaitu sampel A,B,C,D, dan E. Sampel A-C memiliki komposisi agregat dan binder berturut-turut (14,98% : 85,02%), (15,28% : 84,72%), dan (15,53% :

84,47%). Ketiga sampel ini memiliki komposisi agregat (105 gr) dan aktivator (526 gr) yang tetap, sedangkan komposisi *fly ash* bervariasi (45 gr, 56 gr, 70 gr). Sementara sampel D dan E memiliki komposisi agregat dan binder yang bervariasi yaitu sampel D (15,77% agregat, 84,23% binder) dan sampel E (16,93% agregat, 83,07% binder). Komposisi agregat dan binder dalam masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 2. Pada sampel A-C dilakukan

pengujian sifat mekanik yaitu kuat tekan dan sifat fisik yaitu daya serap, densitas, dan porositas. Sementara pada sampel D-E hanya dilakukan pengujian sifat mekanik yaitu kuat tekan. Hasil pencetakan sampel dapat dilihat pada lampiran 1, dengan dimensi masing-masing sampel yang dihasilkan. Adapun hasil perhitungan luas dan volume, dan

pengukuran massa masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 3, sementara hasil pengujian sifat mekanik dan sifat fisik beton geopolimer (kuat tekan, daya serap, densitas, dan porositas), dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 2. Komposisi agregat dan binder data sampel

No.	Nama Sampel	Agregat (%)	Binder (%)
1	A	14,98	85,02
2	B	15,28	84,72
3	C	15,53	84,47
4	D	15,77	84,23
5	E	16,93	83,07

Tabel 3. Hasil perhitungan luas dan volume, dan pengukuran massa setiap sampel

No.	Nama Sampel	Luas alas (cm ²)	Volume (cm ³)	Massa (gr)
1	A	6,25	28,13	44,00
2	B	6,25	28,13	43,20
3	C	6,25	28,13	48,20
4	D	6,25	28,13	53,50
6	E	6,25	28,13	61,40

Tabel 4. Hasil Pengujian sifat mekanik dan fisik beton geopolimer berbahan dasar abu batu bara (*fly ash*), agregat dan aktivator.

No.	Nama Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Daya serap air (%)	Densitas (gr/cm ³)	Porositas (%)
1	A	0,36	7,21	0,19	1,55
2	B	0,36	8,89	0,19	1,77

3	C	0,41	3,23	0,20	0,73
4	D	0,76	-	-	-
5.	E	1,55	-	-	-

Hasil pengujian kandungan kimia *fly ash* PLTU Mpanau

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PT. Puasaka Jaya Palu Power yang berasal dari sisa pembakaran batu bara dari pembakaran batu bara di PLTU Mpanau.

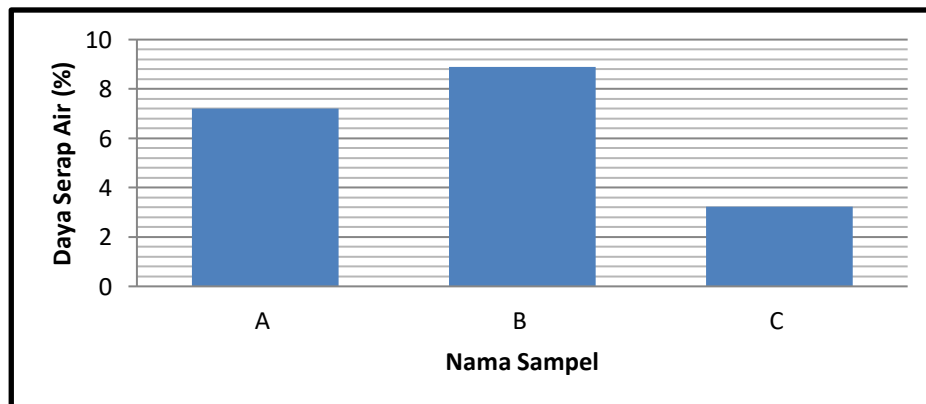
Dari data hasil pengujian kandungan kimia *fly ash* pada Tabel 1, didapatkan data yang didominasi oleh unsur silika-besi- dan alumina. Dari kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$) diperoleh sebesar 72,49%. Sedangkan batas ($\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$) kelas C minimal 50% dan kelas F ($\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$) minimal 70%. Dapat disimpulkan bahwa *fly ash* dari PT. Puasaka Jaya Palu Power masuk pada

kelas F (ACI Manual of Concrete Practice 1993Part 1 226.3R-3).

Daya Serap Air

Pengujian daya serap air sampel mengacu pada ASTM C-20-00-2005 tentang prosedur pengujian. Pengujian sifat fisik ini dilakukan untuk mengetahui besarnya presentase air yang diserap oleh masing-masing sampel yang telah direndam selama 24 jam. Menurut Nurizal dan Mahmud (2013), tingginya daya serap air disebabkan karena ukuran partikel *fly ash* lebih kecil dari material lainnya sehingga *fly ash* menutupi rongga lainnya.

Besarnya daya serap air dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 1 dan hasil perhitungan data ditampilkan dalam Tabel 2.



Gambar 1. Hubungan komposisi *fly ash*, terhadap nilai daya serap air.

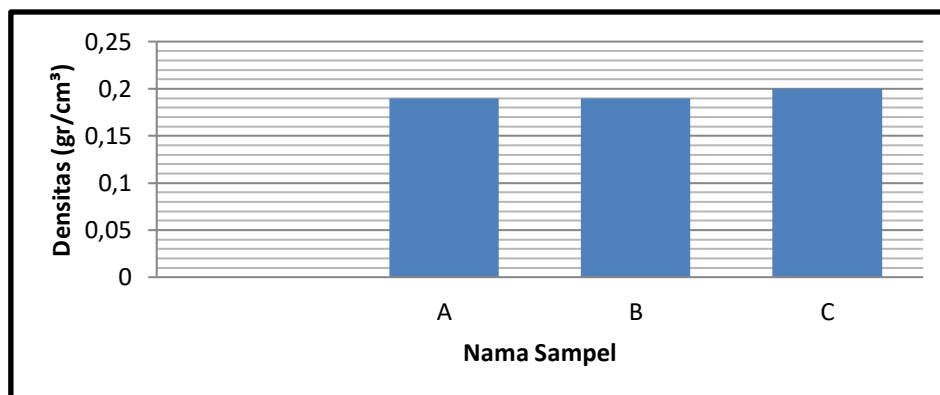
Nilai daya serap terendah yang dihasilkan pada sampel C yaitu 3,23% jauh lebih rendah dari syarat mutu beton SNI (03-0691-1996) dengan nilai penyerapan air maksimal 10%. Rendahnya nilai daya serap air pada sampel dengan jumlah *fly ash* yang bervariasi (45-70 gr) dikarenakan porositas *fly ash* yang sangat kecil. Menurut ACI Committee 226, dijelaskan bahwa abu terbang (*fly ash*) mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No.25 (45 mili mikron) 5 – 27 % dengan *specific gravity* antara 2,15 – 2,6 % (Munir, 2008).

Dari hasil pengujian tersebut, sampel C dengan komposisi agregat kasar (70 gr) :

agregat halus (35 gr) dengan jumlah *fly ash* 45 gr memiliki nilai daya serap paling minimum yaitu 3,23 %. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, semua sampel uji memiliki sifat daya serap air yang baik karena persentase serapan airnya jauh di bawah 10%.

Densitas

Pengujian densitas digunakan untuk mengetahui kerapatan suatu massa benda dimana kerapatan massa suatu benda adalah perbandingan antara massa benda terhadap volume benda. Perbandingan antara massa dan volume beton akan mempengaruhi besar nilai densitasnya. Besarnya densitas dapat ditentukan dengan Persamaan 2.



Gambar 2. Hubungan komposisi *fly ash*, terhadap nilai densitas.

Hasil pengujian densitas pada keseluruhan sampel uji dapat dilihat seperti pada lampiran 3, dimana nilai densitas yang diperoleh yaitu antara 0,19 – 0,20 gr/cm³. Data tersebut kemudian diplot dalam bentuk diagram

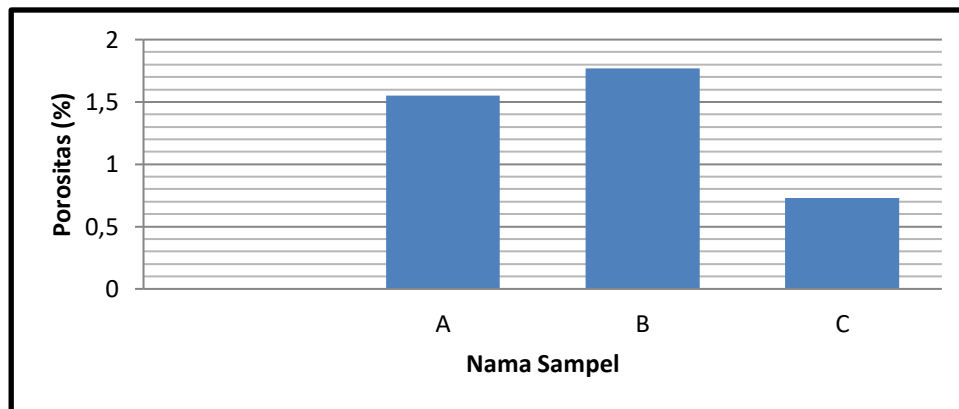
(Gambar 2) untuk melihat pengaruh komposisi *fly ash* terhadap densitas. Dari gambar tersebut, tampak bahwa komposisi *fly ash* yang menurun menunjukkan

kecenderungan meningkatnya nilai densitas. Apabila dibandingkan dengan hasil pengujian nilai daya serapnya maka terdapat hubungan antara daya serap air dan densitas, dimana semakin kecil daya serap air yang dihasilkan maka densitasnya akan semakin besar. Artinya bahwa semakin besar densitas beton *geopolymer* sederhana, maka ikatan antar partikel semakin kompak dan kuat sehingga rongga udara dalam beton mengecil. Keadaan

ini menyebabkan air atau uap air menjadi sulit untuk mengisi rongga tersebut (Yulianto, 2013).

Porositas

Besarnya porositas suatu sampel dapat dihitung menggunakan Persamaan 3. Perhitungan porositas dilakukan untuk mengetahui besar ukuran ruang kosong diantara suatu material.



Gambar 3. Hubungan komposisi *fly ash*, terhadap nilai porositas.

Hasil perhitungan porositas sampel A-C (Gambar 3) didapatkan bahwa porositas terbesar dimiliki oleh sampel B dengan nilai 1,77 % dan porositas terendah dimiliki oleh sampel C sebesar 0,73 %. Nilai porositas ke-3 sampel ini memiliki nilai yang sangat rendah dibandingkan dari hasil Sari dkk (2014), dengan nilai 2,4 %. Rendahnya nilai porositas sampel tersebut karena *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran yang sangat kecil, (lolos saringan 200

mesh) yang memiliki kemampuan mengisi ruang – ruang yang kosong pada campuran sehingga pori – pori dapat diperkecil. Hasil pengujian sampel menunjukkan bahwa nilai porositas cenderung turun seiring dengan menurunnya komposisi *fly ash* campuran untuk agregat dan aktivator yang tetap.

Dari penelitian yang dilakukan dengan sampel yang tiap-tiapnya mempunyai ukuran luasan yang sama, tetapi berbeda massa jenisnya, diketahui bahwa densitas sampel yang

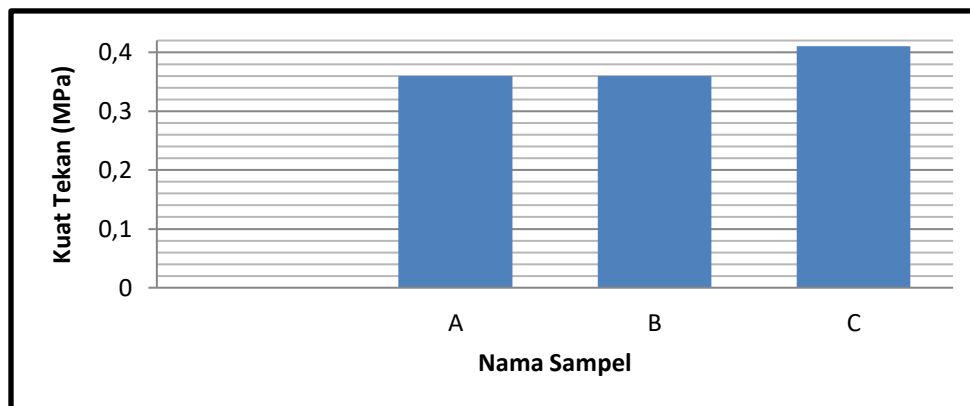
semakin kecil akan mempunyai porositas yang lebih besar dikarenakan massa jenis yang semakin kecil akan menimbulkan banyaknya pori-pori didalam sampel. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian Yulianto (2013), dimana besarnya nilai porositas berbanding terbalik dengan nilai densitas. Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik menunjukkan bahwa sampel uji beton geopolimer sederhana memiliki kualitas yang baik karena daya serap airnya $< 10\%$, densitas dan porositas yang rendah.

Kuat Tekan

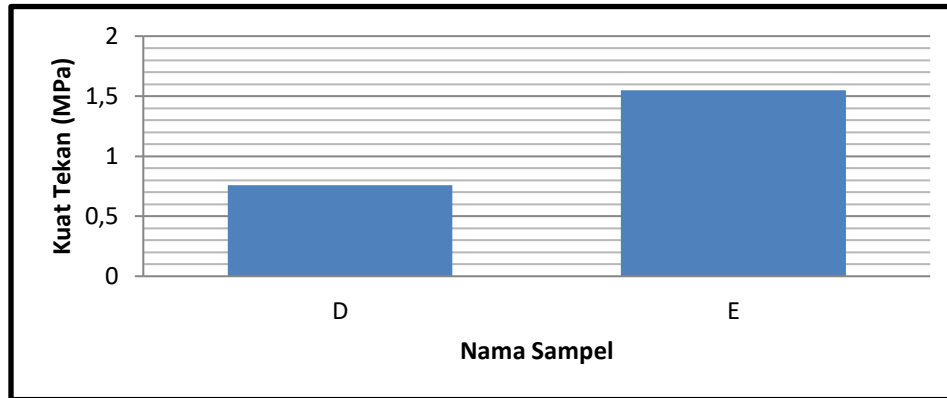
Hasil pengolahan data Tabel 3 diperoleh kuat tekan pada sampel A-C dengan komposisi

agregat sebesar sekitar 15% atau komposisi binder sebesar sekitar 85% tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan terhadap nilai kuat tekan ($\pm 0,3$ MPa) yang bermakna terhadap variasi komposisi *fly ash* dalam binder.

Penelitian lanjutan dilakukan dengan penambah komposisi agregat atau pengurangan komposisi binder pada sampel D dan E. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan nilai kuat tekan seiring bertambahnya komposisi agregat atau berkurangnya binder. Nilai kuat tekan tertinggi yang diperoleh adalah sampel E dengan nilai sebesar 1,55 MPa.



Gambar 4. Hubungan komposisi rasio *fly ash*, terhadap nilai kuat tekan



Gambar 5. Hubungan komposisi *fly ash*, terhadap nilai kuat tekan.

Hasil yang diperoleh pada Gambar 5 untuk kuat tekan memiliki nilai yang berbeda untuk rasio agregat: binder disebabkan karena ketahanan dari masing-masing sampel berbeda sehingga mempengaruhi besarnya gaya yang diterima oleh sampel. Hasil penelitian ini tidak berbeda jauh dengan hasil penelitian yang dilakukan dengan Yunanto (2017), dimana diperoleh kuat tekan sebesar 2,192 MPa dengan rasio agregat : binder = 65:35. Rendahnya nilai kuat tekan yang dihasilkan dibandingkan dengan hasil penelitian Yunanto disebabkan karena kurangnya pemadatan pada saat pembuatan sampel sehingga mempengaruhi kuat tekan. Akibat dari proses pemadatan yang kurang sempurna, akan banyak udara yang terperangkap di dalam beton. Berdasarkan “*rule of thumb*” peningkatan rongga udara sebanyak 2% dapat menurunkan kuat beton hingga 10%. Selain itu, komposisi agregat yang digunakan jauh lebih tinggi yaitu 65%

sementara dalam penelitian ini, sampel E hanya sebesar 16,93%.

Menurut Yusrizal, dkk (2011), hasil kuat tekan beton sangat dipengaruhi secara manual dan secara mekanis (*mixer*). Pada pengadukan secara mekanis (*mixer*) dapat menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengadukan normal.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan serta tujuan dari penelitian ini, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Beton *geopolymer* sederhana dengan sifat fisik yang baik dapat dihasilkan dengan memanfaatkan binder berbahan dasar *fly ash*, dengan daya serap air (3,23-8,89%), densitas (0,19-0,21 gr/cm³), dan porositas (0,73-1,77%). Hal ini menunjukkan adanya potensi untuk pembuatan beton dalam pemanfaatan limbah industri *fly ash*.

2. Terjadi peningkatan kuat tekan seiring dengan meningkatnya komposisi agregat atau menurunnya komposisi binder, dimana syarat mutu beton maksimal 40 MPa, namun sifat mekaniknya masih dibawah 2 MPa. Sehingga masuk kategori beton *geopolymer* sederhana yaitu nilainya kurang dari 10 MPa.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada PT. Puasaka Jaya Palu Power yang telah memberikan izin untuk mengambil sampel penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 226. 1989. Use of Fly Ash in Concrete

Manuahe Riger, 2014. *Kuat tekan beton geopolymer berbahan dasar abu terbang (fly ash)*. Skripsi Program S1 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Munir, M. (2008). Pemanfaatan abu batubara (*fly ash*) untuk *hollow block* yang bermutu dan aman bagi lingkungan (Doctoral dissertation, program Pascasarjana Universitas Diponegoro).

Sari, Intan Permata, dkk. 2014. Penerapan Pendekatan Kontekstual untuk Meningkatkan Kemampuan Siswa dalam Memahami Sifat-sifat Bangun Mata Pelajaran Matematika. *Jurnal Mahasiswa PGSD*. 2 (6).

SNI 03-0691-1996. 1996. Tentang bata beton (paving block). Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

Yulianto, A. (2013). Analisis Sifat Mekanik Genteng Keramik Hasil Campuran Lumpur Lapindo. *Unnes Physics Journal*, 2(1).

Yunanto, Andi. (2017). Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Variasi Berat Agregat dan Binder pada Umur Beton 21 dan 28 Hari. Universitas Muhammadiyah, Surakarta.

Yusrizal, dkk. 2011. Evaluasi Kinerja Guru Fisika, Biologi, dan Kimia SMA yang Sudah Lulus Sertifikasi