

Efektivitas Aktivator Alkali Potassium Hidroksida Dan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer

Muhammad Naufal*, Syahrul Sariman, Eka Yuniarto

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa

E-mail: muhammadnaufalb91@gmail.com

Artikel info

Artikel history:

Diterima: 02-12-2023

Direvisi: 20-04-2024

Disetujui: 30-05-2024

Abstract. Geopolymer concrete is a concrete product whose binding reaction is a polymerization reaction. In this reaction Aliminium (Al) and Silica (Si) have an important role because Aluminum and Silica will produce AlO_2 and SiO_4 . The alkaline activators used are Sodium Hydroxide (NaOH), Potassium Hydroxide (KOH) and Sodium Silicate (Na_2SiO_3). Constituent material on. Geopolymer concrete consists of coarse aggregate, fine aggregate and water. NaOH is dissolved with distilled water, then mixed with Na_2SiO_3 . In the research process using the curing method by wrapping for 28 days. The compressive strength values of concrete using 95%, 90%, 85% ASP variations of NaOH activators were 21.42 Mpa, 20.10 Mpa, 16.04 Mpa. The compressive strength values of concrete using KOH activators with variations of ASP 95%, 90%, 85% were 26.86 Mpa, 22.74 Mpa, 18.40 Mpa. The use of KOH as an aktivator with Variation of Rice Husk Ash experienced an increase in compressive strength compared to using the NaOH activator.

Abstrak. Beton geopolimer merupakan produk beton yang reaksi pengikatnya adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi ini Aliminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting karena Aluminium dan Silika akan menghasilkan AlO_2 dan SiO_4 . Alkali aktivator yang digunakan adalah Sodium Hidroksida (NaOH), Potassium Hidroksida (KOH) dan Sodium Silikat (Na_2SiO_3). Pada penelitian ini bertujuan mengetahui komposisi beton, menganalisis potensi potassium Hidroksida sebagai alkali aktivator dan penambahan Abu Sekam Padi. Dalam proses penelitian menggunakan metode curing dengan cara wrapping selama 28 hari. Nilai kuat tekan beton yang menggunakan Aktivator NaOH variasi ASP 95%, 90%, 85% sebesar 21.42 Mpa, 20.10 Mpa, 16.04 Mpa. Nilai kuat tekan beton yang menggunakan Aktivator KOH variasi ASP 95%, 90%, 85% sebesar 26.86 Mpa, 22.74 Mpa, 18.40 Mpa. Penggunaan KOH sebagai aktivator variasi Abu sekam Padi mengalami kenaikan kuat tekan dibandingkan menggunakan aktivator NaOH.

Keywords:

Beton Geopolimer, KOH, Variasi Abu Sekam Padi, Kuat Tekan

Corresponden author:

Email: muhammadnaufalb91@gmail.com



artikel dengan akses terbuka dibawah lisensi CC BY -4.0

1. PENDAHULUAN

Pertambahan jumlah penduduk di Indonesia secara langsung menjadi faktor utama dalam perkembangan teknologi infrastruktur yang ada, salah satunya konstruksi beton. Saat ini teknologi konstruksi beton sangat berpengaruh karena dianggap sebagai konstruksi yang lebih murah dan populer dibandingkan dengan jenis konstruksi lainnya serta telah digunakan secara luas karena bahan pembuatan beton yang lebih mudah dijangkau dan teknologi yang lebih sederhana sehingga dapat dikuasai oleh seluruh lapisan masyarakat. Secara umum proses pembuatan beton terbuat dari bahan baku utama yaitu semen Portland dengan campuran air, pasir dan kerikil. Semen Portland merupakan semen hasil hidrolisis campuran batu gamping dan batuan yang mengandung silika, kapur dan alumina pada suhu $1550^{\circ}C$ (Duda, 1984). Produksi semen Portland saat ini menjadi salah satu faktor terbesar pencemaran lingkungan, karena pada proses produksinya dihasilkan banyak emisi gas karbon dioksida (CO_2) yang dapat merusak lingkungan bila banyak dilepaskan ke atmosfer. Faktanya, produksi semen Portland menyumbang tujuh persen dari keseluruhan karbon dioksida (CO_2) yang dihasilkan (Malhotra, 1999).

Beton Geopolimer ialah beton yang tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikat. Bahan alternative pengganti semen sebagai bahan pengikat dalam beton Geopolimer biasanya fly ash, Abu sekam padi, abu ampas tebu. sebagai aktivatornya digunakan sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3). Abu sekam padi memiliki kandungan silika yang tinggi, kandungan silika menjadikan abu sekam padi bersifat pozzolan. sifat tersebut akan menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air apabila bentuk halusanya dicampurkan dengan air (Tjokrodinomuljo, 1996). Adanya sifat tersebut menjadikan beton geopolimer memiliki daya kuat tekan beton yang lebih tinggi. Dalam pembuatan beton geopolimer pada umumnya menggunakan alkali aktifator berupa campuran sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH), yang berfungsi untuk membantu proses pengikatan antar partikel dan mempercepat reaksi polimerisasi (Houston, 1972). Saat ini pemanfaatan sekam padi

hanya sebagai pupuk ataupun pakan ternak.

Mortar geopolimer adalah mortar yang berbahan alami sebagai pengikat yang memiliki kandungan alumina dan oksida silika yang tinggi (Davidovits, 2002). Dalam proses pembuatannya, mortar geopolimer dapat menggunakan mineral alam dengan kandungan SiO_2 (silika oksida) yang tinggi sebagai precursor contohnya abu sekam padi, abu terbang (fly ash), abu sawit dan lain-lain. Bahan tersebut tidak memiliki kemampuan mengikat, namun dengan aktivator sebagai pengikat seperti, NaOH (natrium hidroksida) dan Na_2SiO_3 (natrium silika), oksida silika yang terdapat dalam bahan tersebut akan bereaksi secara kimia dan membentuk ikatan polimer. Dengan latar belakang tersebut diatas, penelitian ini berfokus pada efektivitas penggunaan activator alkali potassium hidroksida (KOH) dan abu sekam padi (ASP) sebagai bahan utama dalam pembuatan beton geopolimer. Beton geopolimer, sebagai alternatif material ramah lingkungan, menawarkan potensi untuk mengurangi emisi karbon yang dihasilkan dari penggunaan semen Portland dan untuk menentukan kombinasi proporsi yang optimal antara activator dan abu sekam padi guna menghasilkan beton geopolimer dengan performa mekanis yang tinggi.

Salah satu material penyusun pada beton Geopolimer adalah abu terbang atau *fly ash*. Abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batu bara yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik. Pozolanik adalah bahan yang mengandung silika dan alumina dalam bentuk sangat halus di dalamnya tidak terdapat sama sekali bahan pengikat (*cementious*) dapat bereaksi dengan alkali untuk membentuk material campuran yang memiliki sifat pengikat. banyak penelitian tentang binder geopolimer berbahan dasar abu terbang yang telah dilakukan. Banyak penelitian yang lebih memilih abu terbang tipe F daripada abu terbang tipe C. karena unsur silika dan alumina yang terdapat dalam tipe F lebih tinggi sehingga ketika bereaksi dengan alkalin akan menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al . Dengan ini akan membentuk padatan berupa amorf sampai semi Kristal. Pada penelitian yang dilakukan oleh Bernadus (2014), dalam pembuatan beton geopolimer berbahan fly ash dan abu sekam padi dengan alkali aktifator sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH), didapatkan hasil daya kuat tekan beton yang relatif tinggi dengan menggunakan alkali aktifator tersebut. Penelitian menunjukkan bahwa beton dengan menggunakan bahan dasar abu sekam padi dapat menjadi bahan tambah dalam pembuatan beton geopolimer. Selain itu, Rihnatul (2017), melakukan penelitian sejenis dengan menggunakan perbandingan fly ash 50% dan abu sekam padi 50%, namun hasil dari campuran tersebut juga di dapatkan nilai kuat tekan yang masih relatif rendah dibandingkan dengan hasil kuat tekan 100% *fly ash*. Ekaputri, dkk (2007), sifat Mekanik Beton Polimer Berbahan Dasar *fly Ash* Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif mengemukakan bahwa, semakin tinggi perbandingan massa larutan Sodium Silikat (Na_2SiO_3) dan Sodium Hidroksida (NaOH) tidak selalu menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik belah yang tinggi pula. Perbandingan massa larutan Sodium Silikat (Na_2SiO_3) dan Sodium Hidroksida (NaOH) = 1,5 merupakan titik puncak optimum untuk kuat tekan dan kuat tarik belah. Serta semakin tinggi molaritas yang digunakan, maka semakin tinggi pula kuat tekan dan kuat tarik belah yang dihasilkan. Tanaman padi adalah tanaman yang masuk kedalam jenis rumput – rumputan (*Graminae*) yang memiliki nama latin *oryza sativa*. Sampai saat ini padi masih merupakan kebutuhan pokok bagi masyarakat di Indonesia. Produksi padi gabah kering giling (GKG) selama Januari – Desember 2018 mencapai 56,54 juta ton, dimana dapat menghasilkan sekam padi sebanyak 20% - 25% dari berat keseluruhan. Sekam padi adalah limbah dari hasil penggilingan padi, karena butirnya tidak begitu halus (± 3 mm) dan bobotnya ringan, penyimpanan limbah ini memerlukan tempat yang luas.

Penelitian bertujuan untuk memanfaatkan limbah abu sekam padi sebagai bahan baku alternative pembuatan beton geopolimer yang dilakukan setelah proses Curing dengan perendaman 28 hari.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode studi eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Bosowa Makassar. Pengujian bahan merupakan tahap awal pengujian sebelum membuat campuran beton. Dimana dalam tahap pengujian ini terdiri dari beberapa pengujian yaitu: berat jenis agregat (kasar dan halus), berat isi agregat (kasar dan halus), kadar air dan kadar lumpur agregat (kasar dan halus), analisa saringan agregat (kasar dan halus). Penelitian yang dilakukan adalah mengganti bahan dasar semen pada mortar konvensional dengan abu terbang (*fly ash*) dan ditambah dengan abu sekam padi. dalam pembuatan mortar biasanya bahan pengikat antara semen dan agregat berupa air, dalam penelitian ini diganti dengan larutan NaOH dan Na_2SiO_3 sebagai pengikat campuran mortar menggunakan abu terbang dan sekam padi. Perhitungan komposisi campuran untuk pembuatan benda uji menggunakan metode perbandingan bahan pengikat dan Agregat. Menentukan berat jenis beton geopolimer yang akan digunakan. Berat jenis beton berbasis fly ash berkisar 2330 kg/m^3 hingga 2430 kg/m^3 (Hardjito dan Rangan, 2005). Dapat juga ditentukan sebesar 2350 kg/m^3 dalam mendesain awal campuran beton geopolimer. Perbandingan bahan pengikat dan Agregat sebagai pengisi pada beton geopolimer metode pencampuran beton kadarnya berkisar dari 70% - 80% sehingga bahan pengikatnya berkisar 20% - 30% dari berat total beton (Hardjito dan Rangan, 2005). Berikut ini adalah diagram komposisi campuran beton geopolimer.

Varabel bebas dalam penelitian ini yaitu : Abu sekam Padi, *Fly Ash*, varabel terikat yaitu : Alkali Aktivator : NaOH , KOH dan Na_2SiO_3 , Agregat Kasar dan Agregat Halus, Air. Pembuatan Larutan 10 M sebanyak 1 Liter, dapat dibuat dengan menambahkan 400 gram padatan NaOH kedalam 1 Liter pelarut Air. Dalam penelitian ini

digunakan campuran *fly ash* dan abu sekam padi dengan variasi 95%: 5%, 90%: 10%, 85%: 15%. Kemudian digunakan 2 jenis aktivator yaitu NaOH dan KOH. Benda uji yang dibutuhkan adalah silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan. Benda uji *Curing* selama 28 hari kemudian diuji kuat tekan. Adapun komposisi dan jumlah sampel yang digunakan dapat dilihat tabel sebagai berikut:

Tabel 1 Variasi Perlakuan Beton Geopolimer

Notasi	Komposisi Sampel	Fly ash (kg)	ASP (kg)
Normal	NaOH, FA 100%	2.62	-
Na. ASP 5%	FA 95%	2.48	0.131
Na. ASP 10%	FA 90%	2.35	0.262
Na. ASP 15%	FA 85%	2.22	0.392
K. ASP 5%	FA 95%	2.48	0.131
K. ASP 10%	FA 90%	2.35	0.262
K. ASP 15%	FA 85%	2.22	0.392

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, 2023.

Tabel 2 Komposisi Rancangan Campuran

Bahan Beton	Berat Beton (kg/m ³)	Volume Benda Uji (m ³)	Berat 1 Sampel (kg)	Aktivator (kg)		
				95%	90%	85%
NaOH	70.67	0.0053	0.37	0.37	0.37	0.37
Na ₂ SiO ₃	141.3	0.0053	0.75	0.75	0.75	0.75
Fly Ash	493.5	0.0053	2.61	2.48	2.35	2.22
Pasir	493.5	0.0053	2.61	2.61	2.61	2.61
Bp 0.5 – 1	1151.5	0.0053	6.10	6.10	6.10	6.10
Total	2350		12.44	12.31	12.18	12.05

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, 2023.

Dari Tabel 2. diatas tersaji nilai berat masing-masing material pada pencampuran beton geopolimer, dimana untuk Variabel terikat seperti, Aktivator, Agregat halus dan Agregat kasar tidak mengalami perubahan pada pencampuran 95%, 90%, 85%, yang mengalami perubahan hanya ada pada fly ash dan abu Sekam padi (tabel 2) dengan cara mengkalikan nilai fly ash 100% dengan masing-masing perkursor, hal ini berlaku juga untuk pencampuran beton geopolimer aktivator Potassium Hidroksida (KOH) karena nilai untuk tiap materialnya sama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

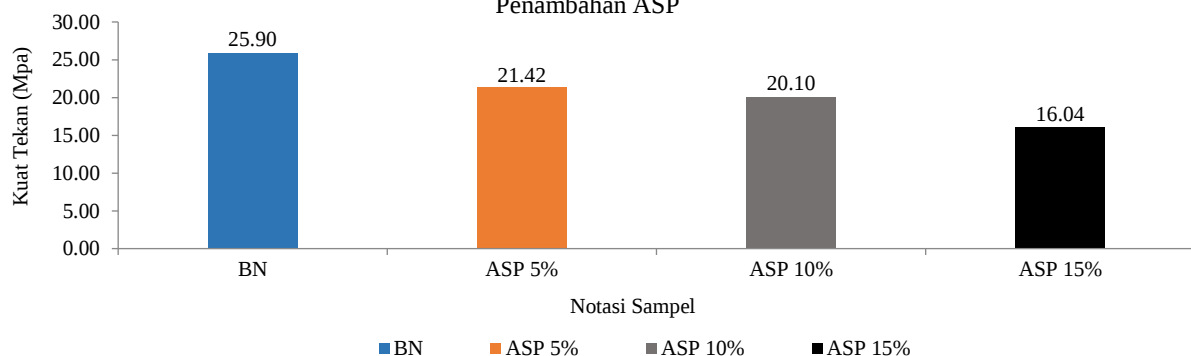
Berdasarkan hasil kuat tekan beton normal, didapat nilai kuat tekan untuk umur 28 hari didapat rata-rata sebesar 25,90 MPa. Penelitian beton normal ini memenuhi syarat karena nilai kuat tekan umur beton 28 hari yang di dihasilkan melebihi dari nilai kuat tekan rencana sebesar 25 MPa atau setara dengan K-300 yang di golongan sebagai beton dengan mutu sedang dimana umumnya digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan tinggi, jalan, jembatan, dan lainnya.

Pengujian Kuat Tekan Beton dilakukan pada saat berumur 28 hari dengan menggunakan mesin kuat tekan manual dengan kapasitas 2000 kN, benda uji yang dites adalah berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan jumlah benda uji 24 buah, dimana 6 diantaranya beton Geopolimer normal.

Pengaruh Abu Sekam Padi terhadap kuat tekan geopolimer.

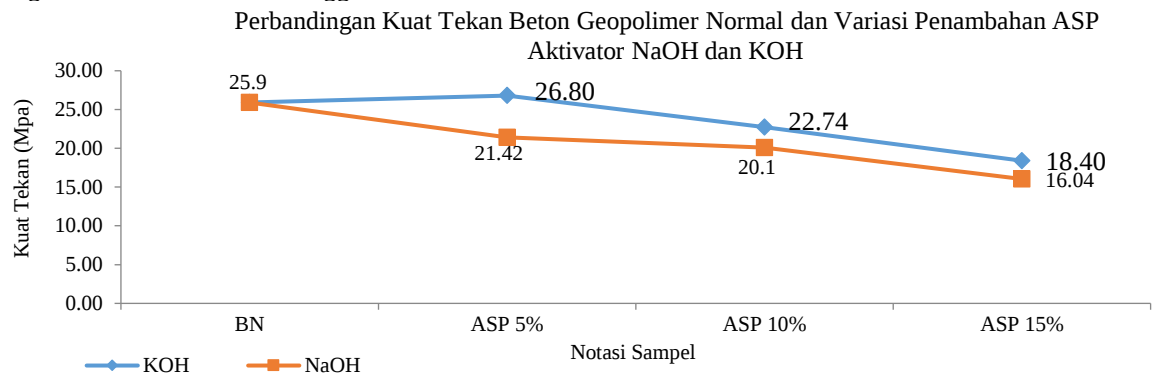
Abu sekam padi merupakan bahan yang bersifat pozzolan di mana sifat tersebut menjadi suatu massa padat yang tidak larut di dalam air (tjokrodinomuljo, 1996) dengan pemanfaatan tidak hanya dibidang pertanian tetapi saat ini telah digunakan sebagai bahan baku pembuatan beton geopolimer.

Perbandingan Kuat Tekan Beton Geopolimer Aktivator NaOH Normal dan Variasi Penambahan ASP



Gambar 1. Perbandingan Kuat Tekan Beton Geopolimer Aktivator NaOH Normal dan Variasi Penambahan Abu Sekam Padi.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, penambahan abu sekam padi pada beton geopolimer aktivator NaOH dengan tiga konsentrasi berbeda didapatkan nilai kuat tekan yang lebih optimum pada penambahan 5% abu sekam padi yaitu sebesar 21,42 Mpa. Sedangkan, nilai kuat tekan terendah terdapat pada penambahan abu sekam padi 10% dan 15% dengan nilai berturut-turut sebesar 20,10 Mpa dan 16,04 Mpa sesuai pada grafik yang terdapat pada gambar 3, dengan membandingkan kuat tekan yang dicapai pada usia 28 hari dari beton normal dengan beton variasi Abu Sekam Padi, didapati penurunan kuat tekan pada beton sebesar 17% jika dilihat dari kuat tekan normal dengan kuat tekan variasi tertinggi ASP 5%.



Gambar 2. Perbandingan Kuat Tekan Beton Geopolimer Aktivator NaOH Normal dan Variasi Penambahan Abu Sekam Padi Aktivator KOH

Gambar 2 Menunjukkan perbandingan nilai kuat tekan beton geopolimer normal dengan penggunaan aktivator yang berbeda pada umur 28 hari dengan menggunakan Abu sekam padi sebagai bahan tambah presenrase 5%,10%,15%. Dimana nilai kuat tekan pada benda uji yang menggunakan aktivator NaOH mengalami penurunan kuat tekan lebih rendah bila dibandingkan dengan beton normal dan benda uji yang menggunakan aktivator KOH.

Tabel 3 Presentase Penurunan Hasil Kuat Tekan Beton Geopolimer Aktivator NaOH

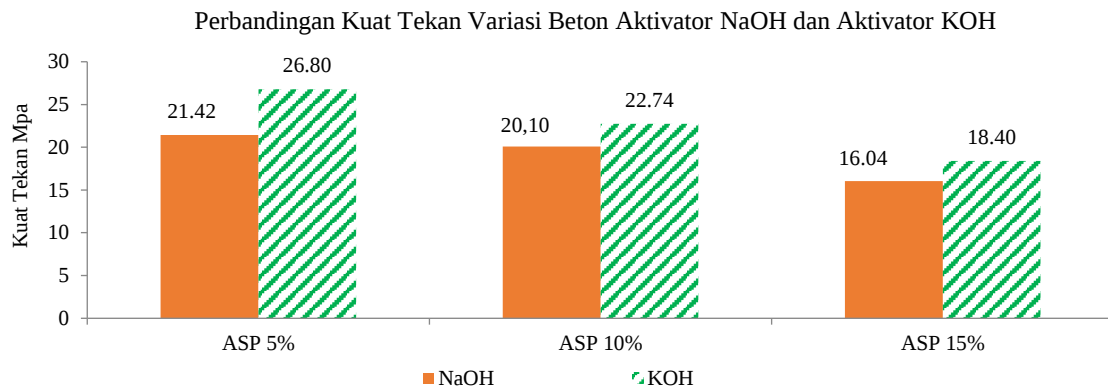
No	Notasi	Kuat Tekan (Mpa)	Penurunan
1	BN	25,90	
2	ASP 5%	21,42	17%
3	ASP 10%	20,10	6%
4	ASP 15%	16,04	20%

Sumber : Analisa Data, 2023

Berdasarkan nilai kuat tekan tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi penambahan abu sekam padi maka semakin rendah nilai kuat tekan beton geopolimer yang dihasilkan, hal ini disebabkan oleh adanya kandungan (Si) berlebih yakni sebanyak 90% pada abu sekam padi yang menyebabkan abu sekam padi ini dapat bereaksi dengan larutan alkali (sodium silikat dan sodium hidroksida). Campuran akan menjadi beton geopolimer jika bahan pozzolan nya memiliki komposisi silika (Si) dan alumina (Al) yang dapat bereaksi dengan larutan alkanine (sodium silikat dan sodium hidroksida) untuk mengikat agregat (Sumajouw et al, 2013) dan (manuahe et al,2014).

Potensi Potassium hidroksida (KOH) saebagai Alkali Aktivator Beton Geopolimer.

Berdasarkan Gambar 3 dibawah ini dapat diliat perbandingan beton normal geopolimer dan beton Variasi yang menggunakan Potassium Hidroksida (KOH) sebagai Aktivator dengan Natrium Hidroksida (NaOH) dapat digambarkan perbedaan kuat tekan. Hasil uji kuat tekan beton geopolimer dengan menggukan Potassium hidroksida (KOH) sebagai aktivator, didapatkan kuat Tekan Geopolimer lebih tinggi menggukan aktivator KOH dibandingkan Menggunakan Aktivator NaOH, Hal ini disebabkan karena KOH memiliki ikatan polimer yang lebih kuat dibandingkan dengan NaOH, karena unsur kalium (K) tersebut memiliki kemampuan untuk menstabilkan anion monomer aluminosilikat pasa proses geopolimerisasi (Rahman, 2020).



Gambar 3. Perbandingan Kuat Tekan Variasi Beton Geopolimer Aktivator NaOH dan Aktivator KOH

Tabel 4 Presentase Penurunan Hasil Kuat Tekan Beton Aktivator KOH dan Aktivator NaOH Variasi ASP

No	Notasi	Aktivator	Kuat Tekan (mpa)	Kenaikan (%)
1	ASP 5%	KOH	26,80	25%
		NaOH	21,42	
2	ASP 10%	KOH	22,74	13%
		NaOH	20,10	
3	ASP 15%	KOH	18,40	14%
		NaOH	16,04	

Sumber : Analisa Data, 2023

Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan KOH dapat memberikan porositas yang kecil karena kemampuan yang lebih baik dalam mengikat partikel abu terbang sehingga ruang kosong antara matrik tidak banyak terdapat, sehingga hal ini juga berpengaruh pada kuat tekan yang dihasilkan dengan nilai yang lebih tinggi. Kombinasi KOH dan Na_2SiO_3 dapat menghasilkan kuat tekan dan porositas yang lebih baik jika dibandingkan penggunaan NaOH. Disamping itu KOH juga berperan dalam mengikat atom Si dan Al pada abu terbang membentuk ikatan yang padat dan kuat sehingga celah yang tersedia semakin sedikit.

Hal lain yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah kelas dari FA yang digunakan. Dimana pada bahasan sebelumnya diketahui bahwa FA yang digunakan untuk penelitian ini adalah FA kelas F yang mengandung senyawa CaO diatas 10% penggunaan FA kelas C yang memiliki kandungan kalsium tinggi ini mengakibatkan reaksi *Pozzolanik* (polimerisasi) pada beton berlangsung tidak sempurna, sehingga proses pengerasan beton geopolimer menjadi terhambat.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa komposisi perbandingan prekursor dan aktivator sebesar 70 : 30 dan perbandingan aktivator NaOH : Na_2SiO_3 sebesar 2 : 1 dengan menggunakan molaritas 10 diperoleh komposisi *Fly Ash* (493.5 kg/m³) , NaOH (141.33 kg/m³) , KOH (141.33 kg/m³), Na_2SiO_3 (70.67 kg/m³) , Air (108.025 kg/m³) , Pasir (493.5 kg/m³), Batu Pecah 0.5-1 (1151.5.72 kg/m³) . Diperoleh kuat tekan 25.90 Mpa untuk curing 28 hari. Nilai kuat tekan rata-rata beton geopolimer berbahan dasar fly ash dan abu sekam padi, dengan aktivator NaOH pada variasi ASP 5%, ASP 10% dan ASP 15% di dapatkan nilai kuat tekan berturut-turut yaitu 21,42 Mpa, 20,10 Mpa, 16,04 Mpa. Penggunaan aktivator potassium hidroksida (KOH) berpotensi sebagai alkali aktivator pada beton geopolimer dengan hasil optimum pada variasi ASP 5% dengan nilai kuat tekan beton sebesar 26,86 Mpa. Sedangkan Nilai kuat tekan beton geopolimer aktivator natrium hidroksida (NaOH) variasi ASP 5% dan beton normal berturut-turut sebesar 21,42 Mpa dan 25,90 Mpa.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bernadus, H."Pengaruh Komposisi Solid Material Abu Terbang dan Abu Sekam Padi pada Beton Geopolimer dengan Alkaline Aktivator Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida". Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta, 2014.
- Davidovits, J. "Geopolymers - Inorganic Polymeric New Materials". Journal of Thermal Analysis 37 no.8 (1991): h.1633–1656.
- Dipohusodo, I. Struktur Beton Bertulang. Penerbit Gramedia Pustaka Utama. Jakarta, 1996.
- Duda, Walter.H. "Cement Data Book, International Process Engineering in The Cement Industry, 2nd Edition". Boverlag Gm, Mc Donald and Evan. London, 1984.

- Ekaputri, Januarti Jaya, and Oktavina Damayanti. "Sifat mekanik beton geopolimer berbahan dasar fly ash jawa power paiton sebagai material alternatif." *Jurnal Pondasi* 13. No. 2 (2007): 124-134.
- Hardjito, D., Wallah S.E and Rangan, B.V. "Factor Influencing The Compressive Strength of Fly Ash Based Geopolymer Concrete". *Civil Engineering Dimension* 6. Issue: 2 (2004), h: 88-93.
- Houston, D.F. *Rice Chemistry And Technology*, American Association Of Cereal Chemists, Inc. Minnesota, 1972.
- Ismail. *Kandungan Kimia Pada Sekam Padi*, Balai Penelitian Limbah Pertanian. Erlangga. Bandung, 1996.
- Julharmito, dkk. "Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (Fly Ash) Batu Bara Sebagai Bahan Campuran Beton Geopolimer". *JOM FTEKNIK* 2 no.2 (2015): h.1-7.
- Li, Zongjin, Zhu Ding, and Yunseng Zhang. "Development of Sustainable Cementitious Materials". *Proceedings of the International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*. Ames : Center for Transportation Research and Education Iowa State University. Beijing, 2004.
- Malhotra, V.M. "Making concrete greener with fly ash". *ACI Concrete International* 21, (1999): h.61-66.
- Manuahe Riger. "Kuat tekan beton geopolymer berbahan dasar abu terbang (fly ash)". *Skripsi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado*, 2014.
- Maulana, S.R.S. "Pemetaan Potensi Sekam Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Kabupaten Jember", 2016.
- Mulyono, T. *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Penerbit Andi, 2006.
- Prasetya, F." *Sintesis dan Karakterisasi Beton Geopolimer Berbasis Abu Layang Sebagai Media Tanam*". *APERTI BUMN* 1 no.1 (2018): h.21-26.
- Prasetyo, Ginanjar Bagus. "Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen". *Thesis. Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 2015.
- Rahman, RA., dkk. "Pengaruh Rasio Mol M_2O/SiO_2 dan M_2O/Al_2O_3 (M: Na dan K) terhadap Karakteristik Geopolimer Abu Layang Batubara". *Indonesian Journal of Chemical Science* 8 no.1 (2019): h.63-70.
- Rihnatul, Ilmiah. "Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Pozzolan pada Binder Geopolimer Menggunakan Alkali Aktivator Sodium Silikat (Na_2SiO_3) serta Sodium Hidroksida (NaOH)". *Thesis. Fakultas Teknik dan Perencanaan ITS Surabaya*, 2017.
- Sumajouw, M. D., & Dapas. *Elemen struktur Beton Bertulang Geopolimer*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Tjokrodinuljo, K. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Teknik Sipil, Universitas Gajah Mada. Yogyakarta, 1996. Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1974-1990. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.