

PENGARUH PENGGUNAAN SIKAPLASTIMENT VZ DALAM PEMBUATAN BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH PLTU TELUK SIRIH

Rita Anggraini^{1)*}, Taufik¹⁾, Rini Mulyani¹⁾, Risayanti¹⁾ dan Arniza Fitri²⁾

¹⁾*Progam Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta, Padang*

²⁾*Progam Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat Indonesia, Bandar Lampung*

*E-mail : rita.anggraini@bunghatta.ac.id

ABSTRAK

Beton geopolimer merupakan salah satu inovasi dalam alternatif untuk pembuatan beton yang ramah terhadap lingkungan dengan pemanfaatan penggunaan limbah industri pembakaran sisa batubara (PLTU) sebagai pengganti semen. Semen yang merupakan bahan pengikat (binder) utama pada pembuatan beton, namun sebagai penggantinya digunakan abu terbang (*fly ash*). *Fly ash* adalah larutan alkali yang digunakan sebagai pengaktif reaksi polimerisasi dari alumina (Al) dan silika (Si) yang terkandung didalam *fly ash*. Senyawa alkali aktivator yang digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na₂SiO₃), pada temperature tertentu untuk membentuk material campuran yang memiliki sifat seperti semen. Hal inilah membuat peneliti mencoba melakukan studi eksperimental dalam pembuatan beton geopolimer terhadap material pengganti semen tersebut. Pengganti semen tersebut dengan menggunakan *fly ash* (limbah industri) yang dihasilkan dari PLTU Teluk Sirih Kota Padang dengan menambahkan *sikaplastiment VZ* pada peningkatan kekuatan mutu beton. Pada penelitian ini bertujuan untuk dilakukan pengujian yang memperoleh hasil pengaruh penggunaan *sikaplastiment vz* terhadap nilai mutu kuat tekan beton *geopolymer* berbasis *fly ash* dengan larutan *alkali activator*. Pada hasil penelitian diperoleh nilai mutu kuat tekan beton geopolimer ini dengan konsentrasi NaOH 8M tanpa menggunakan *sikaplastiment VZ* sebesar 6,75 MPa, Sedangkan menggunakan *sikaplastiment VZ* dengan variasi dosis 0,2 % sebesar 5,46 MPa, variasi dosis 0,3% sebesar 5,07 MPa dan variasi 0,4% sebesar 4,94 MPa. Beton geopolimer yang tanpa menggunakan *sikaplastiment VZ* lebih tinggi kuat tekannya daripada menggunakan *sikaplastiment VZ*.

Kata kunci: Beton Geopolimer, *Fly Ash*, *Sikaplastiment VZ*, *Kuat Tekan*

ABSTRACT

Geopolymer concrete is one of the innovations in alternative environmentally conscious concrete production by using coal-burning industrial waste (PLTU) as a cement substitute. Cement is the main binder in making concrete, but fly ash is used as a substitute. Fly ash is an alkaline solution that is used as an activator for the polymerization reaction of alumina (Al) and silica (Si) contained in fly ash. The alkali activator compound used is sodium hydroxide (NaOH) and sodium silicate (Na₂SiO₃) at a certain temperature to form a mixture of materials that has cement-like properties. This is what made researchers try to carry out experimental studies on making geopolymer concrete using cement substitute materials. The cement replacement uses fly ash (industrial waste) produced from the Teluk Sirih PLTU, Padang City, by adding VZ plastic sika to increase the strength and quality of the concrete. This research aims to carry out tests to obtain the results of the effect of using Sika plastiment VZ on the compressive strength and quality values of fly ash-based geopolymer concrete with an alkaline activator solution. The research results showed that the compressive strength value of this geopolymer concrete with a concentration of 8M NaOH without using VZ plastiment was 6.75 MPa, whereas using VZ plastiment with a dose variation of 0.2% was 5.46 MPa, with a dose variation of 0.3% of 5.07 MPa and a variation of 0.4% of 4.94 MPa. Geopolymer concrete without using VZ plastiment sika has a higher compressive strength than using Sika Plastiment VZ.

Keywords: Geopolymer Concrete, Fly Ash, Sika Plastiment VZ

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan teknologi industri dalam pembangunan yang terjadi pada saat sekarang ini menyebabkan peningkatan pula pada pembangunan infrastruktur beton di dalam dunia konstruksi, hal ini dikarenakan material yang digunakan mudah didapatkan, harganya relatif murah serta teknologi pembuatannya relatif sederhana. Dengan adanya peningkatan beton tersebut, maka meningkat pula kebutuhan atas produksi semen. Sebagai mana kita ketahui beton merupakan material yang tersusun dari komposisi agregat kasar, agregat halus, air dan Semen Portland yang menjadi material paling utama. Dimana dalam proses produksinya Semen Portland terjadi pelepasan gas karbon dioksida (CO_2) yang merupakan kontributor utama pada emisi gas rumah kaca, produksi satu ton *Portland* mengakibatkan terjadinya pelepasan gas karbon dioksida (CO_2) sebesar satu ton ke atmosfer. Dengan adanya efek buruk tersebut dapat mengakibatkan pencemaran udara dan merusak lingkungan. Untuk mengurangi hal tersebut, maka diperlukan inovasi dalam penelitian menggunakan bahan alternatif lain yang bisa menggantikan semen dalam campuran beton yang ramah lingkungan. Diantaranya yaitu melalui pengembangan beton dengan menggunakan bahan pengikat mengandung *alumina-silikat polymer* atau yang dikenal dengan nama *geopolymer* yang merupakan sintesa dari material geologi yang terdapat pada alam atau material hasil produksi seperti abu terbang (*Fly Ash*) yang kaya akan kandungan *silica* dan *alumina* (davitovits, 1999). Unsur *silica* dan *alumina* ini direaksikan secara kimia dengan larutan alkalis (*Alkali Activator*), sehingga menghasilkan pasta geopolimer. Pasta geopolimer ini digabungkan dengan agregat akan menghasilkan beton geopolimer.

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa geopolimer memiliki sifat-sifat teknik yang baik, seperti kekuatan dan keawetan yang tinggi. geopolimer yang memanfaatkan limbah PLTU, dapat mengurangi emisi gas CO_2 yang dihasilkan oleh industri semen dan tentunya lebih ekonomis. Akan tetapi *fly ash* tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, untuk itu diperlukan alkali aktivator yaitu Sodium Hidroksida ($NaOH$) dan Sodium Silikat (Na_2SiO_3) untuk membantu proses polimerisasi. Salah satu penelitian (Harianto Hardjasaputra dan Esteriana Ekawati, 2018) mengenai Rancangan campuran beton geopolimer berbasis *fly ash* PLTU Suralaya – Banten Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur menjelaskan dengan hasil rancangan campuran

beton geopolimer tersebut dapat mencapai kuat tekan f_c' 50,27 MPa dan kuat lentur f_{cr} 7,66 MPa. Hasil menunjukkan bahwa beton geopolimer berbasis *fly ash* yang dihasilkan dapat digunakan sebagai beton mutu tinggi untuk beton structural. Beton geopolimer adalah beton yang menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen. Sehingga, karakteristik beton geopolimer (setting time & kuat tekan) sangat dipengaruhi oleh karakteristik *fly ash* (fisik, nilai pH, & kandungan kimia). Karena *fly ash* berasal dari pembakaran batu bara, maka perbedaan pada karakteristik *fly ash* ini disebabkan oleh asal batu bara, teknik pembakaran batu bara, kandungan mineral batu bara, metode pengumpulan batu bara, lama waktu penyimpanan batu bara di *stock pile*, dan periode pengambilan sampel batu bara (Ekaputri, Priadana, Susanto, & Junaedi, 2013). Hal lain yang turut mempengaruhi karakteristik *fly ash* adalah larutan alkali yang digunakan sebagai pengaktif reaksi polimerisasi dari alumina (Al) dan silika (Si) yang terkandung dalam *fly ash*. Senyawa alkali yang digunakan adalah natrium hidroksida ($NaOH$) dan sodium silikat (Na_2SiO_3).

Beton *geopolimer* adalah beton yang 100% tidak menggunakan semen. *Fly ash* adalah salah satu material yang sering digunakan untuk membuat binder dan ketersediannya banyak di seluruh dunia. *Fly Ash* merupakan salah satu material sisa dari hasil industri yang dapat digunakan untuk membuat bahan pengikat (*binders*) pada beton *geopolymer*. Hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang keberadaannya dapat mencemari lingkungan dan perlu dimanfaatkan yang dapat digunakan sebagai bahan tambahan untuk memperbaiki kinerja mutu beton.

Jika dilihat dari sifat mekaniknya, material beton memiliki kelemahan yaitu mempunyai kuat tarik yang relatif lebih rendah dari kuat tekannya. Dimana kuat tariknya hanya $\pm 10 - 15 \%$ terhadap kuat tekannya. Oleh sebab itu, penelitian ini akan melakukan pengujian laboratorium untuk memperoleh nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton *geopolymer* terhadap beton struktural. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini menggunakan material pembentukan beton *geopolymer* *Fly ash* dari PLTU Teluk Sirih Kota Padang, Cairan Alkalin yang digunakan yaitu kombinasi cairan sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida ($NaOH$) konsentrasi 8M dengan purity 98%, Agregat Halus dan Agregat Kasar yang dipakai berasal dari Batang Anai Padang Pariaman dan

Air yang digunakan adalah air yang berasal dari FTSP Universitas Bung Hatta.

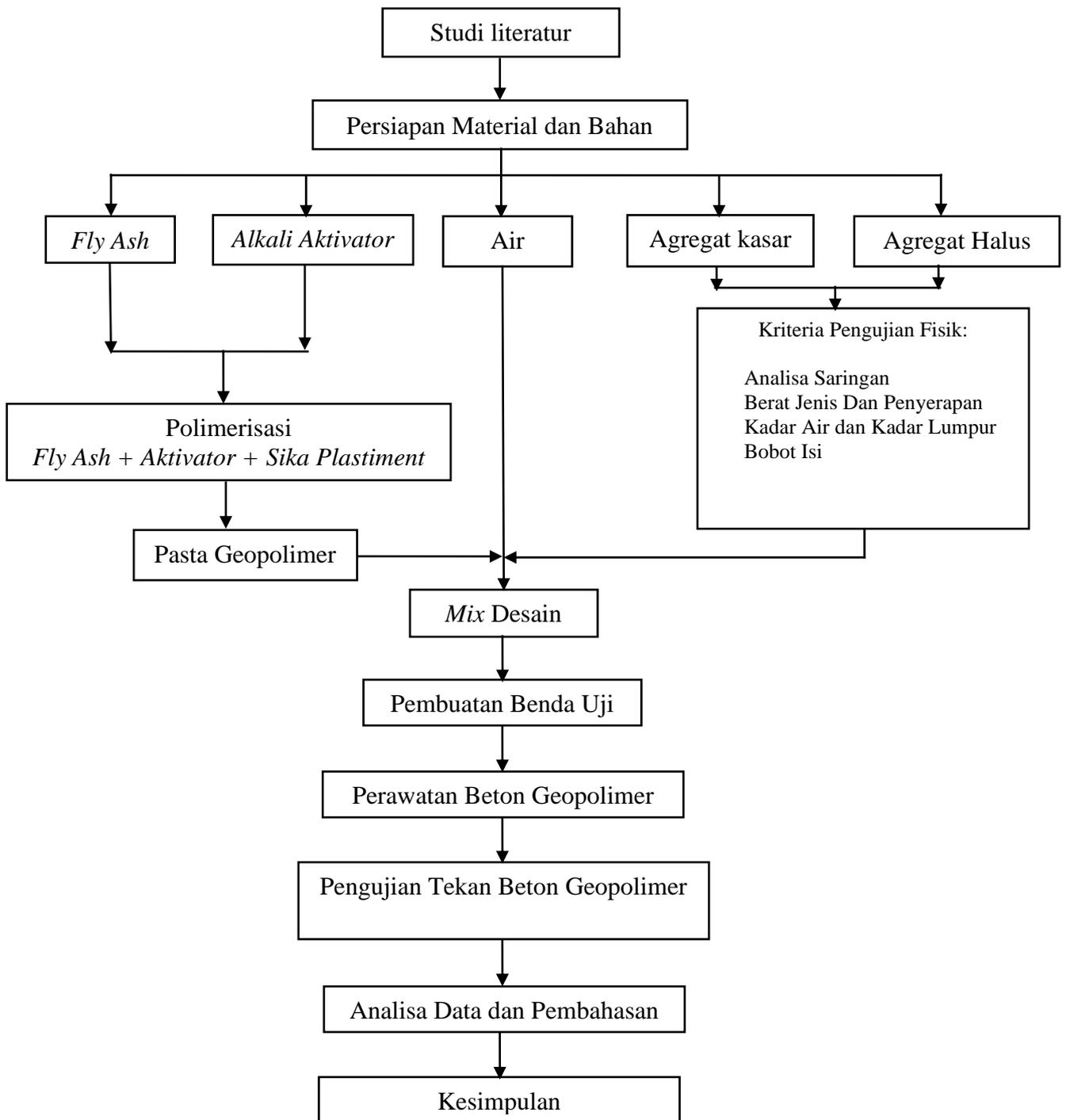
Penelitian sebelumnya pada tahun 2021 mengenai rancangan beton geopolimer berbasis *fly ash* Teluk Sirih ini, dalam pelaksanaannya *workability* tidak ada (nilai slumpnya = 0), dan salah satu usaha untuk meningkatkan kuat tekan karakteristik dari beton tersebut adalah penambahan campuran beton dengan bahan tambah untuk meningkatkan *workability* (kemudahan pengerjaan) dan menambah kuat tekan beton. Bahan kimia pembantu (*chemical admixtures*) dan bahan-bahan lain merupakan bahan tambahan (*additives*) pada beton. Bahan tambah tersebut digunakanlah *Sika Plastiment VZ* dalam campuran pembuatan beton geopolimer.

Pada penelitian ini, dilakukan pencampuran beton geopolimer dengan *fly ash* sebagai substitusi parsial semen dan bahan tambah *superplasticizer* dengan jenis *Sika Plastiment VZ*. Perumusan masalahnya adalah bagaimana Pengaruh Penggunaan *Sika Plastiment VZ* dalam Pembuatan Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash* PLTU Teluk Sirih terhadap kuat tekan beton geopolimer? Dan berapa besar nilai kuat tekan maksimum dengan bahan tambah *Sika Plastiment VZ* pada umur 7, 14,21 dan 28 hari.

METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari serangkaian pengujian material dasar penyusunan beton geopolimer yaitu pemeriksaan abu terbang (*Fly Ash*), perencanaan *mix design*, pencampuran beton, pembuatan benda uji, perawatan, dan pengujian sifat mekanik beton yang akan dilaksanakan di laboratorium Material dan Struktur Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Perencanaan Universitas Bung Hatta. *Fly Ash* yang digunakan merupakan produk sisa hasil pembakaran batu bara Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Teluk Sirih Kota Padang. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi senyawa yang terkandung di dalam *Fly Ash* tersebut. Perencanaan *Mix Design* dilakukan dengan *trial mix* karena sampai saat ini belum terdapat standar atau pedoman mengenai desain campuran beton geopolimer. Proses pencampuran dilakukan setelah melakukan proses desain. Setelah itu dilakukan pengujian benda uji beton geopolimer.

Adapun pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap seperti terlihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

Pengujian Material Beton Geopolimer

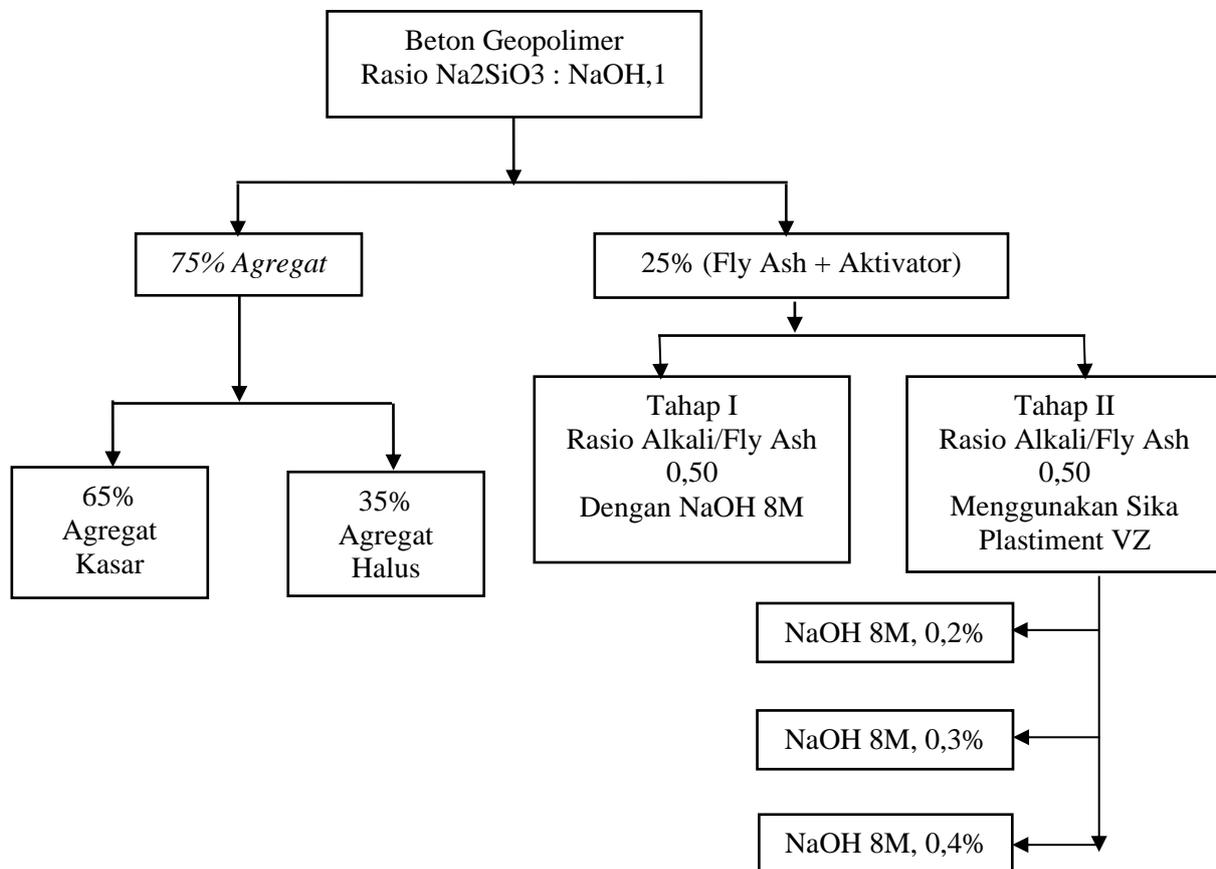
Pada dasarnya pengujian ini merupakan pengujian pendahuluan yang bertujuan untuk menguji sifat-sifat bahan penyusun beton serta menganalisis segala jenis bentuk material yang akan digunakan. Adapun material yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu terbang (*Fly Ash*), agregat halus, agregat kasar, dan air.

Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

Setelah mendapatkan hasil pengujian material dari laboratorium Universitas Bung Hatta, prosedur selanjutnya dilakukan yaitu menghitung seluruh Mix Design dari Beton

Geopolimer yang terdiri dari 75% agregat dan 25% pasta geopolimer (binder + aktivator + sika plastiment VZ). Rasio perbandingan berat Na_2SiO_3 dan NaOH adalah 1.

Penelitian ini dilakukan dengan 2 tahap variasi yaitu: Tahap I variasi Konsentrasi NaOH (8M) dan Tahap II variasi yaitu Konsentrasi NaOH (8M) dengan menambahkan Sika Plastiment VZ (0.2%, 0.3% dan 0.4%) untuk mengetahui bagaimana pengaruh perbedaan konsentrasi tersebut dalam campuran terhadap kuat tekan beton geopolimer. Rancangannya dapat dilihat pada Gambar 2 sedangkan tabel 1 dan tabel 2 menjelaskan tentang proporsi campuran beton geopolimer dan jumlah benda uji.



Gambar 2. Rancangan campuran beton geopolimer

Tabel 1. Proporsi campuran beton geopolimer tahap I dan II

Mix Design	Agregat		Fly ash	Na ₂ SiO ₃	NaOH	Sika Plastiment VZ
	Kasar	Halus				
Variasi Tanpa Sika Plastiment VZ						
8M	1925	873	401	267	134	-
Variasi Pakai Sika Plastiment VZ						
8M, 0.2%	1925	873	401	267	134	0.8
8M, 0.3%	1925	873	401	267	134	1,2
8M, 0.4%	1925	873	401	267	134	1,6

Tabel 2. Jumlah benda uji

Mix Design	Benda Uji			
	7	14	21	28
Variasi Tanpa Sika Plastiment VZ				
8M	5	5	5	5
Variasi Sika Plastiment VZ				
8M, 0.2%	5	5	5	5
8M, 0.3%	5	5	5	5
8M, 0.4%	5	5	5	5

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Beton

Slump

Slump pada dasarnya merupakan salah satu pengujian sederhana untuk mengetahui workability beton segar sebelum diterima dan di aplikasikan dalam pekerjaan pengecoran. Namun pada penelitian ini nilai slumpnya sama dengan 0 - 2, maka tidak dilakukan proses pengujian slump dikarenakan Pasta Beton Geopolimer memiliki Kadar Air yang rendah.

Hasil Pengujian Berat Beton Geopolimer

Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada sampel yang dibuat didapat berat beton dari campuran beton normal dan penambahan fly ash dan aditif superplasticizer pada umur rencana 7, 14, 21 dan 28 hari, berikut adalah hasil dari berat sampel.

Tabel 3. Pemeriksaan berat beton geopolimer tanpa sika plastiment VZ

Sampel	Berat Beton (gr)				
	Umur Rencana Beton (hari)				
	7	14	21	28	
NaOH 8 Molar	1	3172,1	3262,6	3330,3	3224,7
	2	3246,6	3316,4	3230,1	3316,3
	3	3318	3354,3	3388	3324,3
	4	3387,3	3410,3	3330,4	3397,1
	5	3340,1	3253,1	3301,8	3296,7
		3292,82	3319,34	3316,12	3311,82
Rata-rata			3310,025		

(Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Material dan Struktur Universitas Bung Hatta)

Tabel 4. Pemeriksaan berat beton geopolimer dengan sika plastiment VZ

Sampel		Berat Beton (gr)			
		Umur Rencana Beton			
		7	14	21	28
NaOH 8 M, 0,2%	1	3212,1	3361,4	3330,3	3424,5
	2	3205,0	3368,3	3390,1	3356,3
	3	3343,7	3354,7	3388	3384,3
	4	3310,3	3410,3	3430,4	3397,1
	5	3360,1	3253,1	3331,8	3396,7
			3287,64	3352,36	3378,32
Rata-rata		3353,925			
NaOH 8 M, 0,3%	1	3377,1	3340,2	3456	3468,6
	2	3412,0	3495,3	3479,5	3486,5
	3	3396,6	3387,4	3389,6	3404,2
	4	3347	3351,8	3335,5	3375,1
	5	3438	3449,1	3438,6	3434,2
			3394,14	3404,76	3419,84
Rata-rata		3413,115			
NaOH 8 M, 0,4%	1	3456,3	3452,1	3347,2	3445,3
	2	3462,2	3360,7	3356,5	3351,2
	3	3380,8	3470,1	3482,1	3468,2
	4	3392,3	3365,1	3371,5	3392,1
	5	3407,5	3348,2	3469,9	3460,1
			3419,82	3399,24	3405,44
Rata-rata		3411,97			

(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium Material dan Struktur Universitas Bung Hatta)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada laboratorium material dan struktur, maka penulis mengamati dan mendapatkan hasil bahwa dengan campuran beton geopolimer dengan menggunakan *Sika Plastiment VZ* mengakibatkan beton menjadi lebih berat dibandingkan tanpa *Sika Plastiment VZ*. Perbedaan berat pada beton geopolimer juga mempengaruhi terhadap nilai kuat tekan-nya, dimana semakin berat beton maka kekuatan tekan beton juga akan semakin meningkat. Seperti yang diketahui bahwa beton itu terdiri dari campuran *Fly Ash*, larutan NaOH dan Na₂SiO₃, *Sika Plastiment VZ*, Pasir dan *Split*, akan bereaksi dengan air yang akan menyebabkan campuran tersebut menyatu dan ditambahkan pengaruh dari larutan membuat kekuatan rekatan dan *Fly Ash* akan meningkat terhadap Agregat kasar dan agregat halus.

Hasil Pengujian Beton Geopolimer

Pengujian kuat tekan beton merupakan salah satu cara untuk menganalisa dan mengidentifikasi suatu

besaran mutu dari suatu konstruksi. Semakin besar tingkat kekuatan beton yang akan dicapai, maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Dalam pengujian kuat tekan beton, setiap masing-masing benda uji ditentukan dari tegangan yang dicapai pada umur maksimal 28 hari.

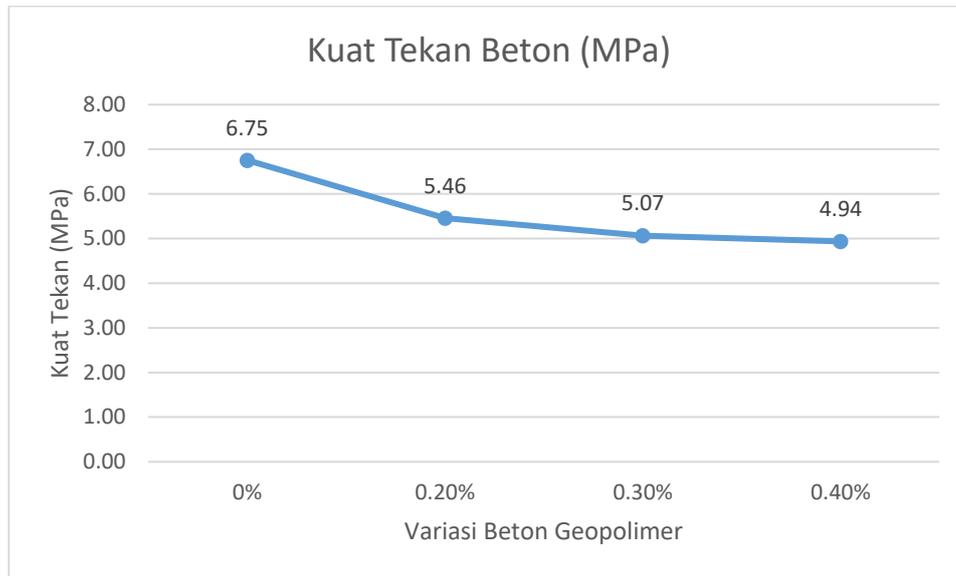
Setiap benda uji yang telah diuji pasti memiliki kekuatan tekan yang berbeda-beda dikarenakan beton merupakan material yang heterogen atau bisa dikatakan penggunaan material beton yang terdiri dari beberapa jenis material tetapi antara satu material dengan material penyusun beton lainnya sangat terikat agar menghasilkan suatu beton dengan kualitas yang baik. Dari segi kekuatan beton dapat melihat dari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekannya seperti proporsi campuran, bentuk dan ukuran agregat, serta kondisi lingkungan dan suhu di sekitar pada saat pengujian.

Untuk benda uji yang telah dibuat, maka tahap selanjutnya yaitu pengujian dengan mesin pengukur kuat tekan dengan pengukuran yang diamati yaitu

pergerakan jarum yang bergerak naik setelah beban pada mesin diberikan pada benda uji, dan jarum akan mencapai angka maksimal setelah beban yang diberikan pada benda uji telah mencapai batas maksimal. Untuk pengujian kuat tekan terhadap benda uji yang telah dibuat sebelumnya dapat dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Material dan Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Bung Hatta.

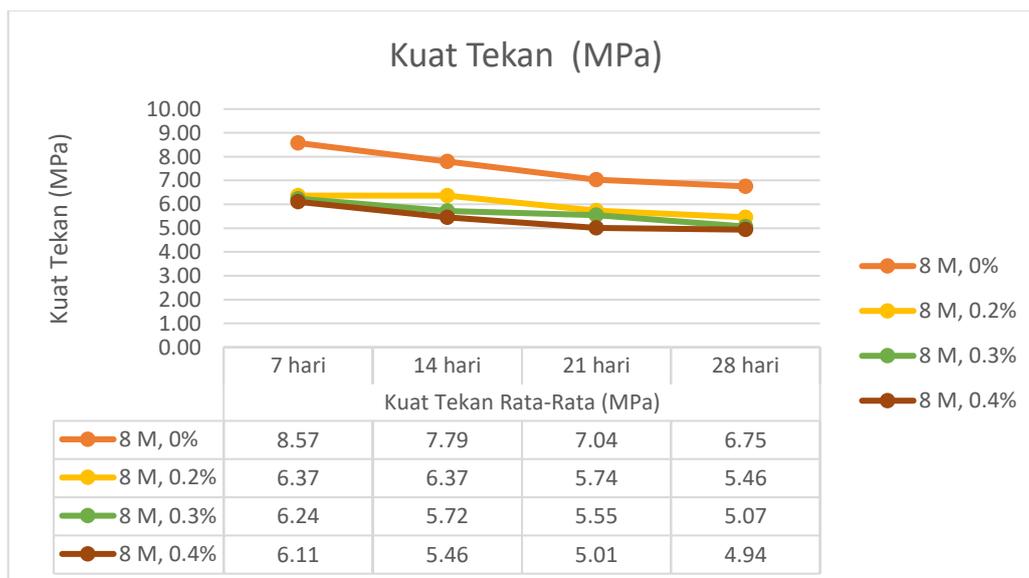
Perbandingan Hasil Kuat Tekan Beton Geopolimer

Berdasarkan hasil dari pengujian kuat tekan yang dilakukan di laboratorium maka peneliti membuat hasil analisa perbandingan terhadap kuat tekan beton dimana perbandingan yang peneliti lakukan adalah Perbandingan terhadap nilai kuat tekan setelah di konversikan keumur 28 hari adalah hasil dari perbandingan tersebut:



Gambar 3. Grafik kuat tekan beton geopolimer menggunakan variasi sika plastiment VZ

Dari grafik diatas dapat kita lihat penurunan kuat tekan beton geopolimer dari kadar NaOH 8 Molar terjadi penurunan kuat tekan.



Gambar 4. Grafik kuat tekan beton dari perbandingan umur beton geopolimer dengan sika plastiment vz

Grafik diatas menunjukkan hasil perolehan kuat tekan beton melalui pengujian berdasarkan umur beton geopolimer tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan di Laboratorium Material dan Beton Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Bung Hatta dapat disimpulkan, bahwa Beton Geopolimer dengan menggunakan *Sika Plastiment VZ* mengalami penurunan mutu kuat tekan-nya, Dimana beton geopolimer pemakaian larutan konsentrasi NaOH pada 8M variasi 0% (tanpa *Sika Plastiment VZ*) sebesar 6,75 Mpa dan pada NaOH pada 8M variasi dosis 0,2% *Sika Plastiment VZ* sebesar 5,46 Mpa, variasi dosis 0,3% sebesar 5,07 MPa dan variasi 0,4% sebesar 4,94 MPa. Tetapi dalam pelaksanaannya pengaruh penggunaan *sika plastiment* ini lebih mudah dilaksanakan karna memperoleh nilai slump sebesar 0-2cm. Beton geopolimer yang tanpa menggunakan *Sika Plastiment VZ* lebih tinggi kuat tekannya daripada menggunakan *Sika Plastiment VZ*. Jadi penggunaan jumlah pemakaian *Sika Plastiment VZ* tidak berpengaruh pada kuat tekan beton geopolimer.

Dengan adanya pengaruh penggunaan larutan NaOH Konsentrasi 8M terhadap variasi penggunaan dosis *sika plastiment VZ* pada rancangan beton geopolimer ini, maka kuat tekan beton geopolimer yang dihasilkan belum menunjukkan hasil yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C618., Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. ASTM International. 2017. West Conshohocken.
- D. A. Syaputra, F. R. Nugroho, H. Ay Lie, and P. Purwanto, "Studi Experimental Pengaruh Perbedaan Molaritas Aktivator Pada Perilaku Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash," *Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 7, no. 1, pp. 89-98, Feb. 2018.
- Davidovits. 2008. Analize of Geopolymer Conctere Properties, Construction and Building Material. 20:1568-1576.
- Ekaputri, J. J., Priadana, K. A., Susanto, T. E., & Junaedi, S. (2013). Physico-Chemical Characterization of Fly Ash. World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics, Jeju, Korea, 2988–2996.
- Hardjito, D. and Rangan, B. V. (2005). Development and properties of low-calcium Fly Ash-based geopolymer Concrete, Research Report GC 1Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth, Australia
- Hardjasaputra, Harianto; Ekawati, Esteriana. Penelitian Rancangan Campuran Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash Pltu Suralaya–Banten Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, [S.l.], p. 24-33, june 2018. ISSN 2541-5484.

- Kurda, Rawaz, Jose D. Silvestre, and Jorge de Brito. 2018. Toxicity and Environmental and Economic Performance of Fly Ash and Recycled Concrete Aggregates Use in Concrete. *Helion Elsevier* 4(4):1-45.
- Manuahe Riger, 2014. Kuat tekan beton geopolimer berbahan dasar abu terbang (*fly ash*). Skripsi Program S1 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Putra, K.P., Wallah, S.E., Dapas, S.O., Kuat Tarik belah Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*. 2014. Manado. Vol. 2 No.7 (330-336) ISSN 2337-6732.
- Rangan, B.V, Hardjito, D, Wallah, S.E, Sumajouw, D.M.J., Properties and Applications of Fly Ash-Based Concrete. *Materials Forum*. 2006. Australia. Vol.30 (170-175).
- Standar Nasional Indonesia, 2014. Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozolan Alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton (SNI 2460:2014). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Triwulan., Ekaputri, J.J., Adiningtyas, T., Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering Sebagai Pengisi. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil 'Torsi'*. 2007. Surabaya. No.3 ISSN 0853-6341.
- Wijaya, S. W. (2015). Faktor yang Mempengaruhi Setting Time Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash. Skripsi No: 01000202/MTS/2015. Universitas Kristen Petra, Surabaya.