

PENGARUH KONDISI MATERIAL DENGAN AKTIVATOR POTASSIUM PADA BETON GEOPOLYMER DARI LIMBAH B3 FLY ASH BATUBARA TERHADAP KUAT TEKAN

Denie Chandra¹⁾ dan Firdaus²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Universitas Indo Global Mandiri, Palembang.

²⁾Fakultas Teknik Sipil, Universitas Bina Darma, Palembang.

Email korespondensi : denie_chandra@uigm.ac.id

ABSTRAK

Pada umumnya beton dikenal material yang tersusun dari komposisi utama batuan (*agregat*) kasar, pasir, air dan semen. Karena persediaan semen yang semakin berkurang, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mencari material yang ramah lingkungan sebagai pengganti semen. Pada penelitian ini membahas tentang beton geopolymer berbasis abu terbang (*fly ash*) hasil pembakaran batu bara pada PLTU Bukit Asam Tanjung Enim Sumatera Selatan dengan aktivator potassium. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh aktivator pottasium dan kondisi material, terhadap kuat tekan rencana 30 Mpa pada beton geopolymer melalui pengujian di laboratorium Fakultas Teknik Sipil Universitas Bina Darma Palembang dengan membuat 18 benda uji silinder diameter 100 mm x 200 mm, dengan fly ash dan aktivator Pottasium. Pembuatan benda uji dilakukan kondisi material agregat dalam kondisi Saturated Surface Dry (SSD) dan kering oven pada suhu 60°C dengan waktu 1 jam, dengan perawatan benda silinder dengan suhu ruangan sampai waktu benda uji akan di uji. Produk penelitian yang dilakukan adalah grafik hubungan perilaku material kondisi SSD dan kering oven pada material beton gopolymer dalam menerima beban tekan dengan aktivator Pottasium. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa, dengan kondisi material kering oven dari fly ash dan aktivator pottasium, lebih kuat dalam menerima beban tekan dengan nilai kuat tekan f_c 30 Mpa.

Kata kunci : Aktivator, Beton geopolymer, Fly ash, Kuat Tekan, Kondisi material.

ABSTRACT

Generally, concrete is known as material that is composed by the main composition of coarse aggregate, fine aggregate, water and cement. Since the diminishing supply of cement, various studies have been conducted to find environmentally friendly materials as a substitute for cement. This study discusses fly ash-based geopolymer concrete, the result of coal burning at Bukit Asam Tanjung Enim PLTU, South Sumatra with potassium activator. This research was conducted to know the effect of pottasium activator and material conditions, to the compressive strength of the 30 Mpa plan in geopolymer concrete through testing in the laboratory of the Civil Engineering Faculty of Bina Darma University of Palembang by making 18 cylindrical test specimens with diameter 100 mm x 200 mm, with fly ash and Pottasium activators. Test specimens were made using aggregate material conditions in Saturated Surface Dry (SSD) and oven dry at 60° C with 1 hour, with the treatment of cylindrical objects with room temperature until the time the test specimens will be tested.

This research product is a behavioral graph relationship of SSD and oven dry conditions on gopolymer concrete material in receiving compressive load with the Pottasium activator.

From this graph it can be seen that, with the condition oven dry material the fly ash and activator pottasium, it is stronger in accepting compressive loads with a compressive strength value of f_c 30 Mpa.

Keywords: Activator, Compressive Strength, Fly ash, Geopolymer Concrete, Material Condition.

1. PENDAHULUAN

Pada umumnya beton dikenal sebagai material yang tersusun dari komposisi utama batuan (*agregat*), air, dan semen portland (*biasa disebut semen*). Beton sangat populer dan digunakan secara luas, karena bahan pembuatnya mudah didapat, harganya relatif murah dan teknologi pembuatannya relatif sederhana. Hal ini menjadikan beton sebagai material yang paling banyak digunakan manusia setelah air, menurut *Metha (1997)* konsumsi beton sekitar 8,8 juta ton setiap tahun, dan kebutuhan material ini akan terus meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan meningkatnya kebutuhan sarana dan prasarana dasar manusia.

Namun akhir – akhir ini beton tersebut makin sering mendapatkan kritik, khususnya dari kalangan yang peduli dengan kelestarian lingkungan hidup, karena emisi gas rumah kaca (karbon dioksida) yang dihasilkan pada proses produksi semen. Untuk produksi satu ton semen, gas rumah kaca yang dihasilkan sebesar lebih kurang satu ton juga. Secara keseluruhan, produksi semen dunia memberikan kontribusi 1,6 juta ton karbon dioksida atau sekitar 7% dari pelepasan CO₂ ke atmosfer (*Metha, 2001; Malhotra, 1999; 2002*).

Oleh karena itu telah dilakukan penelitian oleh peneliti sebelumnya untuk mendapatkan beton yang ramah lingkungan, dan salah satunya adalah mengganti Semen Portland dengan berbagai material hasil produksi sampingan (*by-product material*) dari berbagai industri, yang antara lain menggunakan fly ash atau abu terbang (*Davidovits, 1994*). Abu terbang (*fly ash*) merupakan salah satu material hasil sampingan (*by-product*) industri yang dapat digunakan untuk membuat bahan pengikat (*binders*) pada beton geopolymer. Fly ash hasil dari pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (*PLTU*) ini banyak digunakan sebagai bahan tambahan untuk memperbaiki kinerja beton sebagaimana yang telah dilakukan penelitian oleh peneliti sebelumnya. Karena abu terbang dapat meningkatkan kinerja beton, material ini sudah dikenal secara luas sebagai bahan yang digunakan tersendiri sebagaimana diuraikan pada ASTM C 595, kelas F atau kelas C, atau dicampur dengan semen (*ASTM C 595 atau C 1157*).

Bermula dari penelitian geopolymer pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits pada tahun 1978, geopolymer merupakan bahan pengikat yang berasal dari bahan alami yang mengalami reaksi polymerisasi dalam proses pengerasan yang memiliki kandungan oksida dan alumina tinggi. Kebutuhan akan tingginya kandungan oksida silika dan alumina dikarenakan merupakan bahan utama yang akan mengalami proses polymerisasi yang menghasilkan binder atau pengikat dalam beton geopolymer.

Seiring waktu penelitian beton geopolymer terus berkembang seperti yang dilakukan oleh Mariani, Sampebulu dan Ahmad pada tahun 2009, tentang pengaruh penambahan admixture terhadap karakteristik self compacting concrete. Pada penelitian ini ingin diketahui pengaruh penambahan admixture kimia superplasticizer Mighty 150 S dan retarder Conplast Dessue Possolit terhadap karakteristik SCC. Superplasticizer diberikan dalam 3 variasi kadar (1,5%, 2,0%, 2,5%) dengan mengurangi kadar air campuran. Metode pengujian SCC dengan Slump-Cone Test pada kondisi segar dan tes kuat tekan pada umur 3, 7, dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan keadaan self-compactibility SCC tercapai pada semua kadar superplasticizer yang diberikan. Tingkat kecacakan aliran (*workabilitas*) SCC meningkat sesuai penambahan kadar superplasticizer, dan sebaliknya, kekuatan tekan SCC menurun sesuai penambahan kadar superplasticizer. Kondisi optimal SCC tercapai pada kadar 1,5% superplasticizer.

Penelitian M.I Abdul Aleem dan P.D. Arumailraj pada tahun 2012, melakukan desain mix pada beton geopolymer dengan perbandingan (1:1,5:3,3), yang terdiri dari proporsi fly ash 1, pasir 1,5 dan Agregat 3,3. Dengan rasio molaritas 10 pada campuran

aktivator (NaOH dan Na_2SiO_3). Diambil 0,35 dari berat fly ash, perawatan beton dilakukan dengan cara disteam dengan suhu 60°C selama 24 jam. Dari penelitian tersebut didapat kuat tekan pada umur beton 28 hari mencapai 53,33 Mpa.

Penelitian mortar beton geopolymer dengan tingkat kehalusan fly ash tipe F dari PLTU Tanjung Enim berdasarkan zonasi jatuhnya fly ash, dengan cara menerbangkan fly ash menggunakan alat modifikasi (Firdaus, 2012;2015). Pada penelitian tersebut menggunakan campuran aktivator (NaOH dan Na_2SiO_3) diambil 0,25 – 0,45 dari berat fly ash. Kuat tekan mortar geopolymer pada umur 28 hari mencapai 28,5 Mpa pada Zona 5 dengan rasio aktivator sebesar 0,45.

2. STUDI LITERATUR

2.1 Pengertian Beton

Beton didefinisikan sebagai bahan bangunan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen portland dan air tanpa tambahan zat aditif (PBI, 1971). Tetapi definisi dari beton kini sudah semakin luas, dimana beton adalah bahan yang terbuat dari berbagai macam tipe semen, agregat dan juga bahan pozzolan (bahan mineral yang terdiri dari mineral silika dan alumina yang sebagian besar bersifat reaktif, yang apabila bersenyawa dengan kapur dan air membentuk massa yang padat, keras dan tidak larut dalam air), abu terbang, terak dapur tinggi, sulfur, serat dan lain-lain (Neville dan Brooks, 1987).

2.2 Beton Geopolymer

Beton geopolymer adalah sebuah senyawa silikat alumino anorganik yang disintesis dari bahan – bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi (*risk husk ash*) dan lain – lain. Yang banyak mengandung silikon dan aluminium (Davodits, 1997). Geopolymer merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi (Davodits, 1994). Reaksi Al dan Si dengan Alkaline akan menghasilkan AlO_4 dan SiO_4 .

2.3 Sejarah Beton Geopolymer

Melihat pada bangunan – bangunan kuno dari zaman Romawi serta piramid – piramid megah di Mesir, yang sudah berdiri ratusan atau bahkan ribuan tahun. Seringkali didapati dalam upaya restorasi bangunan kuno tersebut, beton modern yang digunakan sudah rusak beberapa tahun kemudian, sedangkan beton ‘kuno-nya’ masih utuh. Adalah Professor Joseph Davidovits dari Perancis yang pertama kali mengemukakan ide bahwa sesungguhnya piramid tidaklah dibangun menggunakan batu-batu yang dipahat-seperti halnya candi Borobudur yang kemudian disusun menjadi bangunan. Teori Davidovits menyatakan bahwa batuan-batuan penyusun piramid tersebut di cor di tempat, seperti halnya pembuatan beton yang kita kenal sekarang ini. ada beberapa hal yang mendasari teorinya tersebut. Piramida raksasa di Mesir tersusun dari lebih kurang dua setengah juta balok batuan, rata-rata memiliki berat dua setengah ton, bahkan ada yang seberat tiga puluh ton. Selain itu, Davidovits juga menemukan bahwa struktur kimia dan karakteristik struktur mikro batuan penyusun piramid amat serupa dengan beton geopolymer yang dia hasilkan di laboratoriumnya, dan sejauh ini tidak didapati batuan alamiah di sekitar lokasi piramid yang memiliki ciri-ciri susunan kimia serta unsur mikro yang serupa. Sebaliknya,

bahan-bahan dasar yang kemungkinan besar dipakai untuk proses pembuatan beton pada bangunan piramid tersebut tersedia dengan melimpah di Mesir dan sekitarnya, diantaranya di sepanjang tepian sungai Nil. Dari pemeriksaan terhadap berat jenis batuan, juga didapati bahwa berat jenis bagian dasar batuan lebih besar dibanding bagian atas, suatu karakteristik yang umum didapati pada beton yang di cor, dimana pada proses pengecoran partikel yang lebih berat cenderung mengendap dibagian dasar. Dengan pengecoran ditempat, proses pembangunan piramid menjadi jauh lebih sederhana dibanding dengan mengangkut bongkah-bongkah batuan raksasa dari tempat yang jauh, menyusunnya menjadi sebuah bangunan yang tidak hanya besar tetapi juga sangat tinggi. Dengan anaknya, Frederik, yang ahli dalam bidang literatur kuno terkait dengan mineralogi, geologi, dan teknik konstruksi, Joseph Davidovits menuliskan hasil riset dan temuan-temuannya dalam sebuah buku berjudul 'The Pyramids an enigma solved', yang akan segera dipublikasikan. Sebuah berita singkat dimajalah Australian Concrete Construction edisi bulan Agustus 2002, mengutip laporan tentang Edward Zeller, direktur laboratorium fisika radiasi University of Kansas, yang mempublikasikan hasil penelitiannya tentang bongkahan batu yang diambil dari sebuah piramid di Mesir, Edward Zeller menemukan banyak rongga-rongga udara berbentuk oval didalam batuan tersebut seperti yang banyak dijumpai di dalam beton, dan setelah menganalisa komposisi batuan tersebut tibalah dia pada kesimpulan bahwa batuan tersebut adalah beton.

2.4 Bahan – bahan dalam Pembuatan Beton Geopolymer

2.4.1 Solid Material

Solid material adalah salah satu komponen sistem anorganik geopolymer. Solid material untuk geopolymer dapat berupa material alami seperti tanah liat, adapun alternatif lain yang dapat digunakan adalah material yang berasal dari produksi sampingan seperti fly ash batubara, silica fume dan rice-husk ash.

2.4.1.1 Fly Ash Batubara

Menurut SNI 03-6414-2002, mendefinisikan fly ash batubara adalah limbah hasil pembakaran batubara pada tungku Pembangkit Listrik Tenaga Uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozzolanik. Pada intinya fly ash batubara mengandung unsur kimia antara lain Silika (SiO_2), Alumina (Al_2O_3), Ferro Oksida (Fe_2O_3) dan Kalsium Oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu Magnesium Oksida (MgO), Titanium Oksida (TiO_2), Alkalin (Na_2O dan K_2O), Sulfur Trioksida (SO_3), Pospor Oksida (P_2O_5) dan Karbon (*Anonim,2008*). Sebenarnya fly ash tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, Oksida Silika yang terkandung didalam fly ash batubara akan bereaksi secara kimia dengan Kalsium Hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan akan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat (*Djiwantoro,2001*). Menurut PP 18 tahun 1999 juncto PP 85 tahun 1999 fly ash digolongkan sebagai limbah B-3 (*Bahan Berbahaya dan Beracun*) dengan kode limbah D 223 dengan pencemar utama adalah logam berat, yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan (*BAPEDAL,1999*).

2.4.1.1.1 Karakteristik Fisik dan Kimia Fly Ash

Menurut ACI Committee 226, di jelaskan bahwa fly ash mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 milimikron), 5 – 27 % dengan specific gravity antara 2,15 – 2,6 dan berwarna abu-abu kehitaman. Fly ash batubara mengandung Silika dan Alumina sekitar 80 % dengan sebagian Silika berbentuk amorf. Sifat – sifat fisik fly ash batubara antara lain densitasnya $2,23 \text{ gr/cm}^3$, kadar air sekitar 4% dan komposisi mineral yang dominan adalah kuarsa dan mullite. Selain itu, fly ash batubara mengandung $\text{SiO}_2 = 58,75\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 25,82\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5,30\%$, $\text{CaO} = 4,66\%$, Alkali = 1,36%, $\text{MgO} = 3,30\%$ dan bahan lainnya = 0,81% (Misbachul Munir, 2008). Beberapa logam berat terkandung dalam fly ash batubara seperti tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), Kadmium (Cd), chrom (Cr).

Tabel 1. Kandungan Logam Berat pada fly ash Batubara

No	Jenis Batubara	Kandungan Logam Berat				
		Cu	Pb	Cd	Cr	Zn
1	Abu Batubara Bukit Asam	298	19	391	11	224

Sumber : Pusitbang Teknologi Mineral Batubara, Departemen ESDM, 2003

Tabel 2. Komposisi fly ash Batubara

Senyawa	Jenis Batubara		
	Bituminous	Sub-Bituminous	Lignite
	(%)	(%)	(%)
SiO_2	20 – 60	40 – 60	5 – 45
Al_2O_3	5 – 35	20 – 30	10 – 25
Fe_2O_3	10 – 40	4 – 10	4 – 15
CaO	1 – 12	5 – 30	14 – 40
MgO	0 – 5	1 – 6	3 – 10
K_2O	0 – 3	0 – 4	0 – 4
Na_2O	0 – 4	0 – 2	0 – 6
SO_3	0 – 4	0 – 2	0 – 10
LOI	0 – 15	0 – 3	0 – 5

Sumber : Bruce Ramme, 2004

Sifat kimia dari fly ash batubara dipengaruhi oleh jenis batu bara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan subbituminous menghasilkan fly ash dengan Kalsium dan Magnesium Oksida lebih banyak dari pada bituminous. Namun , memiliki kandungan Silika, Alumina dan Karbon yang lebih sedikit dari pada bituminous. Kandungan Karbon dalam fly ash diukur dengan menggunakan Loss Oflgnition Method (LOI), yaitu suatu keadaan hilangnya potensi nyala dari fly ash batubara. Fly ash batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel fly ash hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan fly ash berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m^3 dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara Blaine) antara 170 sampai 1000 m^2/kg , sedangkan ukuran partikel rata – rata fly ash batubara jenis sub-bituminous 0,01 mm – 0,015 mm, luas permukaannya 1 – 2 m^2/kg , massa jenis (spesifiv gravity) 2,2 – 2,4 dan bentuk partikelmostly spherical, yaitu sebagian besar berbentuk seperti bola, sehingga menghasilkan kelecakan (workability) yang lebih baik (Nugroho. P dan Antoni, 2007).

Tabel 3. Komposisi fly ash Batubara PLTU PT. Bukit Asam (Persero.Tbk)

Parameter Analisa	Satuan	Hasil Analisis
Silika (SiO ₂)	% wt	50,00 – 70,00
Iron (Fe ₂ O ₃)	% wt	3,00 – 7,00
Aluminium Oksida (Al ₂ O ₃)	% wt	10,00 – 33,00
Calsium Oksida (CaO)	% wt	1,00 – 3,00
Magnesium Oksida (MgO)	% wt	0,50 – 1,50
Natrium Oksida (Na ₂ O)	% wt	0,60 – 3,50
Kalium Oksida (K ₂ O)	% wt	0,20 – 0,70

Sumber : Data Analisis Abu Batubara PLTU PT.Bukit Asam (Persero.Tbk)

Tabel 4. Kandungan senyawa fly ash Batubara PLTU PT. Bukit Asam (Persero.Tbk).

Oxides	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
(%)	43,61	4,59	3,63	20,75	1,00	0,96	2,23	0,51	0,68	0,20

Sumber : Pemanfaatan limbah flyash dalam rekayasa mortar dan beton geopolimer berdasarkan karakteristik kehalusan flyash dan jenis aktivator (Firdaus,2005).

2.4.1.1.2 Klasifikasi Fly ash

Klasifikasi fly ash pada umumnya dilakukan dengan memperhatikan kadar senyawa kimiawi ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$), kadar CaO (*hightcalcium dan low calcium*), dan kadar karbon (*hight carbon dan low carbon*). Menurut ASTM C 618 – 96, klasifikasi fly ash yaitu :

a. Kelas C

Fly ash kelas C disebut juga *hight – calcium fly ash*. Ini dikarenakan mempunyai sifat *pozzolanic* juga mempunyai sifat *self – cementing* (kemampuan untuk mengeras dan menambah *strength* apabila bereaksi dengan air dalam waktu sekitar 45 menit), dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur (*Sri Prabandiyani Retno Wardani, 2008*). Kadar ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$) > 50%, kadar Cao > 10%, kadar karbon (C) sekitar 2%. Fly ash yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bituminous (*batubara muda*) (*Wardani,2008*).

b. Kelas F

Fly ash kelas F merupakan fly ash yang diproduksi dari pembakaran batubara anthracite atau bituminous, mempunyai sifat *pozzolanic* dan untuk mendapatkan sifat *cementious* harus diberi penambahan *quicklime, hydrated lime, atau semen*. Fly ash kelas F kadar kapurnya rendah (CaO < 10%), ASTM 20%, CSA 8% . Kadar ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$) > 70%, kadar CaO < 10%, kadar karbon (C) berkisar antara 5% - 10%, fly ash kelas F disebut juga *low calcium fly ash*, yang tidak mempunyai sifat *cementious* dan hanya bersifat *pozzolanic*.

c. Kelas N

Fly ash kelas N adalah *pozzolan alam* atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, abu vulkanik, dimana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat *pozzolan* yang baik. Unsur utama dalam proses *geopolymerisasi* adalah Si dan Al. Oleh karena itu fly ash yang bisa digunakan sebagai *geopolymer* adalah jenis fly ash yang memiliki kandungan CaO rendah dan kandungan Si dan Al lebih dari 50%.

Dari ketiga kelas fly ash diatas yang memenuhi pernyataan tersebut adalah fly ash kelas C dan kelas F.

Beton geopolymer dibuat dengan menggunakan bahan dasar abu terbang rendah kalsium (*low-calcium fly ash*) yang menurut kategori ASTM berada pada kelas F. Palomo *et al.* (2004) meneliti karakteristik mekanik geopolymer yang terbuat dari bahan dasar abu terbang. Dengan menggunakan benda uji berbentuk bantalan kereta api yang walaupun jumlahnya sangat terbatas, hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik mekanik sangat bergantung pada metode perawatan beton segar (temperatur dan lama perawatan). Penelitian lainnya yang terkait dengan aplikasi struktur beton geopolymer dilakukan oleh Brooke *et al.* (2005). Dilaporkan bahwa kinerja sambungan kolom-balok beton geopolymer mirip dengan elemen struktur yang sama tapi terbuat dari beton yang menggunakan Semen Portland sebagai bahan pengikatnya.

2.4.2 Air

Air merupakan bahan dasar penyusun mortar yang paling penting dan paling murah. Air berfungsi sebagai bahan pengikat dan bahan pelumas diantara butir-butir agregat mempermudah proses pencampuran dan pengerjaan adukan (*Workability*). Porsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan pada beton, tetapi kelemasan atau daya kerjanya akan berkurang. Secara umum air yang dapat digunakan dalam campuran adalah air yang memenuhi persyaratan supaya dapat digunakan sebagai bahan pembuatan beton seperti yang telah disebutkan dalam SNI-03-2487-2002.

2.4.3 Alkali Aktivator

Sodium silikat dan natrium hidroksida digunakan sebagai alkalin aktivator (Hardjito Djuwantoro, dkk, 2004). Kegunaan dari sodium silikat adalah mempercepat proses polymerisasi, sedangkan natrium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Si dan Al yang terkandung dalam fly ash sehingga menghasilkan ikatan yang kuat.

2.4.3.1 Sodium Silikat

Sodium silikat merupakan bahan yang paling aman dan sering digunakan dalam industri kimia. Karena proses produksinya lebih sederhana maka sejak tahun 1818, sodium silikat berkembang dengan cepat.

Sodium silikat terdapat dalam dua bentuk, yaitu berupa padat dan larutan. Untuk campuran beton lebih banyak digunakan berbentuk larutan. Sodium silikat biasa juga dikenal dengan nama water glass, pada mulanya digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan sabun, tetapi dalam perkembangannya sodium silikat dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, campuran cat serta berbagai keperluan industri seperti kertas, serat dan tekstil. Sodium silikat mengandung rantai polymer anion terdiri dari sudut bersama (SiO_4) tetrahedral, dan diskrite (SiO_3^{2-}) ion. Selain bentuk anhidrat, ada hidrat dengan rumus $Na_2SiO_3 \cdot nH_2O$ (dimana $n = 5, 6, 8, 9$) yang berisi diskrit. Ion sekitar tetrahedral $SiO_2(OH)$ 2- dengan air hidrasi. Sebagai contoh, natrium silikat yang tersedia secara komersial pentahidrat $Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$ dirumuskan sebagai $Na_2SiO_2(OH)_2 \cdot 4H_2O$ dan Na_2SiO_3 nonahydrate, $9H_2O$ dirumuskan sebagai $Na_2SiO_2(OH)_2 \cdot 8H_2O$.

Dalam industri, berbagai kelas sodium silikat yang ditandai dengan SiO_2 mereka : rasio berat Na_2O (rasio berat dapat dikonversi ke molar rasio dengan perkalian 1,032), yang dapat bervariasi antara 2:1 dan 3,75 kelas 1 dengan rasio ini dibawah 2,85:1 yaitu disebut 'basa'. Mereka dengan SiO_2 tinggi:rasio Na_2O digambarkan sebagai 'netral'.

2.4.3.2 Sodium Hidroksida (NaOH)

Sodium hidroksida dikenal juga dengan nama soda api (*caustic soda*), atau natrium hydroxide adalah sejenis basa logam kaustik. Sodium hidroksida terbentuk dari oksida basa natrium oksida dilarutkan dalam air. Natrium hydroxide membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air.

Sodium hidroksida (*NaOH*) murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pelet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50%, yang biasa disebut larutan Sorensen. Ia bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbon dioksida dari udara bebas (*Richardson IG*). Larutan sodium hidroksida akan meninggalkan noda kuning pada kain dan kertas (*Richardson IG*). Dalam geopolimer sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Si dan Al yang terkandung dalam fly ash sehingga dapat menghasilkan polymer yang kuat.

2.4.4 Agregat

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya. Pada beton biasanya terdapat 60% - 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar. Agregat pada beton terdiri dari:

2.4.4.1 Agregat Kasar

Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya melebihi $\frac{1}{4}$ inch (6 mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan sel semen.

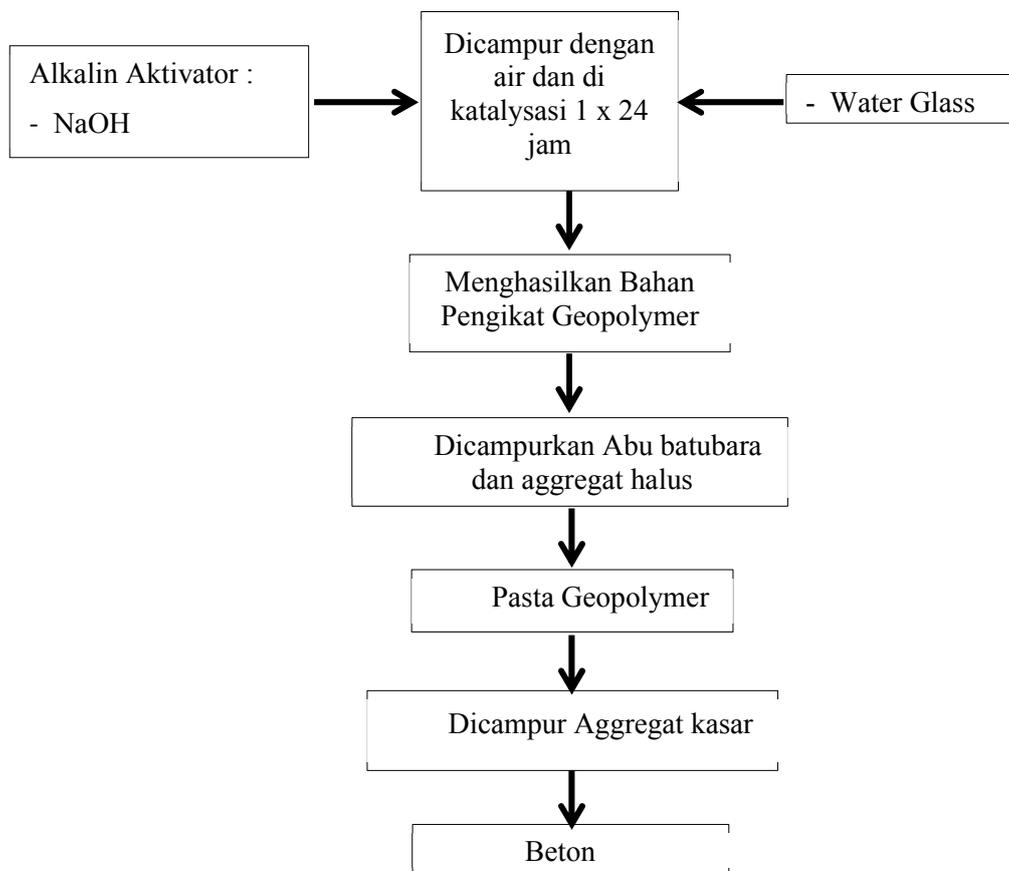
2.4.4.2 Agregat Halus

Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran no.4 dan no.100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan no.100 atau bahan-bahan lain yang dapat merusak beton. Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik, yang sesuai dengan standar analisis saringan dari ASTM (*American Society of Testing and Materials*). Untuk beton penahan radiasi, serbuk baja halus dan serbuk besi pecah digunakan sebagai agregat halus.

2.4.5 Bahan Tambahan (*Superplasticizer*)

Superplasticizer adalah kimia tambahan yang digunakan sebagai salah satu cara meningkatkan kemudahan pelaksanaan pekerjaan pengecoran (*workability*), beton dengan menggunakan air sedikit mungkin. Penggunaan superplasticizer mulai dikembangkan di Jepang dan di Jerman pada awal tahun 1960-an.

Dalam penelitian ini *Superplasticizer* yang digunakan adalah *Sika viscocrete- 3115 ID*, yaitu bahan tambah berupa cairan yang ditambahkan pada campuran beton dalam jumlah tertentu untuk mengubah beberapa sifat beton. Dosis yang disarankan adalah 1% - 2% dari berat binder (*fly ash*). Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kuat tekan beton.



Gambar 1. Proses terbentuknya Beton Geolpoymer

2.5 Sifat Mekanik Beton

Setelah beton mengeras, beton sebagai material struktur memiliki beberapa sifat mekanik yang dapat dijadikan dasar untuk menentukan mutu atau kualitas beton tersebut, antara lain :

2.5.1 Kuat tekan Beton

Kuat Tekan Beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari beton yang diharapkan hasilnya sesuai dengan yang direncanakan. Pengujian nilai kuat tekan benda uji silinder

berpedoman pada standar ASTM C 39-09 ‘Standar Test Method for Compressive strenght of Cynlidrical Concrete Sprciemens.

$$f_c' = \frac{P}{A} \tag{1}$$

dimana:

- f_c' = kuat tekan beton pada umur tertentu (MPa)
- P = beban tekan maksimum (N)
- A = luas penampang benda uji (mm²)

2.6 Parameter dan Variabel Penelitian

Adapun Parameter yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah pengaruh dari kondisi material pembentuk beton geopolymer dan variabel yang diteliti dalam penelitian adalah pengaruh kondisi SSD dan kering oven dari material, alkalin aktivator potassium dengan fly ash yang natural, persentase penggunaan aktivator dalam campuran di lakukan sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya dalam ukuran molaritas dan umur benda uji pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari. Masing masing variabel disusun pada tabel 5 di bawah ini :

Table 5. Variabel silinder beton geopolymer

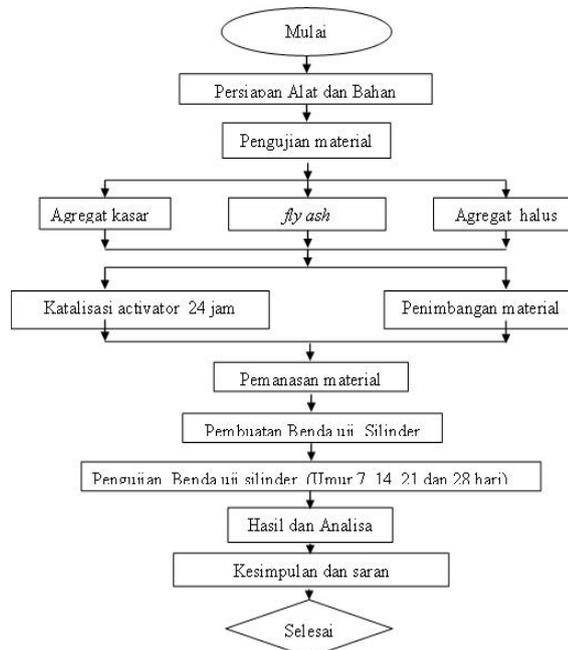
Jenis Aktivator	Persentase Aktivator	Kondisi Material	Umur uji Kuat tekan (hari)				Jumlah Eksperimen	Total (sampel)
			7	14	21	28		
Potassium	0,057	SSD	7	14	21	28	12	24
Potassium	0,057	Kering Oven	7	14	21	28	12	

3. METODOLOGI

Penelitian ini direncanakan di Laboratotium Beton Universitas Bina Darma yang terletak di Jl. Jenderal A. Yani, Silaberanti Kota Palembang Sumatera Selatan.

3.1 Metodologi

Rencana kegiatan penyusunan penelitian ini dapat digambarkan ke dalam bagian alir seperti gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Metodologi Penelitian

3.2 Pembuatan benda uji

3.2.1 Perencanaan campuran beton

Perencanaan campuran beton geopolimer yang dipakai pada pembuatan benda uji pada penelitian ini merujuk pada penelitian sebelumnya, campuran yang optimum pada pembuatan beton geopolimer (M.I.A Aleem dan P.D. Arumailraj,2012). dengan desain mix formula fly ash : pasir : agregat (1:1,5:3,3). yang dibedakan pada berat dari aktivatornya berdasarkan desain mix formula dari Firdaus,2017. Dapat dilihat pada tabel 3.2 di bawah ini :

Tabel 6. Desain Mix Formula Beton Geopolymer (Firdaus, 2017)

Material	Kg/m ³
Fly ash (Class f)	408,00
Fine Agregat (pasir tanjung raja)	612,00
Coarse Agregat (20 mm in size)	1346,40
Sodium Silicate Solution	103,00
Sodium Hidroxide Solution (NaOH)	42,10

Merujuk pada penelitian di atas maka pada penelitian ini dilakukan pembuatan benda uji silinder, sampai didapatkan nilai kuat tekan rencana dengan mutu beton $f_c'30$ Mpa.

3.2.2 Pengecoran

Sebelum melakukan pengecoran, Bahan campuran beton geopolymer disiapkan dan ditimbang sesuai dengan desain mix formula adapun tahap pencampuran sebagai berikut :

- lakukan terlebih dahulu katalisasi dari bahan sodium hidroksida/kalium hidroksida dengan air selama waktu 24 jam.
- Campurkan sodium silikat dengan hasil katalis di atas dengan cara diaduk sampai rata menggunakan sedok talam.
- Panaskan terlebih dahulu agregat kasar, agregat halus, fly ash sesuai zona yang akan dibuat dan hasil campuran sodium silikat dengan sodium hidroksida/kalium hidroksida pada suhu 40°C selama 2 jam.
- Campurkan fly ash dengan agregat halus sampai rata, setelah rata masukan cairan katalyst tadi dan di mixer dengan alat hand mixer kecepatan 300 -700 Rpm. Sampai campuran mortar mencapai kelecakan yang diinginkan.
- Campurkan agregat kasar dengan campuran mortar di atas dan di aduk kembali dengan hand mixer sampai merata, masukan superplastizer dan aduk beberapa saat.
- Masukan campuran diatas ke dalam cetakan silinder beton geopolymer dan dipadatkan dengan cara di tusuk-tusuk dengan besi tumpul dan digetarkan dengan vibrator table.
- Setelah selesai pemadatan di atas benda uji didiamkan selama 24 jam, baru diangkat dari meja vibrator ke tempat yang sudah level dan disiapkan.

3.2.3 Perawatan

Perawatan benda uji silinder beton geopolymer dilakukan pada suhu ruangan setelah berumur 7, 14, 21 dan 28 hari, baru dikeluarkan dari cetakan silinder, dan dilakukan pengujian kuat tekan beton geopolymer. Pengujian dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Bina Darma Palembang.

3.3 Instrumentasi

Instrument (*alat*) yang digunakan pada pengujian silinder beton geopolymer dalam penelitian ini adalah *UTM (Universal Testing Machine)*, merupakan alat pemberi beban tekan.

3.4 Pengujian Benda Uji

3.4.1 Kekuatan Tekan

Benda uji yang digunakan adalah silinder beton berukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm dan silinder diameter 75 mm dan tinggi 150 mm. Alat untuk pengujian tekan yang digunakan adalah *Universal Testing Machine*. Prosedur pengujian menggunakan standar ASTM C39-86 (*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*). Dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bina Darma Palembang. Beban yang bekerja akan terdistribusi secara merata melalui titik berat penampang sepanjang sumbu memanjang dengan tegangan sebesar :

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material Pembentuk Campuran Beton Geopolymer

Pengujian kualitas dan perilaku material dalam campuran beton geopolymer ini terdiri atas *fly ash natural*, agregat kasar dan agregat halus. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini dari limbah hasil pembakaran batubara PLTU Bukit Asam Tanjung Enim Sumatera Selatan.

4.1.1 Pengujian fly ash

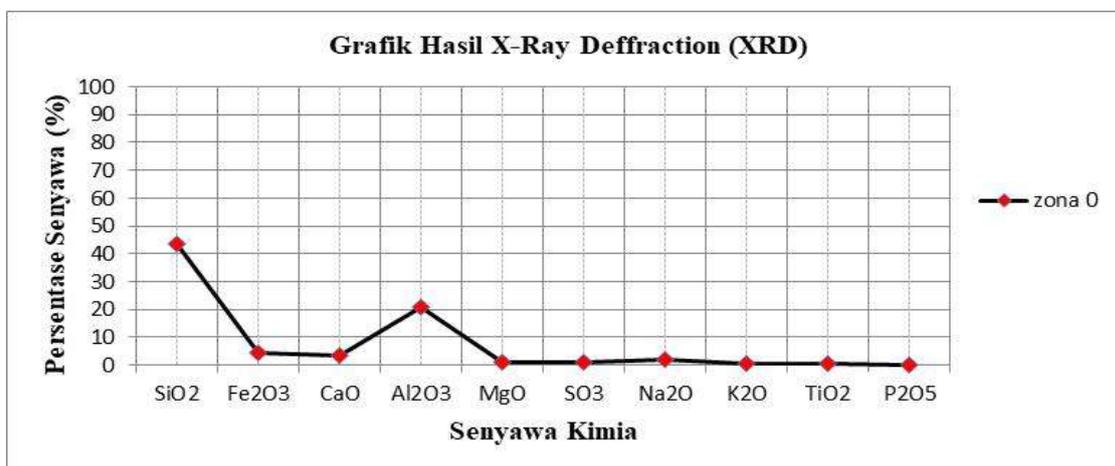
Pengujian material *fly ash* batubara dilaksanakan di laboratorium Balai Pengujian keramik Bandung, pemeriksaan *fly ash* ini dengan metode *X-Ray Fluorescence (XRF)* yang berguna untuk mengetahui kandungan mineral yang ada pada *fly ash* dan pengujian *X-Ray Deffraction (XRD)* untuk mengetahui unsur mineral alumina dan *relative* komposisi material *fly ash* yang digunakan.

Adapun hasil pengujian *X-Ray Deffraction (XRD)* *fly ash* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 7. Hasil Pengujian X-Ray Deffraction (XRD)

Oxides	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
Natural (%)	43,61	4,59	3,63	20,75	1,00	0,96	2,01	0,51	0,68	0,18

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Balai Keramik Bandung



Gambar 3 Grafik Analisa Kandungan mineral fly ash

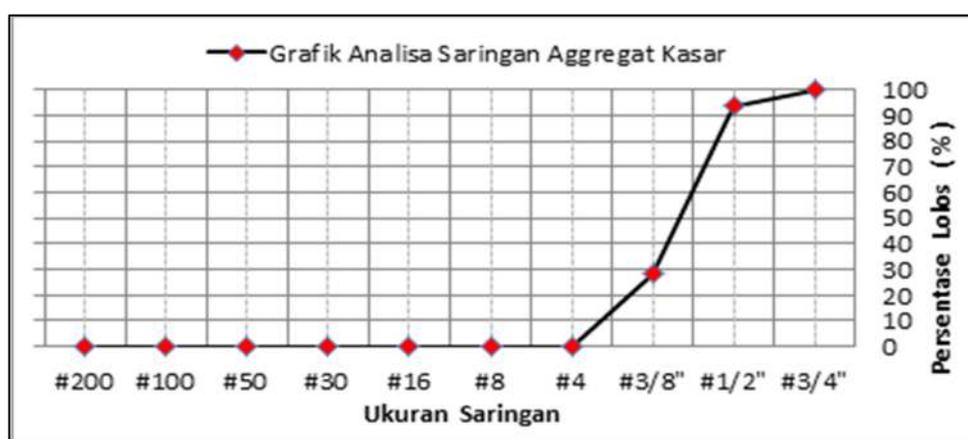
4.1.2 Pengujian Agregat Kasar

Pada penelitian ini pengujian yang dilakukan pada agregat kasar dapat di lihat pada tabel 4.2 di bawah ini :

- a. Pengujian analisa saringan agregat kasar batu 1-1 Ex. Lahat Sumatera Selatan. (SNI-ASTM C136:2012)

Tabel 8. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar

Nomor Saringan	Berat Tertahan Individu (gram)	Berat Tertahan Kumulatif (gram)	Tertahan (%)	Lolos (%)
3/4"	0	0	0	100.00
1/2"	81	81	6.27	93.73
3/8"	846	927	71.75	28.25
No. 4	365	1292	100.00	0.00
No. 8	-	-	-	-
No. 16	-	-	-	-
No. 30	-	-	-	-
No. 50	-	-	-	-
No. 100	-	-	-	-
No. 200	-	-	-	-



Gambar 4. Grafik analisa saringan agregat kasar

b. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar (AASHTO T.85-74)

Pengujian ini untuk mengetahui berat jenis agregat kasar yang akan digunakan, hasil pengujian dapat di lihat pada tabel 4.3 di bawah ini :

Tabel 9. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

Kode	A	B	Satuan	
Berat Benda uji Kering Oven	Bk	2500	2500	Gram
Berat Benda uji Kering Permukaan Jenuh (SSD)	Bj	2553	2552	Gram
Berat Benda Uji didalam Air	Ba	1565	1564	Gram

Kode		A	B	Rata-rata	Satuan
Berat Jenis (Bulk)	$\frac{Bk}{(Bj - Ba)}$	2.530	2.530	2.530	-
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)	$\frac{Bj}{(Bj - Ba)}$	2.584	2.583	2.584	-
Berat Jenis Semu (Apparent)	$\frac{Bk}{(Bk - Ba)}$	2.674	2.671	2.672	-
Penyerapan (Absorption)	$\frac{Bj - Ba}{Bk} \times 100\%$	2.120	2.080	2.100	%

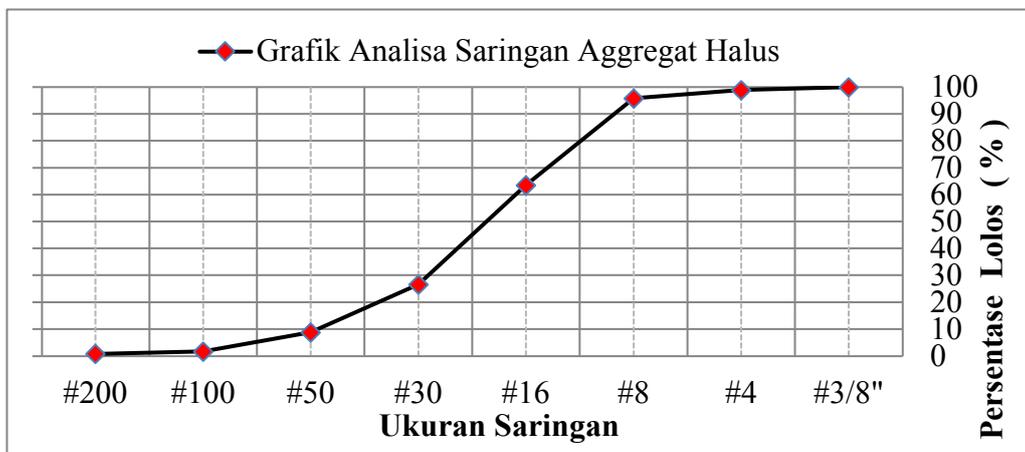
Dari tabel di atas untuk nilai berat jenis (*Bulk*) rata-rata adalah sebesar 2.530, berat jenis kering permukaan (*SSD*) 2.584, berat jenis semu rata-rata 2.672 dengan penyerapan air agregat sebesar 2.100%, untuk itu memenuhi spesifikasi.

4.1.3 Pengujian Agregat Halus

- a. Pengujian analisa saringan agregat halus (SNI-ASTM C136:2012), bertujuan untuk memperoleh besaran atau jumlah persentase butiran agregat halus (*pasir*), hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 10 dan gambar 5 di bawah ini :

Tabel 10. Hasil Analisa Saringan Agregat Halus

Nomor Saringan	Berat Tertahan Individu (gram)	Berat Tertahan Kumulatif (gram)	Tertahan (%)	Lolos (%)
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
No. 4	11.59	11.59	1.05	98.95
No. 8	33.80	45.39	4.11	95.98
No. 16	357.00	402.39	36.46	63.54
No. 30	408.00	810.39	73.43	26.57
No. 50	196.50	1006.89	91.24	8.76
No. 100	78.60	1085.49	98.36	1.64
No. 200	9.10	1094.59	99.18	0.82



Gambar 5. Hasil analisa saringan agregat halus (*pasir*)

- b. Pengujian berat jenis agregat halus
 Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama pada suhu, sedangkan penyerapan adalah kemampuan agregat untuk menyerap air dalam kondisi kering sampai dengan kondisi jenuh permukaan (*SSD*). Hasil pengujian berat jenis dapat dilihat pada tabel 11 di bawah ini :

Tabel 11. Pemeriksaan berat jenis agregat halus (AASHTO T.84-74)

Kode	A	B	Satuan
Berat Benda uji Permukaan Jenuh (SSD) 500	500	500	Gram
Berat Benda uji Kering Oven Bk	487.4	487.5	Gram
Berat Piknometer + air (25°C) B	689.5	583.5	Gram
Berat Piknometer + air (25°C) + Benda Uji Bt	1565	1564	Gram

Kode	A	B	Rata-rata	Satuan
Berat Jenis (Bulk) $\frac{Bk}{(B + 500 - Bt)}$	2.499	2.500	2.500	-
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD) $\frac{500}{(B + 500 - Bt)}$	2.564	2.564	2.564	-
Berat Jenis Semu (Apparent) $\frac{Bk}{(B + Bk - Bt)}$	2.672	2.671	2.672	-
Penyerapan (Absorption) $\frac{500 - Bk \times 100\%}{Bk}$	2.585	2.564	2.575	%

Dari hasil penelitian di atas dapat dijelaskan bahwa berat jenis didapat sebesar 2.500 dan memenuhi spesifikasi minimal, nilai berat jenis kering permukaan jenuh sebesar 2.564 dan berat jenis semu 2.672, sedangkan nilai penyerapan sebesar 2.575%, hasil ini memenuhi spesifikasi.

4.2 Kuat Tekan Beton Geopolymer

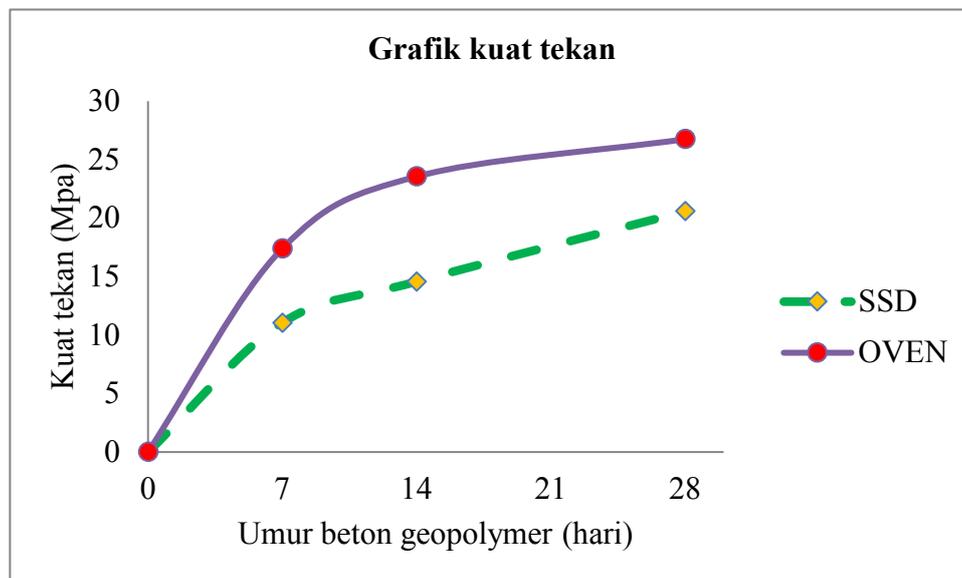
Data hasil uji kuat tekan di dapat dari rata-rata pengujian silinder untuk beton geopolymer berbagai umur (7 hari, 14 hari dan 28 hari). Hasil kuat tekan beton geopolymer berdasarkan desain campuran dengan kondisi material agregat kasar dan halus dalam kondisi SSD dan kondisi kering oven dapat dilihat pada tabel. 12 dan tabel. 13 di bawah ini :

Tabel 12. Kuat tekan beton geopolymer (agregat kondisi SSD)

No	Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Luas Penampang (mm ²)	Berat (Kg)	Volume (m ³)	Berat Isi (Kg/m ³)	Hasil Uji Tekan		
							Umur 7 Hari	Umur 14 Hari	Umur 28 Hari
							Mpa	Mpa	Mpa
1	P-Z0-M10-AC.05	I	7850	3.670	1.570	2.301	10.70	13.38	20.38
		II		3.570			10.96	15.67	19.75
		III		3.600			11.46	14.65	21.66

Tabel 13. Kuat tekan beton geopolymer (agregat kondisi kering oven)

No	Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Luas Penampang (mm ²)	Berat (Kg)	Volume (m ³)	Berat Isi (Kg/m ³)	Hasil Uji Tekan		
							Umur 7 Hari	Umur 14 Hari	Umur 28 Hari
							Mpa	Mpa	Mpa
1	P-Z0-M10-AC.05	I	7850	3.170	1.570	2.055	17.21	23.30	26.48
		II		3.283			17.66	23.92	27.17
		III		3.224			17.32	23.46	26.65



Gambar 6. Hasil pengujian kuat tekan beton geopolymer

5. KESIMPULAN

Dari pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan untuk kuat tekan beton geopolymer dengan material kondisi kering oven lebih tinggi dibandingkan kondisi material SSD pada beton konvensional, dan mutu beton f_c 30 Mpa belum terpenuhi oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mendapatkan mutu beton geopolymer dengan nilai f_c 30 Mpa.

REFERENSI

- Aleem, M.I.A, Arumairaj, P.D, (2012), *Optimum Mix for Geopolymer Concrete*, Indian Journal Of Science and Technology, Volume 5, Number 3 Davidovits, J (1988) “ *Soft Mineralurgy and Geopolymer* “ in *Proceeding of geopolymer 88 International Conference*, the Universite de technologie, Compiègne, France.
- Davidovits, J (1994) “ *Hight Alkali Cement for 21st Century Concretes*, in *Concrete Technology, Past, Present and Future.*” In *Proceedings of V. Mohan malhotra Symposium*, 1994. Editor; P.Kumar Metha, ACI SP-144.PP.383-397

- Davidovits,J.(2008), *Geopolymer Chemistry and Application Geopolymer Institute*
- Firdaus dan Yunus Ishak,(2015) *Pemanfatan limbah flyash dalam rekayasa mortar dan beton geopolimer berdasarkan kehalusan flyash dan jenis activator.*
- Malhora D.R. *Strenght of Materials*, 2001, Prentice Hall Inc.
- Metha, P.K. (2001) “ *Reducing the Enviromental impact of concrete*” ACI Concrete International, Vol 19;PP. 27-33.
- Sumajouw,D. M. J. Hardjito, D. Wallah, S.E. & Rangan, B.V., 2005c. ' *Fly ash – Based Geopolymer Concrete Beams* ' in proceeding of ASEC 2005. *Australian Structural Engineering Conference*, Newcastle, Australia.