

Studi Karakteristik Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash

Hanafi Ashad*

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Sulawesi Selatan
Email : hanafi.ashad@umi.ac.id

Muhammad Rezky Saputra

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Sulawesi Selatan
Email : Rezkysaputra9999@gmail.com

Toni Utina

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Sulawesi Selatan
Email : t_utina@yahoo.com

Abstrak

Pemanfaatan beton pada umumnya digunakan untuk membuat perkerasan jalan, struktur bangunan, pondasi, jalan, jembatan penyeberangan, struktur parkir, dasar untuk pagar/gerbang, dan semen dalam bata atau tembok blok sehingga menyebabkan permintaan penggunaan material semen semakin tinggi, para ahli material konstruksi bangunan juga melakukan berbagai penelitian mengenai beton. Salah satu penelitian yang dilakukan adalah tentang beton geopolimer. Beton geopolimer adalah suatu jenis beton geosintetik yang dibuat tanpa menggunakan sedikitpun semen portland sebagai bahan pengikat, dan sebagai bahan pengganti semen portland digunakan fly ash dicampur dengan alkali aktivator. Perencanaan campuran beton geopolimer menggunakan metode perbandingan berat pada setiap komposisi penyusun beton dengan menggunakan faktor w/fa sebesar 0,25. Benda uji berbentuk silinder dengan perbandingan alkali aktivator $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH}$ (Natrium silikat dan natrium hidroksida) sebesar 1/2, 2/2, 3/2, 4/2 dan 5/2. Benda uji silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm dilakukan pengujian kuat tekan pada umur 14 hari dan 28 hari untuk melihat perkembangan serta perbandingan pada setiap variasi campuran alkali aktivator untuk hasil nilai kuat tekan beton. Hasil kuat tekan pada beton geopolimer dengan perbandingan komposisi alkali aktivator 1/2 dan 2/2 tidak dapat digunakan sebagai beton struktural dikarenakan hasil uji kuat tekan beton relatif rendah yaitu 6,997 MPa dan 15,691 MPa. Sedangkan beton geopolimer dengan perbandingan komposisi alkali aktivator 3/2 hingga 5/2 dapat dijadikan sebagai alternatif pengganti beton konvensional dengan hasil kuat tekan beton sebesar 30,746 MPa dan 23,537 MPa.

Kata kunci : Beton geopolimer, alkali aktivator, fly ash, kuat tekan

Abstract

The use of concrete is generally used to make road pavement, building structures, foundations, roads, pedestrian bridges, parking structures, bases for fences/gates, and cement in brick or block walls, causing the demand for cement material to be increasingly high, building construction materials experts also conducted various research on concrete. One of the research carried out was on Geopolymer Concrete. Geopolymer concrete is a type of geosynthetic concrete that is made without using any portland cement as a binding agent, and as a substitute for portland cement, fly ash mixed with an alkali activator is used. Geopolymer concrete mix planning uses the weight comparison method for each concrete composition using a w/fa factor of 0.25. The test object is cylindrical in shape with an activator alkali ratio of $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH}$ (sodium silicate and sodium hydroxide) of 1/2, 2/2, 3/2, 4/2 and 5/2. Cylindrical specimens with a diameter of 10 cm and a height of 20 cm were tested for compressive strength at the age of 14 days and 28 days to see the development and comparison of each variation of the alkali activator mixture for the results of the concrete compressive strength values. The compressive strength results of geopolymer concrete with an alkali activator composition ratio of 1/2 and 2/2 cannot be used as structural concrete because the concrete compressive strength test results are relatively low, namely 6.997 MPa and 15.691 MPa. Meanwhile, geopolymer concrete with an alkali activator composition ratio of 3/2 to 5/2 can be used as an alternative to conventional concrete with concrete compressive strength results of 30,746 MPa and 23,537 MPa.

Keywords: Geopolymer concrete, alkali activator, fly ash, compressive strength

*Penulis Korespondensi: hanafi.ashad@umi.ac.id

1. Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Perkembangan ide serta segala inovasi dalam dunia teknik sipil makin hari semakin berkembang. Salah satunya ialah penelitian di bidang rekayasa beton. Beton terus menerus dikembangkan karena merupakan bahan yang sangat banyak digunakan dalam suatu konstruksi, baik sebagai bahan struktural atau non-struktural. Seperti yang diketahui bersama bahwa dalam proses pembuatan beton membutuhkan agregat halus, agregat kasar, semen, dan air serta bahan tambah lain jika diperlukan.

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, air atau agregat agregat lain yang dicampur jadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu seperti kemudahan pengerjaan (*workability*).

Pemanfaatan beton pada umumnya digunakan untuk membuat perkerasan jalan, struktur bangunan, pondasi, jalan, jembatan penyeberangan, struktur parkir, dasar untuk pagar/gerbang, dan semen dalam bata atau tembok blok sehingga menyebabkan permintaan penggunaan material semen semakin tinggi, para ahli material konstruksi bangunan juga melakukan berbagai penelitian mengenai beton. Salah satu penelitian yang dilakukan adalah tentang beton geopolimer. Beton geopolimer adalah suatu jenis beton geosintetik yang dibuat tanpa menggunakan sedikitpun semen portland sebagai bahan pengikat, dan sebagai bahan pengganti semen portland digunakan fly ash dicampur dengan alkali aktivator.

Davidovits (1999) menyatakan beton geopolimer itu sendiri terbentuk dari suatu reaksi kimia bukan dari suatu reaksi hidrasi seperti pada beton biasa. Alkali aktifator berfungsi sebagai bahan pengikat agregat karena fly ash tidak memiliki kemampuan untuk mengikat sebagaimana layaknya semen. Beton geopolimer dengan bahan dasar fly ash atau abu terbang merupakan beton yang juga dikenal sebagai beton yang ramah lingkungan.

Fly ash adalah suatu material hasil sampingan (*by-product*) industri, dalam hal ini dihasilkan dari pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Fly ash atau abu terbang juga dikategorikan sebagai bahan pozzolan yaitu bahan *siliceous* atau *aluminous* yang dimana didalamnya hanya terdapat sedikit sekali bahkan tidak sama sekali terdapat bahan *cementious* seperti yang ada pada semen portland. Bahan ini dapat bereaksi secara kimia dengan cairan alkali pada temperatur tertentu untuk membentuk bahan campuran yang memiliki sifat sama seperti semen.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Beton geopolimer

Beton geopolimer adalah beton yang sama sekali tidak menggunakan semen portland dalam produksinya.

Pada proses pembuatan beton geopolimer menggunakan cairan alkali agar bereaksi dengan silika (Si) dan aluminium (Al) yang terdapat pada mineral alam seperti kaolin, tanah liat, dan lain-lain. Limbah seperti fly ash, terak, abu sekam padi, dan lain-lain dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen pada beton geopolimer. Cairan alkali adalah logam alkali larut yang didapat dari pencampuran natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) atau kalium silikat (K_2SiO_3).

Menurut Ilmiah R (2017) geopolimer merupakan produk beton yang reaksi pengikatannya adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi karena reaksi aluminium dan silika dengan alkali akan menghasilkan AlO_4 dan SiO_4 . Proses polimerisasi menghasilkan suatu rantai dalam bentuk stuktur yang disebut *polysialate* (Si-O-Al-O-Si). Air dilepaskan selama reaksi kimia terjadi dalam pembentukan senyawa geopolimer. Air ini dikeluarkan selama masa perawatan (*curing*) dan pengeringan.

Menurut Lloyd dan Rangan (2010) pengikat (binder) adalah perbedaan utama antara beton geopolimer dan beton konvensional dari pembuatan beton tersebut. Beton konvensional mengandalkan semen portland dan air untuk mengikat agregat kasar dan agregat halus pada pembuatan beton tersebut. Pada beton geopolimer, silika dan alumina pada fly ash bereaksi dengan cairan alkali untuk membuat pasta geopolimer yang mengikat agregat kasar, agregat halus dan bahan-bahan lain untuk membuat beton geopolimer. Binder akan mengalami proses polimerisasi dan akan mengeras. Salah satu perbedaan dari beton geopolimer dan beton konvensional adalah cara perawatan dari beton tersebut.

Perawatan beton geopolimer dilakukan adalah perawatan (*curing*) pada suhu ruang atau pada oven. Suhu dan waktu perawatan merupakan faktor penting yang dapat berpengaruh terhadap kuat tekan beton geopolimer.

2.2 Material penyusun beton polimer

Komposisi utama beton geopolimer adalah agregat, aktivator, dan prekursor. Total agregat halus dan agregat kasar pada pembuatan beton geopolimer adalah 70-75%, sedangkan untuk total aktivator dan prekursor 20- 35%. Aktivator pada beton geopolimer berupa natrium hidroksida (NaOH) yang berguna untuk mereaksikan binder dengan senyawa yang terdapat dalam fly ash dan natrium silikat (Na_2SiO_3) yang berguna untuk mempercepat proses polimerisasi, sedangkan prekursornya adalah fly ash. Adapun material penyusun beton polimer yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar
2. Agregat halus
3. Fly Ash
4. Alkali Aktivator
5. Aquades

Penggunaan natrium hidroksida (NaOH) sebagai aktivator dipilih karena merupakan oksidasi alkali

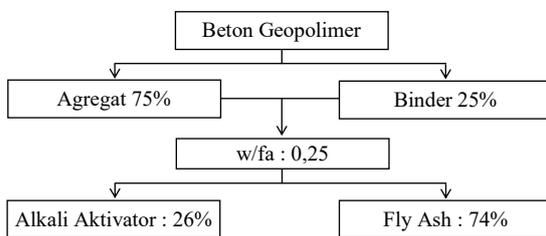
reaktif bersifat basa kuat yang dapat mereaksikan unsur-unsur Aluminium (Al) dan Silika (Si) pada fly ash sehingga menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

Hardjito D., dan Rangan B.V. (2005) mengemukakan bahwa penggunaan Natrium Hidroksida (NaOH) sebagai aktivator dapat memberikan reaksi yang lebih baik dibandingkan dengan Kalium Hidroksida (KOH).

3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini berbasis laboratorium pada Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muslim Indonesia. Tahap awal penelitian berupa pemeriksaan karakteristik bahan meliputi pemeriksaan atau pengujian terhadap bahan agregat, abu terbang (fly ash) dan bahan penyusun lainnya. Setelah hasil pemeriksaan bahan dinyatakan memenuhi persyaratan, maka dilanjutkan dengan membuat *job mix design*.

Pada penelitian ini peneliti menggunakan abu Terbang (*Fly ash*) dan alkali aktivator sebagai material pembentuk beton geopolimer. Pengujian terhadap benda uji beton adalah uji kuat tekan dengan benda uji berbentuk silinder berukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Pengujian dilakukan pada umur 14 hari dan 28 hari. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis secara statistik dengan program *Microsoft Excel*. Hasil analisis menjadi bahan masukan untuk menarik kesimpulan tseberapa besar kuat tekan beton geopolimer yang didapatkan pada penelitian ini.



Gambar 1. Skenario struktur bahan

3.1 Komposisi campuran beton

Untuk dapat melaksanakan pembuatan benda uji beton geopolimer diperlukan perhitungan mengenai jumlah masing-masing bahan yang digunakan berdasarkan perbandingan massa. Mengadopsi dari penelitian sebelumnya, maka penelitian ini menggunakan perbandingan antara agregat dengan mortar sebesar 75%:25% dengan struktur komposisi bahan seperti pada **Gambar 1**.

Skenario bahan aktivator yang digunakan dalam penelitian seperti ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Adapun komposisi bahan beton geopolimer yang digunakan dalam penelitian adalah seperti ditunjukkan pada **Tabel 2**.

3.2 Pembuatan benda uji

Sebelum melaksanakan pembuatan benda uji, dilakukan pengujian karakteristik material penyusun beton yaitu uji

Tabel 1. Skenario bahan aktivator

Na ₂ SiO ₃	NaOH	Kode
1	2	BG-1/2
2	2	BG-2/2
3	2	BG-3/2
4	2	BG-4/2
5	2	BG-5/2

Tabel 2. Komposisi bahan per m³ silinder beton

Na ₂ SiO ₃ (kg)	NaOH (kg)	AH (kg)	AK (kg)	FA (kg)	Air (ltr)
0,094	0,188	0,748	1,389	1,883	0,471
0,188	0,188	0,748	1,389	1,883	0,471
0,282	0,188	0,748	1,389	1,883	0,471
0,376	0,188	0,748	1,389	1,883	0,471
0,470	0,188	0,748	1,389	1,883	0,471

Keterangan :

AH : Agregat halus

AK : Agregat kasar

FA : Abu terbang (Fly Ash)

gradasi (analisis saringan), uji berat jenis, uji resapan air, uji berat volume, uji kelembaban, uji kadar lumpur, uji kandungan bahan organik, dan uji kekerasan (*abrasi Los Angeles*).

Dikarenakan belum terdapat panduan khusus mix design untuk beton geopolimer pada SNI, maka perencanaan campuran beton mengadopsi dari penelitian sebelumnya yaitu menggunakan perbandingan massa pada material, dengan tujuan mendapatkan komposisi yang menghasilkan kualitas kuat tekan beton maksimum. Komposisi *mix design* lebih disederhanakan dengan menentukan variabel tetap (terikat) dan variabel bebas, yaitu dengan uraian sebagai berikut :

1. Variabel bebas adalah Na₂SiO₃
2. Variabel terikat adalah agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air (sebagai bahan pelarut), abu terbang (fly ash), larutan Natrium Hidroksida (NaOH).

Adapun langkah-langkah pembuatan benda uji beton geopolimer adalah sebagai berikut:

1. Membuat larutan NaOH 10M dengan mencampurkan NaOH dalam bentuk flake, dengan aquades atau air. Oleh karena proses ini menimbulkan panas yang cukup tinggi, sehingga proses pembuatan larutan NaOH dilakukan 1 (satu) hari sebelum proses pembuatan beton agar temperature larutan dalam keadaan normal atau sesuai dengan suhu ruangan.
2. Membuat larutan alkali aktivator dengan mencampurkan larutan NaOH dengan Na₂SiO₃.
3. Menyiapkan bahan-bahan lain yaitu agregat halus, agregat kasar, dan fly ash.
4. Menyiapkan seluruh peralatan yang diperlukan.
5. Memasukkan agregat kasar ke dalam mixer concrete.
6. Memasukkan fly ash ke dalam mixer concrete.
7. Memasukkan larutan alkali aktivator, lalu diaduk hingga merata.

8. Memasukkan agregat halus, lalu diaduk hingga campuran menjadi merata atau homogen.
9. Melakukan sifat-sifat uji beton segar.
10. Mencetak benda uji sesuai kebutuhan.
11. Mendinginkan benda uji beton geopolimer beserta cetakan hingga 24 jam.
12. Membuka cetakan, lalu dilakukan perawatan (curing) hingga sesuai umur uji beton yang direncanakan.
13. Melakukan pengujian kuat tekan beton geopolimer sesuai umur uji yang direncanakan.

Tabel 3. Hasil uji karakteristik agregat kasar

No.	Jenis Uji	Hasil	Spesifikasi
1	Modulus kehalusan	6,57	6,0-7,1
2	Kadar air	1,73%	-
3	Massa isi padat	1,66 kg/lt	1,2-1,75 kg/lt
4	Massar isi gembur	1,47 kg/lt	1,2-1,75 kg/lt
5	Specific gravity	2,546	2,4-2,9
6	Absorpsi	1,943%	≤3 %
7	Kadar lumpur	0,756%	≤1 %
8	Kuausan	17,99%	≤30 %

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Karakteristik agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah berupa batu pecah yang bersumber dari Bili-Bili Kabupaten Gowa Propinsi Sulawesi Selatan. Adapun hasil pengujian karakteristik agregat kasar tersebut diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 4. Hasil uji karakteristik agregat halus

No.	Jenis Uji	Hasil	Spesifikasi
1	Modulus kehalusan	2,93	2,4-3,0
2	Kadar air	1,16%	-
3	Massa isi padat	1,75 kg/lt	1,2-1,75 kg/lt
4	Massar isi gembur	1,56 kg/lt	1,2-1,75 kg/lt
5	Specific gravity	2,29	2,4-2,9
6	Absorpsi	1,94%	≤3 %
7	Kadar lumpur	0,83%	≤5 %

4.2 Karakteristik agregat halus

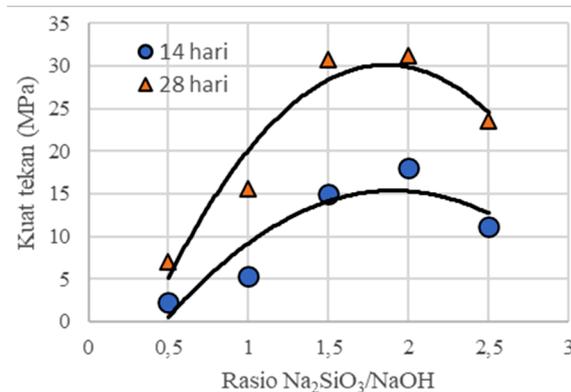
Mencermati hasil pengujian karakteristik agregat, baik agregat kasar maupun agregat halus sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4, secara umum memenuhi spesifikasi sebagai bahan untuk campuran beton.

4.3 Berat volume beton

Benda uji beton yang telah didiamkan selama 24 jam dengan suhu ruangan, maka selanjutnya dilakukan uji berat volume sebelum dilakukan perawatan (*curing*). Hal ini dilakukan dengan pertimbangan untuk melihat sejauhmana tingkat kepadatan beton sebelum diberikan

Table 5. Hasil uji berat volume beton

No.	Kode Benda Uji	Hasil uji berat volume beton (kg/m ³)
1	BG-1/2	2125,37
2	BG-2/2	2166,42
3	BG-3/2	2248,16
4	BG-4/2	2270,07
5	BG-5/2	2245,38



Gambar 2. Grafik hubungan antara kuat tekan beton versus rasio Na₂SiO₃/NaOH

perlakuan dalam bentuk perawatan. Adapun hasil uji berat volume setiap spesimen adalah seperti diperlihatkan pada Tabel 5.

Penambahan porsi natrium silika oksida (Na₂SiO₃) berdampak pada peningkatan berat volume beton. Ini menunjukkan bahwa penambahan tersebut membuat reaksi lebih baik dan ikatan polimer menjadi lebih kuat. Meskipun ada indikasi bahwa apabila porsi terus bertambah, cenderung membuat berat volume beton menjadi lebih kecil atau kepadatan menjadi berkurang.

4.4 Kuat tekan beton

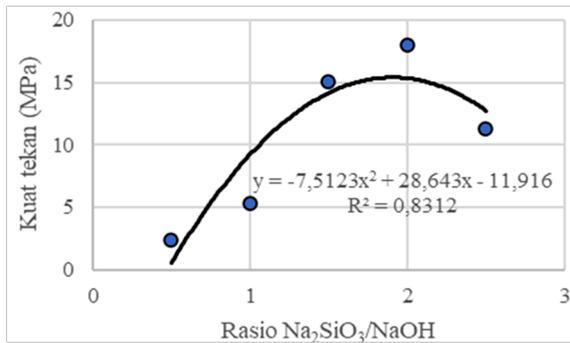
Uji kuat tekan beton untuk seluruh spesimen dilakukan pada umur 14 hari dan 28 hari. Hal ini dilakukan atas pertimbangan keinginan untuk melihat seberapa besar pertumbuhan kekuatan beton mulai dari umur 14 hari hingga 28 hari. Adapun hasil uji kuat tekan beton untuk setiap spesimen diperlihatkan seperti pada Tabel 6 dan Gambar 2.

Berdasarkan Tabel 6 tersebut di atas, terlihat bahwa perkembangan kekuatan beton dari umur 14 hari ke umur 28 hari sangat signifikan bahkan melampaui perkembangan kekuatan beton pada umumnya. Jika perkembangan tersebut dinyatakan dalam bentuk angka konversi kekuatan, maka angka konversinya berada antara 0,33 hingga 0,58 atau jauh lebih kecil dari nilai angka konversi yang dikenal pada beton selama ini yaitu sebesar 0,88.

Secara umum menunjukkan bahwa pertambahan rasio Na₂SiO₃ terhadap NaOH mengakibatkan bertambahnya pula kekuatan beton pada rasio tertentu, namun setelah itu kekuatan beton mengalami penurunan. Hal ini

Tabel 6. Hasil uji kuat tekan beton geopolimer

No.	Kode benda uji	Kuat tekan (MPa)	
		14 hari	28 hari
1	BG-1/2	2,333	6,997
2	BG-2/2	5,301	15,691
3	BG-3/2	15,055	30,746
4	BG-4/2	18,024	31,170
5	BG-5/2	11,238	23,537



Gambar 3. Hubungan kuat tekan beton versus rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ umur 14 hari

menunjukkan indikasi bahwa pola perkembangan kekuatan beton cenderung mengikuti pola yang bersifat polinomial berderajat dua (parabolik).

• Untuk umur beton 14 hari :

Memperhatikan persamaan regresi yang ditampilkan pada grafik tersebut di atas, maka secara matematis dapat ditentukan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ optimum yang menghasilkan kuat tekan beton geopolimer maksimum yaitu dengan cara mendiferensialkan **Persamaan (1)** yaitu :

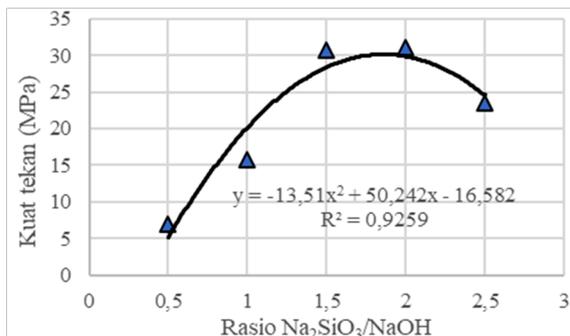
$$\frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx} (-7,512x^2 + 28,643x - 11,916)$$

$$-15,024x + 28,643 = 0 \tag{1}$$

sehingga :

$$x = 1,91$$

atau jika dinyatakan dengan simbol sesuai kode benda uji, maka dapat dituliskan bahwa BG optimum adalah BG-3,82/2.



Gambar 4. Hubungan kuat tekan beton versus rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ umur 28 hari

• Untuk umur beton 28 hari :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx} (-13,51x^2 + 50,242x - 16,582)$$

$$-27,02x + 50,242 = 0 \tag{2}$$

sehingga :

$$x = 1,86$$

atau jika dinyatakan dengan simbol sesuai kode benda uji, maka dapat dituliskan bahwa BG optimum adalah BG-3,72/2.

Kuat tekan beton dengan rasio natrium silika oksida terhadap natrium hidroksida ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) lebih besar dari 2 mengalami penurunan. Hal ini mengindikasikan bahwa pada kondisi tersebut aktivator natrium hidroksida (NaOH) yang berperan mereaksikan unsur Aluminium (Al) dan Silika (Si) fly ash tidak mampu lagi menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

Membandingkan rasio optimum natrium silika oksida (Na_2SiO_3) terhadap natrium hidroksida (NaOH) pada umur beton 14 hari dan 28 hari, maka yang digunakan untuk keperluan aplikasi adalah rasio pada umur 28 hari yaitu sebesar 1,86 yang artinya bahwa dengan aktivator natrium hidroksida (NaOH) sebagai variabel tetap, maka dibutuhkan natrium silika oksida (Na_2SiO_3) sebagai senyawa kimia mempercepat proses polimerisasi sebesar 3,72.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan sebelumnya, maka dapat disimpulkan:

1. Kuat tekan beton dengan perbandingan komposisi alkali aktivator 1/2 (BG-1/2) menghasilkan nilai kuat tekan beton geopolimer yang sangat kecil, begitu pula pada perbandingan alkali aktivator 2/2 (BG-2/2) yang menghasilkan nilai kuat tekan beton sebesar 15,691 MPa.
2. Komposisi optimal berdasarkan pada kuat tekan beton maksimum pada umur 28 adalah diperoleh pada perbandingan alkali aktivator sebesar 1,86 atau 3,72/2 (BG-3,72/2) dengan nilai kuat tekan beton maksimum sekitar 30 MPa.
3. Beton geopolimer dengan perbandingan komposisi alkali aktivator 3/2 hingga 5/2 dapat dijadikan sebagai alternatif pengganti beton konvensional karena hasil kuat tekan beton yang didapatkan cukup signifikan yaitu masing-masing sebesar 30,746 MPa dan 23,537 MPa.

5.2 Saran

1. Dikarenakan pada saat pembuatan larutan NaOH menghasilkan suhu panas yang sangat tinggi serta sangat membahayakan maka perlu diperhatikan untuk keselamatan pada saat pembuatan larutan NaOH.
2. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya perlu dilakukan uji mikrostruktur untuk mengetahui

komposisi kimia secara detil pada beton geopolimer.

3. Perlu diadakan penelitian-penelitian lanjutan untuk memberikan lebih banyak lagi perbandingan campuran beton geopolimer yang lebih baik lagi sehingga dapat menjadi acuan yang lebih jelas, serta diharapkan adanya metode pencampuran bahan standar nasional indonesia untuk beton geopolimer.

Daftar Pustaka

- ASTM C 618 – 03 *Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzoland for Use as a Mineral Admixture in Concrete*, American Standard Testing and Material.
- Afrianita, Dewi Fitria, Putri Rahma Sari. 2010 *Pemanfaatan Fly Ash Batu Bara Sebagai Adsorben Dalam penyisihan Chemical Oxygen Demand (COD) Dari Limbah Cair Domestik*. Universitas Andalas.
- Badan Standar Nasional Indonesia. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. SNI -2847-2013. Indonesia.
- Cahyono, M. S. 2013. *Pengaruh Jenis Bahan pada Proses Pirolisis Sampah Organik menjadi Bio-Oil sebagai Sumber Energi Terbarukan*. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan, Vol. 5(2), Hal. 67-76.
- Chandra, Kevin Saputra Yusuf , Antoni , dan Djwantoro Hardjito. 2019. *Penggunaan Bottom Ash dari Sistem Pembakaran Circulated Fluidizes Bed Burning dan Dari Boiler Sebagai Agregat Halus Dalam Pembuatan Mortar*. Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Indonesia, Surabaya.
- Ekaputri, J, J, Triwulan dan Damayati O,. 2007. *Sifat Mekanik Beton Geopolimr Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif*. Jurnal PONDASI. vol 13 no 2 hal, 124-134. Institut Sepuluh Nopember.
- Hardjito, D and Rangan, B,V. 2005. *Development and Properties Of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Perth.
- Hardjito, D,, Wallah S,E,, and Rangan, B,V. 2004. *Factor Influencing The Compressive Strength of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Universitas Kristen Petra.Surabaya.
- Jumaeri, Astuti & Lestari. W.T.P. 2007. *Preparasi dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Layang Batubara secara Alkali Hidrotermal*. Reactor, Vol. 11 (1), Pp. 38-44. FMIPA UGM : Yogyakarta.
- Lasryza, A., dan Sawitri, D.. 2012. *Pemanfaatan Fly Ash Batubara sebagai Adsorben Emisi Gas CO pada Kendaraan Bermotor*. Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1, (2012) 1-6.
- Lianasari, Angelina Eva., Anggun Tri Atmajayanti., Bernadus Henri Efendi dan Nico Parulian Sitindaon. 2014. *Pengaruh Penggunaan Solid Material Abu Terbang Dan Abu Sekampada Kuat Tekan Beton Geopolimer*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta 4: 1-7.
- Manuahe, Marthin D.J. Sumajouw, Reky S.Windah. 2014. *Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)*. Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Pane, Fanto, H. Tanudjaja, R. S. Windah. 2015. *Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton dengan Variasi Kuat Tekan Beton Jurnal Sipil Statik*, 3 (5).
- Tjokrodimuljo, 1996. *Teknologi Beton*
- Wardani, S. P. R. (2008). *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Fakultas Pertanian UNIB.