

PERBANDINGAN NILAI KAPASITAS BEBAN MAKSIMUM KOLOM BETON BERTULANG GEOPOLYMER DENGAN KOLOM BETON BERTULANG KONVENSIONAL

Joannita Veronica Pude

Ronny Pandaleke, Banu D. Handono

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: jvpude@gmail.com

ABSTRAK

Pada penelitian ini Kolom Beton Bertulang Geopolymer dan Kolom Beton Bertulang Konvensional pada perawatan suhu ruangan diuji Nilai Kapasitas Beban Maksimum dengan perbandingan berdasarkan Komposisi Campuran Beton, Ukuran Penampang 100 mm x 100 mm x 350 mm, dan Jumlah Tulangan.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh Nilai Kapasitas Beban Maksimum Kolom Beton Bertulang Konvensional lebih besar 140,7 kN dari Nilai Kapasitas Beban Maksimum Kolom Beton Bertulang Geopolymer.

Perhitungan analitis Kapasitas Kolom (P_n) pada Benda Uji Kolom Beton Konvensional memiliki nilai kapasitas beban aksial 317.25 kN, sehingga Perhitungan Nilai Kapasitas Beban Maksimum Kolom Beton Bertulang Konvensional lebih kecil 8.7% dari hasil Pengujian Laboratorium. Dan Perhitungan Analitis Kapasitas Beban Maksimum Kolom Beton Bertulang Geopolymer 196.37 kN lebih kecil 5% dari hasil Pengujian Laboratorium.

Kata Kunci : Beton Konvensional, Beton geopolymer, Beban Maksimum Kolom

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dalam beton bertulang terdapat salah satu elemen Kolom, yaitu batang tekan vertikal dari rangka struktur, yang berfungsi sebagai penerus beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Kolom juga berfungsi untuk memikul beban dari balok mengingat fungsinya sebagai salah satu elemen pembentuk struktur yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*Collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*Total Collapse*). Kualitas beton bertulang tergantung pada bahan-bahan penyusunnya yang umum digunakan sampai saat ini adalah semen, air, pasir, dan kerikil atau batu pecah dengan menggunakan tulangan besi.

Pada Proses produksi material semen, terjadi pelepasan Karbon Dioksida (CO_2) yang merupakan kontributor utama pada emisi gas rumah kaca yang dapat mengakibatkan terjadinya pelepasan Karbon Dioksida (CO_2) ke atmosfer. Untuk mengatasi efek buruk yang merusak lingkungan ini, maka diperlukan material lainnya sebagai pengganti semen portland untuk digunakan pada pembuatan beton ialah melalui

pengembangan beton dengan menggunakan bahan pengikat anorganik seperti Alumina-Silikat Polymer atau dikenal dengan *Geopolymer* yang merupakan sintesa dari material geologi yang terdapat pada alam atau material hasil produk sampingan industri seperti abu terbang yang kaya akan kandungan Silika dan Alumina (Davidovits, 1999). Zat-zat ini banyak ditemukan pada material limbah industri Abu Terbang (*fly ash*). Tentunya hal ini makin menguntungkan, mengingat di Indonesia saat ini terdapat cukup banyak pembangkit listrik tenaga uap yang limbahnya merupakan *fly ash*, yang sifatnya menyebabkan pencemaran udara jika tidak dimanfaatkan. Dan jika pemanfaatan *fly ash* meningkat, maka penggunaan semen portland akan berkurang, Karbon Dioksida (CO_2) di atmosfer karena produksi semen portland akan berkurang dan masalah pembuangan *fly ash* akan terpecahkan.

Untuk mengatasi keruntuhan kolom dalam beton bertulang maka akan diteliti Kapasitas Beban Maksimum Kolom Beton Bertulang dengan menggunakan *Geopolymer* pada pembuatan beton sebagai pengganti material semen untuk mendapatkan beton yang ramah lingkungan.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka rumusan masalah yang akan diteliti yaitu seberapa besar Nilai Kapasitas Beban Maksimum Beton Bertulang *Geopolymer* pada Elemen Struktur Kolom dengan Perawatan pada Suhu Ruang dan akan dibandingkan dengan Nilai Kapasitas Beban Maksimum Kolom Beton Bertulang Konvensional berdasarkan pada Komposisi Campuran, Ukuran penampang dan Tulangan, dimana Komposisi Campuran Beton *Geopolymer* ekuivalen dengan Komposisi Campuran Beton Konvensional.

Batasan Masalah

Hal – hal yang akan diteliti dibatasi pada beberapa hal, yaitu :

Hal – hal yang akan diteliti dibatasi pada beberapa hal, yaitu :

1. Material Pembentuk Beton Konvensional:
 - a. Agregat Kasar yang di pakai adalah Batu Pecah Lansot.
 - b. Agregat Halus yang di pakai adalah Pasir Girian.
 - c. Semen Portland merk Tiga Roda.
 - d. Air dari Laboratorium Fakultas Teknik UNSRAT
2. Material Pembentuk Beton *Geopolymer* :
 - a. Fly Ash yang berasal dari PLTU Amurang.
 - b. Cairan Alkalin yaitu cairan Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida.
 - c. Superplasticizer digunakan Sikacim Concrete Additive dengan merk dagang Sika®.
3. Perawatan benda uji beton menggunakan suhu ruangan.
4. Pengujian pada umur 28 hari
5. Kolom hanya menerima beban aksial sedangkan pengaruh eksentrisitas dan momen tidak diperhitungkan.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan Nilai Kapasitas Beban Maksimum yang mampu dipikul Kolom Beton Bertulang *Geopolymer* pada temperatur ruangan sampai hancur, kemudian dibandingkan dengan beton bertulang konvensional dan diharapkan dapat diaplikasikan di lapangan tanpa perawatan pada *elevated temperature*.

Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat bagi

perkembangan teknologi beton, antara lain sebagai berikut :

1. Penelitian ini dapat menambah wawasan dalam pembuatan Beton Bertulang *Geopolymer*.
2. Penelitian ini dapat menjadi sumber informasi tentang kapasitas Beban Maksimum Kolom Beton Bertulang *Geopolymer* dan perbandingannya dengan Beton Bertulang Konvensional.

LANDASAN TEORI

Beton bertulang (*reinforced concrete*) adalah struktur komposit yang sangat baik untuk digunakan pada konstruksi bangunan akibat dari penggabungan dua buah bahan, yaitu beton (PC + agregat halus + agregat kasar + zat aditif) dan tulangan.

Beton *Geopolymer* dibuat tanpa menggunakan semen sebagai bahan pengikat, dan sebagai pengganti digunakan abu terbang yang kaya akan Silikon (Si) dan Alumina (Al) yang bereaksi dengan cairan alkalin untuk menghasilkan bahan pengikat (binder).

Agregat

Agregat dibedakan menjadi :

1. Agregat Kasar
Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir dari beton keras dan daya tahan terhadap disintegrasi dengan komponennya, cuaca, pengaruh kimia dan faktor perusak lainnya. Sesuai dengan SK SNI T 15-1991-03, bahwa agregat kasar merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir antara 5,00 mm - 40 mm.
2. Agregat Halus
Agregat halus yang dipakai sebagai pengisi pada beton diantara selah agregat kasar, agregat dinyatakan agregat halus adalah agregat yang lolos # no.4 - # no.10, yang mempunyai ukuran butir maksimum sebesar 5,00 mm, agregat halus yang baik bila bebas dari bahan organik, lempung dan partikel yang dapat merusak adukan beton.

Semen

Semen PCC atau *Portland Composite Cement* adalah Semen Portland yang masuk ke dalam kategori Semen Campur yaitu bahan pengikat hidrolisis hasil penggilingan bersama-sama terak semen Portland dan gyps dengan satu

atau lebih bahan anorganik atau hasil pencampuran antara bubuk semem Portland dengan bubuk bahan anorganik lain.

Air

Air dalam pencampuran beton harus bersih supaya proses hidrasi dapat berjalan dengan baik. Air harus selalu ada di dalam beton cair, tidak saja untuk hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi suatu pasta sehingga betonnya lecah (workable).

Solid Material (*Fly Ash*)

Solid material adalah salah satu komponen sistem anorganik geopolymer. Solid material untuk geopolymer dapat berupa mineral alami seperti kaolin, tanah liat, mika, andalusit, spinel dan lain sebagainya. Alternatif lain yang dapat digunakan adalah material yang berasal dari produk sampingan seperti fly ash, silica fume, slag, rice-husk ash, lumpur merah, dan lain-lain. Penelitian ini menggunakan fly ash sebagai solid material.

Alkalin Aktivator (Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida)

Alkalin aktivator yang digunakan adalah Sodium silikat dan sodium hidroksida yang digunakan untuk membantu terjadinya reaksi kimia dengan aluminium dan silikat yang terdapat pada abu terbang. Sodium hidroksida yang digunakan sebagai alkalin activator, berfungsi untuk meraksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam abu terbang dan kapur sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat, sedangkan sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi.

Bahan Tambah (Superplasticizer)

Superplasticizer adalah bahan kimia tambahan yang digunakan sebagai salah satu cara meningkatkan kemudahan pelaksanaan pekerjaan pengecoran (*workability*) beton dengan menggunakan air sesedikit mungkin. Dalam penelitian ini superplasticizer yang digunakan adalah Sikacim Concrete Additive yang di produksi oleh PT. Sika Indonesia.

Kolom Pendek

Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang

bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur.

Sesuai dengan SNI 2847-2013 tentang "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," pasal.10.3.6.2 untuk desain beban aksial maksimum pada komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat (termasuk kolom bersengkang), adalah:

$$\phi P_{n(max)} = 0.80\phi [0.85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

Dimana :

A_g = luas bruto penampang beton (mm^2)

A_{st} = luas total tulangan longitudinal non-prategang (mm^2)

F_y = kekuatan leleh tulangan (MPa)

$F'c$ = kekuatan tekan beton (MPa)

Tulangan

Fungsi utama baja tulangan pada struktur beton bertulang yaitu untuk menahan gaya Tarik. Berdasarkan bentuknya, baja tulangan beton dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu baja tulangan beton polos dan baja tulangan beton sirip.

Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur, bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan.

Rumus kuat tekan beton, yaitu :

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

dimana :

$F'c$ = Kuat Tekan (MPa)

P = Beban runtuh yang diterima oleh benda uji (N)

A = Luas Penampang Beton (mm^2)

METODOLOGI PENELITIAN

Persiapan Alat dan Bahan

A. Persiapan Alat

- Concrete mixer (mollen)
- Bekisting/Cetakan
- 1 Set Peralatan slump test
- Timbangan
- Satu set alat pemeriksaan agregat (piring, piknometer, oven, saringan agregat serta mesin shieve shaker untuk mengayak saringan).

- Mesin uji kuat tekan
- Sample spliter
- Peralatan penunjang lainnya

B. Persiapan Bahan

- Fly Ash
- Sodium Hidroksida (NaOH) konsentrasi 14M
- Sodium Silikat (Na₂SiO₃)
- Superplasticizer digunakan SikaCim Concrete Additive
- Agregat Kasar dari Lansot dan Agregat Halus dari Girian
- Semen Portland merk Tiga Roda

Pemeriksaan Agregat

Material yang akan digunakan pada penelitian ini terlebih dahulu dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik dari material itu sendiri. Hal-hal yang perlu diteliti dari suatu agregat untuk digunakan pada perencanaan campuran beton dengan metode SNI antara lain adalah sebagai berikut :

1. Gradasi Agregat
2. Berat Jenis Agregat
3. Berat Volume
4. Kadar Lumpur Agregat Halus
5. Zat Organik Agregat Halus
6. Kadar Air Agregat
7. Keausan/Abrasi

Komposisi Campuran Beton

Komposisi Campuran menjadi dasar perbandingan penelitian ini dimana Komposisi Campuran Beton *Geopolymer* diambil dari Komposisi Campuran Beton Konvensional. Sehingga Penggunaan Semen dan Air pada Komposisi Campuran Beton Konvensional diganti dengan Fly Ash dan Alkalin Aktivator dan Bahan Tambah (Superplasticizer) untuk Komposisi Campuran Beton *Geopolymer*.

Tabel 1. Komposisi Campuran Beton Konvensional dan Beton *Geopolymer*

Beton Konvensional		Beton <i>Geopolymer</i>	
Material	Berat (kg/m ³)	Material	Berat (kg/m ³)
Agregat Kasar (Batu Pecah)	907.5	Agregat Kasar (Batu Pecah)	907.5
Agregat Halus (Pasir)	605.0	Agregat Halus (Pasir)	605.0
Semen	562.5	Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	562.5
Air	225.0	Cairan Sodium Hidroksida	141.8 (14 M)
		Cairan Sodium Silika	354.5
		Superplasticizer	14.4

Dimensi Benda Uji

- Kolom berpenampang 100 x 100 X 350 mm.
- Tulangan longitudinal yang digunakan berdiameter 8 mm.
- Sengkang yang digunakan berdiameter 6 mm.
- Jarak maksimum antar sengkang yang terkecil 100 mm.

Pembuatan Benda Uji Beton

Tahap dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

- a. Pembuatan campuran beton (mixing)
- b. Pemeriksaan Nilai Slump
- c. Pencetakan benda uji silinder (100x200) mm dan benda uji kolom (100x100x350) mm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat Volume Beton

Berat volume beton adalah perbandingan antara berat beton (berat benda uji) dengan volume beton (volume benda uji). Hasil perhitungan berat volume benda uji adalah sebagai berikut :

- Pada benda uji silinder
 Berat benda uji = 3,31 kg
 Volume benda uji
 $= \pi \times 0.05^2 \times 0.2 = 0,00157 \text{ m}^3$
 Berat Volume Beton
 $= \frac{3.31}{0,00157} = 2107.21 \text{ kg/m}^3$

Tabel 3. Berat volume beton silinder konvensional pada umur 28 hari

K	Berat Benda Uji	Berat Volume Benda Uji	Berat Volume Beton
(Mpa)	(Kg)	(m3)	(Kg/m3)
40.06	3.31	0.001571	2107.21
42.15	3.33	0.001571	2119.94
42.19	3.33	0.001571	2119.94
42.86	3.33	0.001571	2119.94

Tabel 4. Berat volume beton silinder *Geopolymer* pada umur 28 hari

K	Uji Kuat Tekan Beton		
	Berat Benda Uji	Berat Volume Benda Uji	Berat Volume Beton
(Mpa)	(Kg)	(m3)	(Kg/m3)
23.19	3.27	0.001571	2081.75
23.34	3.22	0.001571	2049.92
24.00	3.28	0.001571	2088.11
24.07	3.28	0.001571	2088.11

Kuat Tekan Beton

Dalam penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder (100 × 200) mm. Hasil pengujian kuat tekan sebagai berikut:

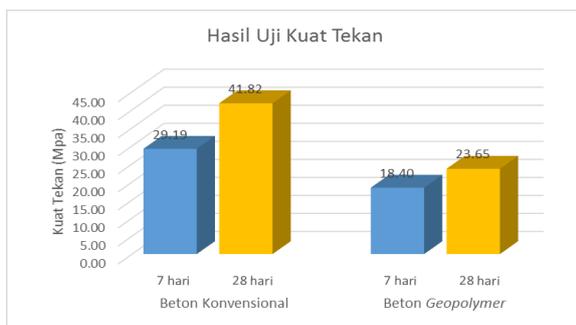
Tabel 5. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Konvensional pada umur 28 hari

Hasil Uji Kuat Tekan			
Berat (kg)	P (Kn)	Kuat Tekan (Mpa)	fcr (Mpa)
3.22	183.4	23.34	23.65
3.27	182.1	23.19	
3.28	188.5	24.00	
3.28	189.0	24.07	

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolymer pada umur 28 hari

Hasil Uji Kuat Tekan			
Berat (kg)	P (Kn)	Kuat Tekan (Mpa)	fcr (Mpa)
3.33	331.0	42.15	41.82
3.33	331.3	42.19	
3.33	336.6	42.86	
3.31	314.6	40.06	

Berdasarkan hasil tabel sebelumnya, maka hasil uji digambarkan dalam diagram batang berikut ini:



Gambar 1. Diagram Hasil Uji Kuat Tekan

Dari Gambar menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton pada beton konvensional umur 7 hari ke 28 hari mengalami peningkatan sebesar 12.63 Mpa dan nilai kuat tekan beton pada beton Geopolymer mengalami peningkatan sebesar 5.25 Mpa.

Pengujian Kapasitas Beban Aksial

Benda uji yang akan di uji yaitu Kolom Beton Konvensional dan Kolom Beton

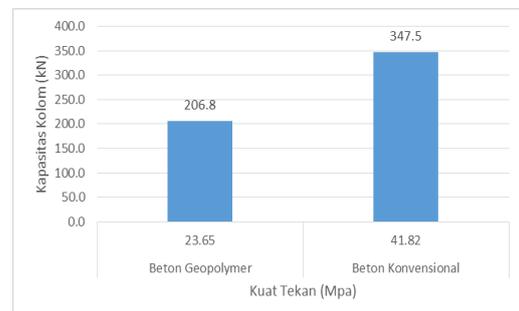
Geopolymer yang berukuran 100 mm x 100 mm x 350 mm.

Tabel 7. Hasil Uji Kapasitas Beban Maksimum Kolom Beton Bertulang Konvensional

No. Benda uji	Hasil pengujian Kolom [kN]	P rata-rata [kN]
A1	290.7	347.53
A2	326.0	
A3	327.3	
A4	349.9	
A5	394.7	
A6	396.6	

Tabel 8. Hasil Uji Kapasitas Beban Maksimum Kolom Beton Bertulang Geopolymer

No. Benda uji	Hasil pengujian Kolom [kN]	P rata-rata [kN]
A1	188.8	206.82
A2	196.5	
A3	203.2	
A4	210.0	
A5	220.9	
A6	221.5	



Berdasarkan hasil tabel sebelumnya, maka hasil uji kapasitas kolom digambarkan dalam diagram batang berikut ini

Gambar 2. Diagram Nilai Pn Rata-rata Hasil Pengujian Kapasitas Kolom

Pada model benda uji Kolom Beton Konvensional memiliki nilai kapasitas beban hasil uji lab lebih besar dari benda uji Kolom Beton Geopolymer.

Pengaruh kuat tekan beton pada kemampuan kolom untuk memikul beban dapat dilihat pada Gambar 1 yang menunjukkan kolom dengan kuat tekan tinggi memberikan kapasitas memikul beban yang tinggi.

Perhitungan Analitis Kapasitas Beban Aksial Kolom Beton Bertulang

Menurut SNI Beton 03-2847-2013 pasal.10.3.6.2 rumus untuk kapasitas beban aksial maksimum pada komponen struktur non-prategang dengan jumlah pengikat (sengkang), adalah:

$$\Phi P_n(max) = 0,8\Phi\{0,85f'c(Ag - Ast)+fyAst\}$$

Karena menggunakan perhitungan skala lab maka faktor reduksi diabaikan sehingga menjadi :

$$P_n(max) = 0.8\{0,85f'c(Ag - Ast)+fyAst\}$$

Dimana:

P_n (maks) = Kapasitas Beban Aksial Kolom (kN)

- Φ = Faktor Reduksi
- $f'c$ = Kuat Tekan Beton
- f_y = Tegangan Leleh Baja Tulangan Longitudinal (MPa)
- A_g = Luas Bruto Penampang (mm^2)
- A_{st} = Luas Total Tulangan Longitudinal (mm^2)

Sehingga kapasitas beban aksial maksimum (P_n maks) yang dapat dipikul kolom persegi adalah :

- Diketahui kolom Beton Konvensional memiliki data sebagai berikut :

$F_y = 240$ MPa
 $A_{st} = 4 \times (\pi \times 8^2/4) = 200.96$ mm^2
 $A_g = 100 \times 100 = 10.000$ mm^2
 $f'c = 41.82$ MPa

Penyelesaian:

- P_n maks = $0.8 \times (0.85 \times 41.82 \times (10.000 - 200.96) + (240 \times 200.96))$
- P_n maks = 317245.5 N
= 317.2455 kN

- Diketahui kolom Beton *Geopolymer* memiliki data sebagai berikut :

$F_y = 240$ MPa
 $A_{st} = 4 \times (\pi \times 8^2/4) = 200.96$ mm^2
 $A_g = 100 \times 100 = 10.000$ mm^2
 $f'c = 23.68$ MPa

Penyelesaian:

- P_n maks = $0.8 \times (0.85 \times 23.68 \times (10.000 - 200.96) + (240 \times 200.96))$
- P_n maks = 196372.382 N
= 196.372 kN

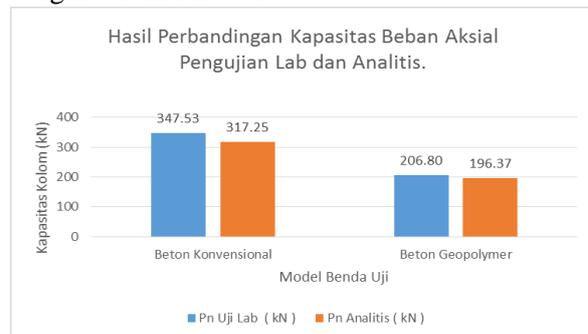
Perbandingan Nilai Hasil Uji Analitis Kapasitas Beban Aksial Kolom dengan Hasil Uji Laboratorium

Pada model Benda Uji Kolom Beton Konvensional dan Kolom Beton *Geopolymer*, nilai kapasitas beban aksial pengujian lab keduanya lebih kecil dari nilai kapasitas beban aksial perhitungan analitis.

Tabel 9. Perbandingan Nilai P_n Hasil Uji Laboratorium dan Analitis

Model Benda Uji	P_n Uji Lab (kN)	P_n Analitis (kN)
Beton Konvensional	347.53	317.25
Beton <i>Geopolymer</i>	206.80	196.37

Hasil Perbandingannya dapat dilihat pada Diagram dibawah ini.



Gambar 3. Diagram Perbandingan Nilai Kapasitas Beban Aksial Maksimum

PENUTUP

Kesimpulan

Dari Hasil Penelitian dan pengolahan data yang diperoleh, maka penulis dapat memberikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada Umur 7 hari, kuat tekan Beton Konvensional rata-rata sebesar 29.19 MPa dan Beton *Geopolymer* didapat hasil kuat tekan rata-rata sebesar 18.40 MPa
2. Pada Umur 28 hari, hasil kuat tekan Beton Konvensional rata-rata sebesar 41.82 MPa. Untuk Beton *Geopolymer* didapat hasil kuat tekan rata-rata sebesar 23.65 MPa.
3. Berdasarkan kualifikasi berat jenis beton, hasil pemeriksaan berat volume beton didapat berat volume beton silinder Konvensional 2116.76 kg/m^3 dan berat volume beton silinder *Geopolymer* 2076.97

kg/m³. Maka jenis beton dalam penelitian ini termasuk dalam jenis beton normal karena berat massa volume beton tersebut berada pada interval 2000-3000 kg/m³.

4. Berdasarkan pada Komposisi Campuran yang sama antara Beton Konvensional dan Beton *Geopolymer*, Ukuran Penampang (100 x 100 x 350) mm, Tulangan Longitudinal Ø8 dan Sengkang Ø6, diperoleh hasil Pengujian kapasitas Beban Aksial Maksimum Pn rata-rata Kolom Beton Konvensional sebesar 347.5 kN dan Kolom Beton *Geopolymer* sebesar 206.8 kN. Sehingga Kapasitas beban aksial maksimum Kolom Beton *Geopolymer* lebih kecil dari kapasitas beban aksial maksimum Kolom Beton Konvensional.
5. Perhitungan analitis Kapasitas Kolom (Pn) pada Benda Uji Kolom Beton Konvensional memiliki nilai kapasitas beban aksial 317.25 kN, sehingga Perhitungan Nilai Kapasitas Beban Maksimum Kolom Beton Bertulang

Konvensional lebih kecil 8.7% dari hasil Pengujian Laboratorium. Dan Perhitungan Analitis Kapasitas Beban Maksimum Kolom Beton Bertulang *Geopolymer* 196.37 kN lebih kecil 5% dari hasil Pengujian Laboratorium.

Saran

1. Karena salah satu sifat beton *Geopolymer* berbasis *Fly Ash* cepat mengeras dan melekat, maka pada saat pemadatan perlu dilakukan dengan cepat dan alat-alat yang digunakan sebaiknya langsung dibersihkan.
2. Bekisting yang digunakan perlu diberi pelumas sebelum digunakan, karena mempermudah pada saat mengeluarkan benda uji dari bekisting.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang Komposisi Beton *Geopolymer* untuk memperoleh Standard Campuran Beton *Geopolymer*

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional., 2011. SNI 1974:2011 *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 07-2052-2002 tentang *Baja Tulang Beton*.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-2847-2013 tentang *Persyaratan Beton Struktur Untuk Bangunan Gedung*. Hal 17,25,56,75,78.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-2834-2000 tentang *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-2847-2002 tentang *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-2976-1995 tentang *Tata Cara Pengadukan dan Pengecoran Beton*. Hal 1.
- Davidovits, J., 1999. *Chemistry of Geopolymer System, Terminology*. Paper presented at the Geopolymer '99 International Conference, Saint-Quentin, France.
- Fernando Willem Gamaliel Papulele, Steenie E. Wallah, Ronny Pandaleke, 2017. *Perbandingan Nilai Kapasitas Beban Maksimum Beton Bertulang Kolom Utuh dengan Kolom yang diperkuat menggunakan Chemical Anchor*. Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.8 Oktober 2017, Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Manuahe Riger, M. D. J. Sumajouw, R. Windah, 2014. *Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Fly Ash*. Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.6, September 2014, Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado.

- Meri Apsari Punusingon , Banu D. Handono, Ronny Pandaleke. *Uji Eksperimental Kuat Tekan Beton Daur Ulang dengan Bahan Tambah Abu Terbang (Fly Ash) dan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen*. Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.1 Januari 2019 (57-66) ISSN: 2337-6732, Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Mulyono,T, 2005. *Teknologi Beton*, Penerbit ANDI, Bandung.
- Nawy.E.G, 1998. *Beton Bertulang : Suatu Pendekatan Dasar*, PT Refika Aditama, Bandung.
- Paul Nugraha dan Antoni, 2007. *Teknologi Beton Dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Andi : Yogyakarta.
- Rousstia Kresnadya D, 2008. *Perilaku Balok Beton Bertulang Geopolymer Akibat Pembebanan Dinamis Dengan Pile Integrity Test*. Skripsi Sarjana. Universitas Indonesia : Depok.
- SK SNI T-15-1991-03 *Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*. Hal 1,3
- Tjokrodinuljo, K., 2003, *Teknologi Bahan Konstruksi*, Buku Ajar. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Univeritas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sumajouw, D. M. J., Dapas, S. O., 2012. *Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer*, Tim Penerbit JTS FT UNSRAT, Manado.
- Tambingon, Fiki R., M. D. J. Sumajouw, S. E. Wallah, 2018. *Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Perawatan Temperatur Ruangan*. Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.9 September 2018 (641648) ISSN: 2337-6732., Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Troxell, G.E. et all, 1986. *Composition and Properties of Concrete*. Second Edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York.