

PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON GEOPOLYMER PADA PERAWATAN TEMPERATUR RUANGAN

Dewira Rante Pangloly

Marthin D. J. Sumajow, Servie O. Dapas

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

email: dewirapangloly2@gmail.com

ABSTRAK

Beton geopolimer (geopolymer concrete) adalah suatu material konstruksi yang relatif baru dikembangkan tetapi menawarkan berbagai kelebihan dibandingkan dengan beton konvensional yang menggunakan semen portland. Beton geopolimer ini sama sekali tidak menggunakan semen portland. Bahan dasar utama yang diperlukan untuk pembuatan beton geopolimer ini adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silika dan aluminium. Unsur-unsur tersebut banyak didapat pada material buangan hasil industri, seperti fly ash, abu sekam padi dan limbah karbit, dll. Agar terjadi pengikatan elemen-elemennya, perawatan beton geopolimer dilakukan pada elevated temperatur, 60°C atau 90°C.

Dalam Penelitian ini dilakukan pengujian kuat tarik belah beton geopolimer pada perawatan temperatur ruangan. Agar terjadi pengikatan antar elemen-elemennya, maka perlu penambahan bahan pengikat berupa semen. Variasi penambahan semen adalah 0%, 2,5%, 5%, dan 10%. Benda uji yang digunakan untuk pemeriksaan kuat tarik belah adalah silinder 10/20 cm, dengan metode curing room temperature masing-masing 3 sampel dan di uji pada umur 7 dan 28 hari.

Hasil penelitian dipresentasikan dalam grafik hubungan kuat tarik belah beton terhadap kuat tekan dengan variasi semen pada curing room temperature, yang menunjukkan bahwa seiring dengan lamanya curing maka nilai kuat tarik belah semakin besar. Kuat tarik belah maksimum terjadi pada umur 28 hari dengan variasi semen 10%.

Kata kunci: beton geopolimer, kuat tarik belah, penambahan semen, room temperature

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pesatnya kegiatan pembangunan pada saat ini dalam bidang konstruksi sangat mempengaruhi perkembangan dunia teknologi bahan bangunan. Terutama di bidang teknologi beton, kebutuhan beton yang tinggi dalam industri bidang konstruksi sehingga dilakukan usaha-usaha untuk menciptakan beton mutu tinggi dengan bahan baku yang melimpah, mudah didapat dengan biaya yang murah. Beton geopolimer (*geopolymer concrete*) adalah suatu material konstruksi yang relatif baru dikembangkan tetapi menawarkan berbagai kelebihan dibandingkan dengan beton konvensional yang menggunakan semen portland. Beton geopolimer ini sama sekali tidak menggunakan semen portland. Terminologi '*geopolymer*' pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits, seorang ilmuwan Perancis pada tahun 1978 untuk menggambarkan suatu bahan pengikat mineral dengan komposisi kimia serupa dengan ziolit tapi dengan mikrostruktur amorf (Davidovits, 1999).

Salah satu kelebihan dari material ini adalah dapat mengurangi emisi gas karbon dioksida yang merupakan salah satu gas rumah kaca ke atmosfer jika material ini digunakan untuk mengganti penggunaan semen portland. Penggunaan teknologi geopolimer dapat mengurangi sekitar 80% emisi gas karbon dioksida ke atmosfer yang disebabkan oleh industri semen dan agregat (Davidovits, 1999). Material fly ash dalam pembuatan beton dapat saja bereaksi secara kimia dengan cairan alkalin pada temperature tertentu untuk membentuk material campuran yang memiliki sifat seperti semen. Tetapi, pada Penelitian ini mencoba menggunakan semen sebagai bahan tambahan beton geopolimer dengan pengaruh terhadap perawatan (*curing*) room temperature untuk mendapatkan nilai variasi pada sifat mekanik beton itu sendiri.

Rumusan Masalah

Berdasarkan hal tersebut penulis ingin mengadakan penelitian terhadap perilaku mekanis beton geopolimer pada perawatan temperatur ruang (*curing room temperature*)

untuk aspek kuat tarik belah beton geopolimer dengan variasi penambahan semen Portland.

Pembatasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada beberapa hal, yaitu:

1. Material pembentuk beton *geopolymer*:
 - a. Abu terbang (*fly ash*) dari PLTU Amurang.
 - b. Cairan Alkalin yaitu kombinasi cairan sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi 14M dengan purity 98%
 - c. Superplastisizer digunakan Viscocrete-10 dengan merk dagang Sika.
 - d. Agregat halus yang dipakai yaitu pasir berasal dari Lansot
 - e. Agregat kasar dipakai batu pecah berasal dari Tateli.
 - f. Air yang digunakan adalah air yang berasal dari Sumur Fakultas Teknik UNSRAT.
2. Benda uji : Silinder 100/200 mm
3. Perawatan benda uji menggunakan ambient curing (suhu ruangan)
4. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tarik belah (*Splitting tensile strenght test*) pada umur 7 dan 28 hari

Tujuan Penulisan.

1. Mempelajari dan menganalisa beton geopolimer secara umum.
2. Mendapatkan nilai kuat tarik belah beton *geopolymer* dengan penambahan bahan pengikat (semen) variasi kuat tekan.
3. Untuk mendapatkan nilai perbandingan kuat tarik belah terhadap kuat tekan beton *geopolymer* pada curing room temperatur.

Manfaat Penulisan

1. Diharapkan dapat dijadikan acuan dalam melaksanakan pembuatan campuran beton geopolimer dengan penambahan semen untuk mendapatkan kuat tarik belah optimum dengan variasi penambahan semen.
2. Menambah pengetahuan tentang sifat mekanik beton geopolimer dengan penambahan semen, terutama pengaruhnya terhadap kuat tarik belah beton tersebut pada curing room temperatur.

LANDASAN TEORI

Pengertian umum Beton

Material Beton mempunyai sifat-sifat yang unik dibandingkan material-material struktur yang lainnya dikarenakan beton bertulang sangat kuat terhadap beban tekan, tetapi juga mempunyai sifat getas atau mudah patah atau tidak dapat menahan beban tarik. Beton adalah campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat. Dalam pengertian umum beton berarti campuran bahan bangunan berupa pasir dan kerikil atau koral kemudian diikat semen bercampur air. Sifat beton berubah karena sifat semen, agregat dan air, maupun perbandingan pencampurannya. Untuk mendapatkan beton optimum pada penggunaan yang khas, perlu dipilih bahan yang sesuai dan dicampur secara tepat. Ada banyak tipe beton yang telah dikenal, salah satunya beton semen.

Beton semen adalah beton yang terdiri dari pasta semen sebagai matriks dan agregat sebagai inklusi. Agregat terdiri dari material anorganik yang biasanya berupa mineral alami seperti batu/kerikil dan pasir. Perbedaan penggunaan bahan matriks akan memberikan karakteristik yang berbeda untuk tiap beton. Hal ini akan berpengaruh pada sifat-sifatnya, seperti kuat tekan, kuat tarik, waktu ikat, suhu ikat, workabilitas, modulus elastisitas dan lain-lainnya.

Geopolymer

Geopolymer lebih dikenal berdasarkan reaksi kimia, sebagai *alkaline-aktived binders*, dengan beberapa terminologi yang sesuai dengan penggunaan material seperti *low temperature inorganic polymer glasses*. Dalam perkembangan selanjutnya, apapun bahan dasar pembentuk material ini, terminologi geopolimer sudah sangat luas digunakan untuk merujuk pada material ini.

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

Material Penyusun Beton Geopolymer

Abu Terbang

Solid material termasuk dalam salah satu komponen sistem anorganik geopolimer. Solid material untuk geopolimer dapat berupa mineral alami seperti kaolin, tanah liat, mika, andalusit, spinel, dan lain sebagainya. Banyak jenis material hasil produksi sampingan (*by-product material*)

telah digunakan untuk membuat beton diantaranya, *mill scale* (sisa produksi baja), plastic, kaca, abu terbang (*fly ash*), cangkang kelapa sawit, *blast furnace slag*, metakaolin, *silica fume*, dan *rise husk ash*. dalam penelitian ini akan digunakan abu terbang (*fly ash*) sebagai solid material.

Abu terbang (*fly ash*) adalah material yang berasal dari sisa pembakaran batu bara. Abu terbang merupakan salah satu material yang digunakan untuk membuat bahan pengikat (*binders*) pada beton geopolymer. Abu terbang dikategorikan dalam material "Pozzolon" yakni material *siliceous* atau *aluminous* yang didalamnya terdapat sedikit sekali atau tidak sama sekali material *cementious* sebagaimana yang dimiliki semen Portland. Sebagian besar komposisi kimia dari *fly ash* tergantung pada tipe batu bara.

Alkalin Aktivator (sodium silikat dan sodium hidroksida)

Kombinasi cairan sodium silikat dan sodium hidroksida digunakan untuk membantu terjadinya reaksi kimia dengan aluminium dan silika yang terdapat pada abu terbang, sodium hidroksida yang digunakan sebagai *alkalin activator*, berfungsi untuk mereaksikan 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 Tambahan (Superplastisizer)

Superplasticizer adalah bahan tambah yang digunakan sebagai salah satu cara meningkatkan kemudahan pelaksanaan pekerjaan pengecoran (*workability*) beton dengan menggunakan sesedikit mungkin. Penggunaan *Superplasticizer* mulai dikembangkan di Jepang dan Jerman pada tahun 1960-an dan menyusul kemudian di Amerika Serikat pada 1970-an.

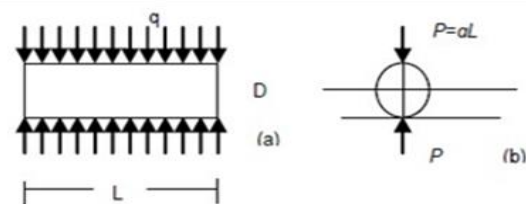
Dalam penelitian ini *Superplasticizer* yang digunakan adalah sika *concrete additive* yaitu bahan tambah berupa cairan yang ditambahkan pada campuran beton dalam jumlah tertentu untuk mengubah beberapa sifat beton. Bahan tambah sika *concrete additive*.

Kuat Tarik Belah

Beton merupakan material yang lemah terhadap tegangan tarik. Kekuatan tarik beton relatif rendah, kira-kira hanya 10%-15% dari kekuatan tekan beton, kadang-kadang 20%. Kekuatan ini lebih

sukar untuk diukur dan hasilnya berbeda-beda dari satu bahan percobaan ke bahan percobaan yang lain dibandingkan untuk silinder-silinder tekan (Fergusen, 1986).

Kekuatan tarik dalam penelitian ini ditentukan dengan menggunakan percobaan tarik belah silinder (*the split cylinder*) dimana silinder ukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm diberikan beban tegak lurus terhadap sumbu longitudinalnya dengan silinder ditempatkan secara horizontal diatas pelat mesin percobaan, benda uji terbelah dua pada saat dicapainya kekuatan tarik.



Gambar 1. Kondisi Pembebanan Kuat Tarik Belah

Sebelum keruntuhan, timbul tegangan tekan biaxial. Pada daerah dibawah beban, yang mempunyai ketahanan terhadap keruntuhan yang besar karena berada dalam kondisi terbungkus (*confined state*).

Kuat Tarik beton dihitung dengan rumus :

$$f_{sp} = \frac{2P}{\pi \cdot d \cdot L}$$

dimana:

- f_{sp} = kuat Tarik belah (Mpa)
- P = beban pada waktu belah (N)
- L = panjang benda uji (mm)
- D = diameter benda uji (mm)
- π = phi

Retak rambut yang mungkin terjadi akibat kering permukaan (*surface drying*), terjadi pada daerah permukaan silinder yang berada dalam daerah tekan, dan tidak akan mempengaruhi sifat beton pada daerah tarik yang berada pada daerah sumbu beban didalam silinder. Dengan demikian kekuatan tarik belah dipengaruhi oleh kondisi kering permukaan dan dapat dianggap sebagai nilai kekuatan tarik beton yang representatif.

Menurut ACI 363.R-92, kekuatan tarik f_{sp} dari pengujian kuat tarik belah ditemukan sebanding dengan $\sqrt{f'c}$, sedemikian sehingga untuk beton berbobot normal :

$$f_{sp} = 0.5 \sqrt{f'c} \text{ sampai } 0.6 \sqrt{f'c} \text{ MPa}$$

untuk beton ringan:

$$f_{sp} = 0.4\sqrt{f'c'} \text{ sampai } 0.5\sqrt{f'c'} \text{ MPa}$$

Kuat Tekan

Kuat tekan dari beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- Jenis semen dan kualitasnya mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.
- Kualitas dari perawatan (curing). Kehilangan sampai 40% dapat terjadi bila pengeringan dilakukan sebelum waktunya.
- Suhu ikat. Pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah seiring dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku (0°C) kuat tekan akan tetap rendah pada waktu lama.
- Umur pada keadaan normal, kekuatan beton akan bertambah seiring dengan bertambahnya umur. Kecepatan pertambahan kekuatan tergantung pada jenis semen. Misalnya semen dengan kadar alumina tinggi menghasilkan beton dengan kuat tekan pada 24 jam setara dengan kuat tekan semen Portland pada 28 hari.

METODOLOGI PENELITIAN

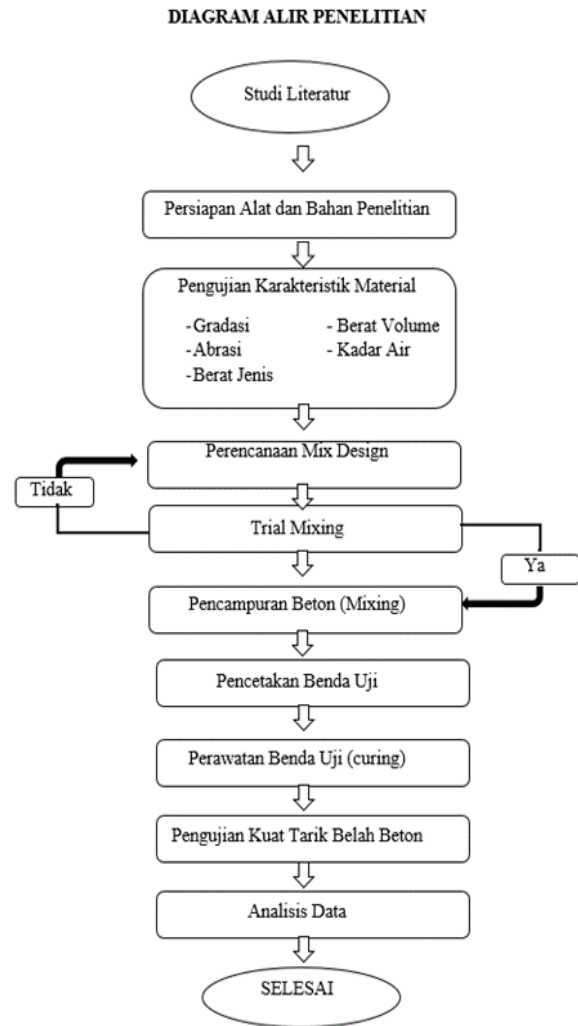
Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan pekerjaan. Diawali dengan studi pustaka, kemudian dilanjutkan dengan penelitian yang dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Material Bangunan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.

Pada pelaksanaan penelitian di laboratorium terdapat beberapa langkah pekerjaan, dimulai dari persiapan material, pemeriksaan material, perencanaan komposisi campuran dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dan pengujian benda uji. Semua pekerjaan dilakukan berpedoman pada peraturan/standar yang berlaku juga dengan penyesuaian terhadap kondisi dan fasilitas laboratorium yang ada.

Pemeriksaan material dibatasi hanya pada material tertentu yang penting dalam perhitungan campuran.

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian, secara garis besar diperlihatkan pada Gambar 2. berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

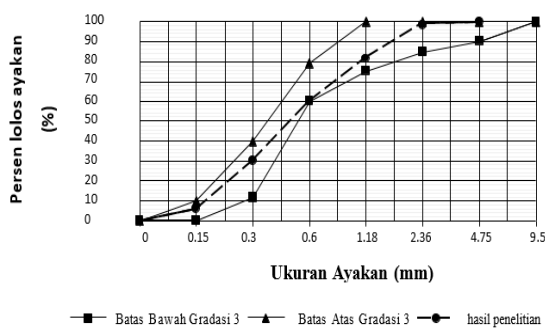
Hasil-hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk beton geopolymer dengan perawatan pada temperatur ruang, kuat tarik belah yang dihasilkan untuk berbagai umur beton untuk komposisi campuran yang digunakan berkisar antara 2,20– 2,90 MPa. Untuk beton geopolymer dengan perawatan ada emperature ruang, kuat tarik belah beton pada umur-umur muda relatif rendah tetapi kuat tekannya masih mengalami peningkatan yang cukup signifikan.

Hasil Pengujian Agregat Halus

Hasil pemeriksaan agregat halus yang telah dilaksanakan pada penelitian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Jenis pemeriksaan	Hasil pemeriksaan	Persyaratan	Standar SNI	Keterangan
Kandungan organik	No.2 (Orange)	1 - 5	SNI 03-2816-1992	Memenuhi syarat
Pemeriksaan SSD (<i>Saturated Surface Dry</i>) Berat jenis	1,47	< 3,8	-	Memenuhi syarat
1). Berat jenis bulk	2,46	-	SNI 03-1970-1990	-
2). Berat jenis SSD	2,86	-	SNI 03-1970-1990	-
3). Berat jenis semu	2,74	-	SNI 03-1970-1990	-
Absortion%	4,17%	< 5%	SNI 03-1970-1990	Memenuhi syarat
Kandungan lumpur	1,04%	< 5%	-	Memenuhi syarat
Gradasi pasir	Daerah III	Daerah III	SNI 03-2384-1992	Memenuhi syarat
Modulus halus butir	2,23	1,5-3,8	-	Memenuhi syarat

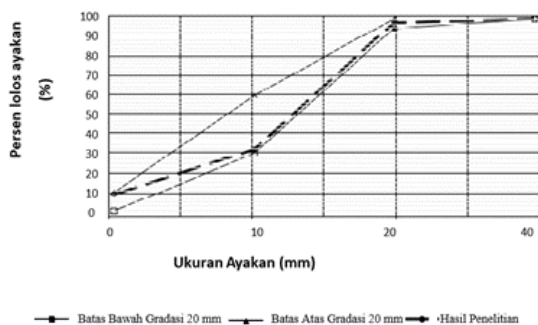


Gambar 3. Hubungan antara Ukuran Ayakan dengan Persen Butir Lolos.

Hasil Pengujian Agregat Kasar

Tabel 2. Hasil pemeriksaan agregat kasar.

Jenis pemeriksaan	Hasil pemeriksaan	Persyaratan	Standar SNI	Keterangan
Berat jenis				
1). Berat jenis bulk	2,33	-	SNI 03-1969-1990	-
2). Berat jenis SSD	2,39	-	SNI 03-1969-1990	-
3). Berat jenis semu	2,48	-	SNI 03-1969-1990	-
Absortion%	2,51	< 3%	SNI 03-1969-1990	Memenuhi syarat
Modulus halus butir	6,37	5 - 8	-	Memenuhi syarat



Gambar 4. Hubungan antara Ukuran Ayakan dengan Persen Butir Lolos

Berat Volume Beton

Berat volume beton adalah perbandingan antara berat beton (berat benda uji) dengan volume beton (volume benda uji). Hasil perhitungan berat volume rata-rata benda uji pada umur 7 hari adalah sebagai berikut:

Contoh perhitungan berat volume beton geopolymer untuk variasi campuran 0%:

Pada benda uji silinder (I)

Berat rata-rata benda uji: 3.59kg

Volume benda uji:

$$\frac{\pi}{4} \times 0,1 \times 0,1 \times 0,2 = 0,001271 \text{ m}^3$$

Berat volume beton:

$$\frac{3.59}{0,0001271} = 2062.381 \text{ kg/m}^3$$

Tabel 3. Berat volume rata-rata pada umur 7 hari

Variasi campuran	Jumlah benda uji	Berat rata-rata benda uji	Berat volume rata-rata (kg/m ³)
0%	3	3.59	2062.381
2.5%	3	3.64	2316.996
5%	3	3.56	2266.073
10%	3	3.58	2278.803

Dengan melihat persyaratan berat volume beton menurut SNI dan ACI, maka menurut hasil diatas, beton tergolong dalam beton normal.

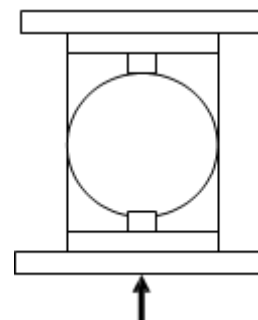
Perencanaan Adukan Beton

Tabel 4. Perencanaan campuran adukan beton geopolymer untuk setiap sampel.

Semen	Sodium Silikat (larutan)	Sodium Hidroksida 14M (larutan)	Ag.Halus (kg)	Ag.Kasar (kg)	Fly Ash (kg)	Superplastisizer (Lt)
0%	1.696	0.679	3.133	7.317	2.692	0.069
2.5%	1.696	0.679	3.133	7.317	2.692	0.069
5%	1.696	0.679	3.133	7.317	2.692	0.069
10%	1.696	0.679	3.133	7.317	2.692	0.069

Kuat Tarik Belah Beton

Cara pengujian kuat tarik belah beton, pada benda uji silinder 100x200 mm seperti pada gambar berikut:



Gambar 5. Cara Pengujian Tarik Belah

Benda Uji : 0% - A
 Diketahui : P= 69 KN= 69000 N
 d= 100 mm
 L= 200 mm
 $\pi= 3.14$ Hitung fsp?

$$F_{sp} = \frac{2P}{\pi \cdot d \cdot L} = \frac{2(69000)}{\pi(100)(200)} = 2.20 \text{ Mpa}$$

Hasil Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan dengan menggunakan alat uji kuat tarik beton *compress testing mechine*.

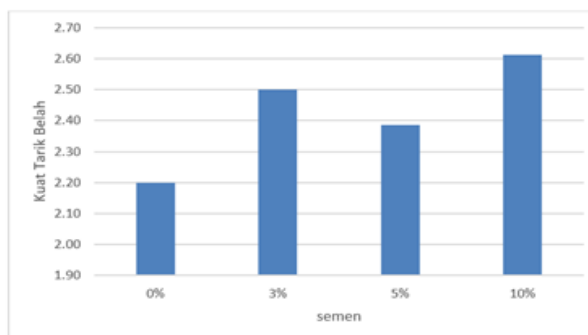
Hasil pengujian kuat tarik beton diperoleh dengan cara mengukur beban maksimum yang dapat ditahan kemudian dibagi dengan luas penampang benda uji tersebut

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton pada umur 7 hari

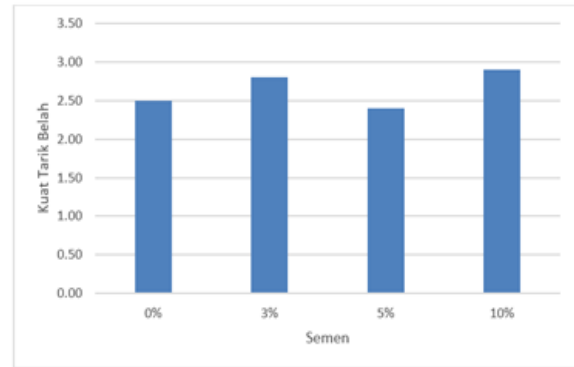
Variasi Semen	Sampel	Pmax (KN)	D _{benda Uji}	L _{benda uji}	fsp (MPa)	fsp rata-rata (MPa)
0%	1	69.0	100	200	2.20	2.20
	2	67.6	100	200	2.15	
	3	70.7	100	200	2.25	
2.5%	1	74.4	100	200	2.37	2.5
	2	82.3	100	200	2.62	
	3	78.9	100	200	2.51	
5%	1	81.6	100	200	2.60	2.39
	2	77.1	100	200	2.45	
	3	66.3	100	200	2.11	
10%	1	92.5	100	200	2.82	2.61
	2	79.5	100	200	2.52	
	3	76.8	100	200	2.50	

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton pada umur 28 hari

Variasi Semen	Sampel	Pmax (KN)	D _{benda Uji}	L _{benda uji}	fsp (MPa)	fsp rata-rata (MPa)
0%	1	81.0	100	200	2.58	2.50
	2	69.5	100	200	2.21	
	3	85.0	100	200	2.71	
2.5%	1	80.7	100	200	2.57	2.80
	2	92.5	100	200	2.95	
	3	90.7	100	200	2.89	
5%	1	73.2	100	200	2.33	2.40
	2	69.1	100	200	2.2	
	3	83.7	100	200	2.66	
10%	1	111.2	100	200	3.54	2.90
	2	89.0	100	200	2.83	
	3	73.1	100	200	2.33	



Gambar 6. Hubungan kuat tarik belah dan variasi campuran semen curing room temperature pada umur 7 hari



Gambar 7. Hubungan kuat Tarik belah dengan variasi campuran semen curing room temperature pada umur 28 hari

Perbandingan Kuat Tarik terhadap Kuat Tekan Beton Geopolymer umur 7 dan 28 hari

Hasil kuat Tarik belah dibandingkan dengan hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan oleh Fiki Tambingon 2018 (Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Perawatan Temperatur Ruangan)

Tabel 7. Perbandingan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan umur 7 hari

umur 7 hari				
semen	Kuat Tekan Rata-rata(MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-rata (Mpa)	$\sqrt{f_c'}$	Koefisien kuat tarik belah terhadap kuat tekan
0%	14.19	2.20	3.77	$0.584\sqrt{f_c'}$
2.5%	18.09	2.50	4.25	$0.588\sqrt{f_c'}$
5%	18.71	2.39	4.33	$0.552\sqrt{f_c'}$
10%	20.50	2.61	4.53	$0.577\sqrt{f_c'}$

Tabel 8. Perbandingan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan umur 28 hari

umur 28 hari				
semen	kuat tekan rata-rata (Mpa)	kuat tarik belah rata-rata (Mpa)	$\sqrt{f_c'}$	Koefisien kuat tarik belah terhadap kuat tekan
0%	21.66	2.50	4.65	$0.537\sqrt{f_c'}$
2.5%	21.53	2.60	4.64	$0.560\sqrt{f_c'}$
5%	25.56	2.62	5.06	$0.519\sqrt{f_c'}$
10%	22.21	2.737	4.71	$0.581\sqrt{f_c'}$

Berdasarkan Tabel 7. dan 8. jika dibandingkan kuat tarik belah beton geopolymer terhadap kuat tekannya didapatkan nilai koefisien beton berbobot normal yaitu

$$f_{sp} = 0.5 \sqrt{f_c'} \text{ sampai } 0.6 \sqrt{f_c'} \text{ MPa}$$

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini maka penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berat volume beton didapatkan pada kisaran 2233 – 2282 kg/m³ dan termasuk pada golongan beton berat normal.
2. Nilai kuat tarik tertinggi beton *geopolymer* adalah 2,90 MPa, pada variasi pencampuran umur beton 28 hari untuk beton *geopolymer* dengan variasi penambahan semen 10%.
3. Untuk beton *geopolymer* dengan perawatan pada temperature ruang, kuat tarik belah beton pada umur-umur muda relatif rendah tetapi kuat tekannya masih mengalami peningkatan yang cukup signifikan.
4. Jika dibandingkan kuat tarik belah Beton *geopolymer* terhadap kuat tekannya didapatkan nilai koefisien beton berbobot normal yaitu $f_{sp} = 0.5 \sqrt{f_c'}$ sampai $0.6 \sqrt{f_c'}$ MPa
5. Beton *geopolymer* dapat dijadikan alternatif pengganti beton normal, akan tetapi kurang

efisien dalam hal pekerjaan dan biaya, dan kurang baik untuk beton bertulang karena bahan kimia yang dipakai memiliki sifat korosi yang dapat merusak besi tulangan. Oleh karena itu beton *geopolymer* lebih cocok untuk perbaikan atau perawatan saja.

Saran

Saran-saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Dalam pembuatan beton *geopolymer* ini *setting time* yang terjadi sangat cepat, sehingga dibutuhkan zat *additive* untuk menghambat terjadinya pengikatan awal.
2. Agar diperoleh sampel yang baik perlu diperhatikan pada cara pengadukan dan pemadatan, karena apabila dalam pemadatan tidak baik sampel akan mengalami keropos yang dapat mempengaruhi hasil uji.
3. Selama pelaksanaan pekerjaan pembuatan beton *geopolymer* ini, sebaiknya menggunakan perlengkapan pelindung seperti masker dan sarung tangan karena *fly ash* dan zat kimia yang digunakan sangat berbahaya bagi tubuh manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 232.2R-03, 2003. *Use of Fly Ash in Concrete*. Reported by ACI Committee 232, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan 48333-9094.
- Aer, Anggie., 2014. *The Effect of Superplasticizer Variation Toward the Slump of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Universitas Sam Ratulangi. Manado
- Davidovits, J., 1999. *Chemistry of Geopolymer System, Terminology*. Paper presented at the Geopolymer '99 International Conference, Saint-Quentin, France.
- Hardjito, D., Rangan B. V., 2005. *Development and properties of Low-calcium fly ash-based Geopolymer concrete*, Research Report GC 1 Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth, Australia.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., dan Rangan B. V., 2004. *On The Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*, Technical Paper No. 101-M52, ACI Material Journal, Vol. 101, No. 6, November-Desember, American Concrete Institute.
- Hartanto, Daniel A., 2007. *Pembuatan Beton Geopolymer dengan Menggunakan Sisa Beton Semen*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Manuahe, Riger., 2014. *Compressive Strength of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Universitas Sam Ratulangi. Manado

- Shuaibu, R. A., 2014. *Compressive Strenght of Low Calcium Fly Ash Geopolymer Concrete*. Internasional Journal of Emerging Technology and Advance Engineering Vol. 4
- Sumajouw, M. D. J., dan Dapas, Servie. 2013. *Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer*. Penerbit Andi Yogyakarta.
- 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 (641-648) ISSN: 2337-6732., Universitas Sam Ratulangi. Manado