

# PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON GEOPOLIMER DENGAN PENAMBAHAN SEMEN PUTIH PADA PERAWATAN TEMPERATUR RUANGAN

Maria Sari Pati

Banu Dwi Handono, Steenie E. Wallah

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: [pati.mariasari@gmail.com](mailto:pati.mariasari@gmail.com)

## ABSTRAK

*Beton geopolimer adalah beton yang tidak menggunakan semen portland dalam campurannya. Beton geopolimer adalah suatu material yang relatif baru dikembangkan yang mempunyai beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan beton konvensional yang menggunakan semen portland. Pada beton geopolimer unsur-unsur yang mengikat agregat kasar dan agregat halus terdapat pada silica dan alumina pada fly ash yang beraksi dengan carian alkali sehingga membentuk pasta geopolimer. Untuk mendukung terjadinya pengikatan, perawatan beton geopolimer dilakukan dengan perawatan temperature, 60°C atau 90°C.*

*Pada penelitian ini meskipun beton geopolimer tidak menggunakan semen portland sebagai bahan pengikat, maka dalam penelitian ini dilakukan penambahan semen dengan jenis semen portland putih pada beton geopolimer dengan variasi penambahan semen putih 0%, 5%, 10% dan 15% dan untuk mendukung terjadinya pengikatan, perawatan beton geopolimer dilakukan dengan perawatan temperature ruangan. Menggunakan benda uji silinder 10/20cm dan umur pengujian 7 hari dan 28 hari.*

*Hasil penelitian nilai kuat tarik belah beton geopolimer mengalami kenaikan hingga 11,77% dari umur beton 7 hari ke 28 hari, dengan kekuatan berkisar 1,97-2,24 MPa untuk umur 7 hari dan 2,03-2,5 MPa untuk umur 28 hari pada perawatan temperature ruangan. Pada temperatur tinggi nilai kuat tarik belah naik signifikan berkisar 2,78-3,103 MPa umur beton 7 hari dan 2,82-3,21 MPa untuk umur 28 hari dengan perawatan curing time 24 jam 90°C.*

**Kata Kunci : Beton Geopolimer, Semen Putih, Kuat Tarik Belah, Temperatur Ruang**

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Sebagai negara yang sedang berkembang, Indonesia melakukan beberapa pembangunan di segala bidang, khususnya dalam bidang konstruksi. Pembangunan di bidang konstruksi adalah salah satu pembangunan yang sangat terlihat perkembangannya. Terbukti dengan adanya penambahan jumlah dari gedung-gedung, jembatan, serta jalan raya. Dengan bertambahnya proses konstruksi dalam Negara Indonesia, ini berarti menambah keperluan akan bahan dasar utama pembangunan yaitu semen.

Pada satu tahun terakhir, konsumsi semen domestic tercatat sebesar 63,23 juta ton (TEMPO.CO, *Ekspor Semen Indonesia*) yang itu artinya 63,23 juta ton CO<sub>2</sub> telah dilepaskan ke atmosfer setiap tahunnya. Menurut *International Energy Authority : World Energy Outlook 2017*, jumlah karbon dioksida yang dihasilkan pada tahun 2017 merupakan yang tertinggi mencapai 32,5 gigaton. Berdasarkan data tersebut produksi

semen portland menyumbang tujuh persen dari keseluruhan karbon dioksida yang dihasilkan dari berbagai sumber.

Dari permasalahan di atas, maka harus mencari variasi bahan yang dapat menggantikan penggunaan semen sebagai bahan utama beton konvensional atau setidaknya mencari cara sehingga semen yang digunakan dalam persentase kecil. Joseph Davidovits memperkenalkan bahan geopolimer dengan karakteristik dari beton geopolimer yang bermacam-macam tergantung dari bahan pembentuk geopolimernya, diantaranya: *fly ash*, *pozzolan* dan lainnya. Beton geopolimer adalah beton yang tidak menggunakan semen portland dalam produksinya. Dari beberapa penelitian terakhir, beton geopolimer memberikan performa luar biasa pada waktu ikat, susut, rangkai dan ketahanan bahan korosif (ME Suryatriyastuti, 2008).

Pada penelitian kali ini, peneliti akan menguji beton geopolimer dengan menggunakan *curing* temperatur suhu ruangan. Untuk mencapai kekuatan beton yang baik pada suhu ruangan maka peneliti menambahkan semen putih dalam persentase kecil

untuk meningkatkan reaksi polimerisasi yang signifikan.

Penambahan semen putih juga dilakukan agar proses hidrasi cepat terjadi tanpa adanya perlakuan pada *elevated temperature*. Jika beton geopolimer dengan penambahan semen putih (dengan persentasi kecil) mencapai kekuatan yang baik pada suhu ruangan maka produksi semen portland akan berkurang dan pemanfaatan *fly ash* akan meningkat. Maka permasalahan CO<sub>2</sub> yang telah dibahas sebelumnya akibat produksi semen Portland akan terpecahkan.

### Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas penulis melakukan penelitian mengenai pembuatan beton geopolimer berbasis *fly ash* dengan menambahkan semen putih 5%, 10%, dan 15% dari berat *fly ash* pada komposisi beton geopolimer dengan melakukan perawatan temperatur ruang (*ambient curing*) untuk aspek kuat tarik belah beton geopolimer.

### Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada beberapa yaitu:

1. Material pembentuk beton geopolimer:
  - a. Abu terbang (*fly ash*) dari PLTU Amurang.
  - b. Cairan Alkalin yaitu kombinasi cairan sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) dan sodium hidroksida (NaOH).
  - c. Superplastisizer digunakan Sikacim dengan merk dagang Sika.
  - d. Agregat kasar yang di pakai yaitu batu pecah dari Lansot.
  - e. Agregat halus yang di pakai yaitu pasir dari Girian.
  - f. Semen Putih merk Tiga Roda.
2. Benda uji: Silinder 100/200 mm.
3. Perawatan benda uji menggunakan ambient curing (suhu ruangan).
4. Penambahan semen putih 5%, 10%, 15% dari berat *fly ash*.
5. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tarik belah (*Splitting tensile strength test*) pada umur 7 dan 28 hari.

### Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan nilai kuat tarik belah beton geopolimer dengan penambahan bahan pengikat (semen putih).
2. Untuk mendapatkan nilai perbandingan kuat tarik belah terhadap kuat tekan beton geopolimer dengan perawatan pada temperatur ruang.

### Manfaat Penelitian

1. Diharapkan dapat dijadikan acuan dalam melaksanakan pembuatan campuran beton geopolimer dengan penambahan semen putih.
2. Untuk mendapatkan nilai kuat tarik belah optimum dengan variasi penambahan semen putih.
3. Menambah pengetahuan tentang sifat mekanik beton geopolimer dengan penambahan semen putih terutama pengaruhnya terhadap kuat tarik belah beton tersebut pada perawatan temperatur ruangan.

## LANDASAN TEORI

### Beton Geopolimer

Beton geopolimer adalah jenis beton yang dibuat tanpa menggunakan Semen Portland (SP) sebagai bahan pengikat. Sebagai pengganti semen Portland, digunakan *fly ash* yang kaya silika dan alumina dicampur dengan cairan alkalin untuk dijadikan bahan pengikat (Sumajouw & Dapas, 2013).

Davidovits (1988) mengatakan bahwa cairan alkali dapat digunakan untuk beraksi dengan silikon (Si) dan aluminium (Al) dalam bahan sumber yang berasal dari geologi atau bahan pendukung lainnya seperti abu terbang dan abu sekam padi untuk menghasilkan bahan pengikat.

Karena reaksi kimia yang berlangsung, dalam hal ini adalah proses polimerisasi, maka Davidovits (1994, 1999) menciptakan istilah 'Geopolimer' untuk mewakili bahan pengikat tersebut.

### Material Penyusun Beton Geopolimer

#### *Fly Ash*

*Fly ash* merupakan limbah batu bara padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik. Proses pembakaran batu bara pada pembangkit uap (*boiler*) akan membentuk dua jenis abu, yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Komposisi abu batu bara terdiri 10-20% abu dasar dan 80-90% abu terbang (Mira Setiawan, 2018).

Menurut ACI Committee 226, dijelaskan bahwa abu terbang (*fly ash*) mempunyai butiran yang halus yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili microm) 5-27% (Nugraha. P dan Antoni, 2007). Sifat kimia dari *fly ash* batu bara sebagian besar terdiri dari silika (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), besi oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), kalsium (CaO); dan magnesium, potassium, sodium, titanium, dan belerang dalam jumlah sedikit (Nugraha & Antoni, 2007).

Beton geopolimer di buat dengan menggunakan bahan dasar abu terbang rendah

kalsium (*low-calcium fly ash*) yang menurut kategori ASTM berada pada kelas F (Sumajouw & Dapas, 2013).

### **Alkalin Aktivator (Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida)**

Aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Aktivator yang digunakan yaitu Sodium hidroksida (NaOH) dan Sodium silika ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat, sedangkan Sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi (Hardjito et al, 2004).

### **Superplasticizer**

*Superplasticizer* merupakan bahan tambah additive (admixture) yang dicampurkan kedalam campuran beton dan telah terbukti meningkatkan kinerja beton hampir disemua aspek, yaitu kekuatan, kemudahan pengerjaan, keawetan dan kinerja-kinerja lainnya dalam memenuhi tuntutan teknologi konstruksi modern (ASTM C494-82). Selain itu *superplasticizer* juga memiliki salah satu fungsi utama yaitu mengurangi jumlah penggunaan air (Wijaya, 2018).

Wijaya (2018) menyatakan bahwa penambahan *superplasticizer* pada beton geopolimer menghasilkan pengaruh positif, yaitu dengan semakin banyak penambahan kadar *superplasticizer* maka kuat tekan yang dihasilkan akan bertambah juga dan juga untuk proses pengikatannya semakin melambat hal ini dikarenakan semakin banyak kadar penggunaan *superplasticizer* akan menjadikan beton geopolimer semakin encer dan secara tidak langsung proses pengerjaannya semakin mudah.

### **Semen Portland Putih**

Semen portland putih merupakan semen hidrolis yang berwarna putih yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland putih yang terutama terdiri dari kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat (SNI 15-2049-2004).

Kurca O & Sahin M (2002) dalam pembahasannya menyatakan bahwa pembuatan beton dengan kuat tekan berkisar antara 25-27 MPa dapat terjadi dengan menggunakan semen putih. Semen putih memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dan lebih cepat mencapai kuat tekan ultimit dibandingkan dengan semen biasa (Hamad BS, 1995).

### **Agregat Kasar**

Agregat kasar merupakan pecahan kasar yang dapat terdiri dari batuan berbutir halus atau kasar yang mengandung bahan-bahan berkristal yang tidak dapat terlihat dengan jelas melalui pemeriksaan visual.

### **Agregat Halus**

Agregat halus merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton.

### **Kuat Tarik Belah**

Kuat tarik belah adalah salah satu parameter penting kekuatan beton. Nilai kuat tarik belah diperoleh melalui pengujian tekan di laboratorium dengan membebani setiap benda uji silinder secara lateral sampai pada kekuatan maksimum. Kekuatan tarik beton relative rendah, kira-kira hanya 10%-15% dari kekuatan tekan beton, kadang-kadang 20% (Ferguseon, 1986).

Kuat tarik dengan uji belah silinder dapat ditentukan dengan persamaan (SNI 03-2491-2002):

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$$

Dimana:

$f_{ct}$  = Kuat Tarik Belah Beton ( $\text{N/mm}^2$ )

P = Beban pada Waktu Belah (N)

L = Panjang Benda Uji Silinder (mm)

D = Diameter benda uji Silinder (mm)

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

$$f_{sp} = 0,5 \sqrt{f'c} \text{ sampai } 0,6 \sqrt{f'c} \text{ MPa}$$

Dimana:

$f_{sp}$  = Kuat Tarik Belah (MPa)

$f'c$  = Kuat Tekan Beton (MPa)

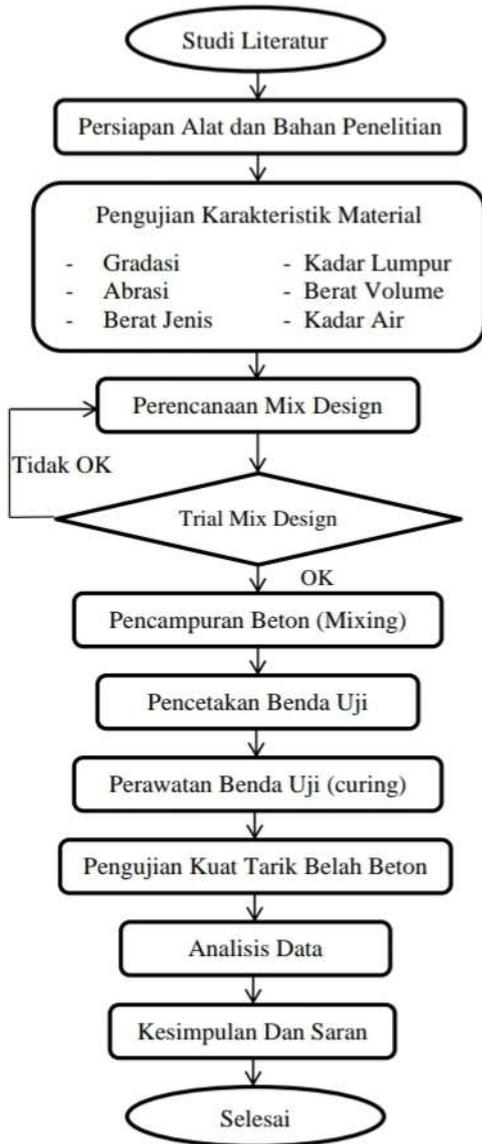
## **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian merupakan cara atau langkah yang dipakai untuk memahami obyek yang menjadi sasaran, sehingga dapat mencapai tujuan. Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat benda uji (sampel) yang di Laboratorium Struktur dan Material Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi. Benda uji dalam penelitian ini adalah beton geopolimer dengan penambahan semen putih dengan variasi 0%, 5%, 10% dan 15% dari total berat fly ash. Waktu pengujian benda uji dilakukan setelah beton geopolimer berumur 7 hari dan 28 hari dan menggunakan jenis perawatan temperatur ruangan dan *elevated temperature*

curing (oven) pada suhu 90°C selama 24 jam. Metode penelitian dimulai dengan persiapan bahan, pemeriksaan bahan, perencanaan campuran hingga pencetakan dan dilanjutkan dengan pengujian benda uji untuk mendapatkan hasil yang sesuai sehingga dapat mencapai tujuan penelitian.

**Diagram Alir Penelitian**

Berikut merupakan tahapan penelitian secara garis besar yang dirangkum dalam bentuk diagram alir.



**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**Komposisi Campuran**

Komposisi campuran yang digunakan untuk penelitian ini adalah mengacu pada hasil penelitian Tambingon F.R (2018) yang kemudian disesuaikan untuk komposisi campuran dengan penambahan semen putih

sebanyak 5%, 10% dan 15% dari berat *fly ash*. Setelah dilakukan beberapa kali trial mix didapatkan komposisi campuran sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi Campuran Beton Geopolimer dengan penambahan Semen Putih

Material	Tanpa Penambahan Semen Putih	Penambahan Semen Putih		
		5%	10%	15%
Agregat Kasar (Batu Pecah) (kg/m <sup>3</sup> )	1294	1282,922	1272,032	1261,325
Agregat Halus (Pasir Halus) (kg/m <sup>3</sup> )	554	549,257	544,595	540,011
Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ) (kg/m <sup>3</sup> )	476	471,925	467,919	463,980
Semen Putih (kg/m <sup>3</sup> )	0	23,800	47,600	71,400
Cairan Sodium Hidroksida (kg/m <sup>3</sup> )	120	118,973	117,963	116,970
Cairan Sodium Silika (kg/m <sup>3</sup> )	300	297,432	294,907	292,425
Superplaticizer (kg/m <sup>3</sup> )	12	12,096	11,993	11,892

**Pemeriksaan Berat Volume Beton**

Berat volume beton merupakan perbandingan antara berat beton terhadap volumenya (volume benda uji). Berat volume benda uji didapat setelah benda uji dilepas dari cetakan yang dibiarkan selama 24 jam kemudian ditimbang. Hasil berat volume dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Rata-rata Berat Volume Beton Geopolimer dengan Perawatan Temperatur Udara

Variasi Semen (%)	Berat Benda Uji Rata Rata (kg)		Volume Beton (m <sup>3</sup> )	Rata-rata Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	
	7 Hari	28 Hari		7 hari	28 hari
0	3,5014	3,5196	0,00157	2230,212	2241,762
5	3,4513	3,4796	0,00157	2198,259	2216,285
10	3,4878	3,4753	0,00157	2221,507	2213,567
15	3,4307	3,4772	0,00157	2185,138	2214,756

Tabel 3. Rata-rata Berat Volume Beton Geopolimer dengan *Elevated Temperature Curing* (oven) pada suhu 90°C selama 24 jam

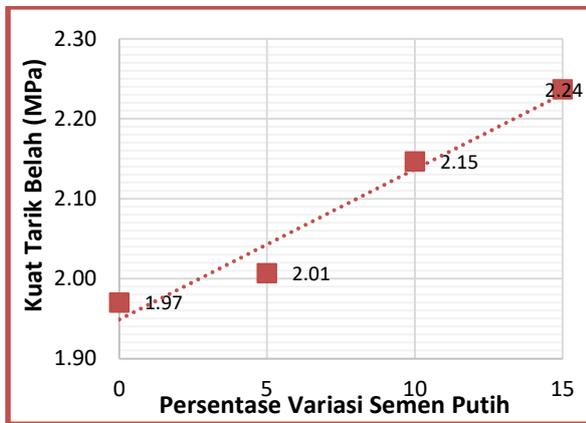
Variasi Semen (%)	Berat Benda Uji Rata Rata (kg)		Volume Beton (m <sup>3</sup> )	Rata-rata Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	
	7 Hari	28 Hari		7 hari	28 hari
0	3,5088	3,4944	0,00157	2234,926	2225,711
5	3,4686	3,4529	0,00157	2209,278	2199,299
10	3,4366	3,4078	0,00157	2188,917	2170,594
15	3,4275	3,4378	0,00157	2183,142	2189,682

Berdasarkan tabel 2 dan tabel 3 dapat dilihat bahwa berat volume rata-rata *elevated temperature curing* lebih ringan daripada berat volume rata-rata pada perawatan temperatur ruangan. Berat volume rata-rata beton pada kedua jenis perawatan berkisar sekitar 2170,594 kg/m<sup>3</sup>- 2241,726 kg/m<sup>3</sup>. Dari hasil data tersebut, dengan melihat persyaratan berat volume beton menurut SNI dan ACI, maka beton tergolong dalam beton normal.

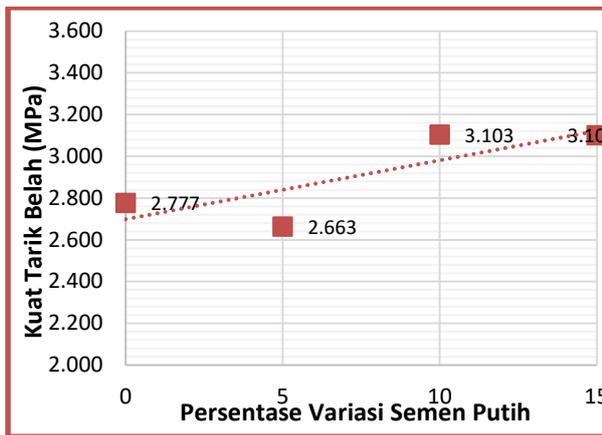
**Pemeriksaan Kuat Tarik Belah**

Tabel 4. Nilai Rata-Rata Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Umur 7 Hari

No	Variasi Penambahan Semen Putih (%)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata Umur 7 Hari (MPa)	
		Temperatur Ruangan	Elevated Curing (90 °C)
1	Tanpa Penambahan Semen Putih	1,97	2,78
2	5	2,01	2,66
3	10	2,15	3,10
4	15	2,24	3,10



Gambar 1. Grafik Nilai Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer dengan Perawatan Temperatur Ruangan Umur 7 Hari



Gambar 2. Grafik Nilai Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer dengan *Elevated Temperature Curing* 90°C selama 24 jam Umur 7 Hari

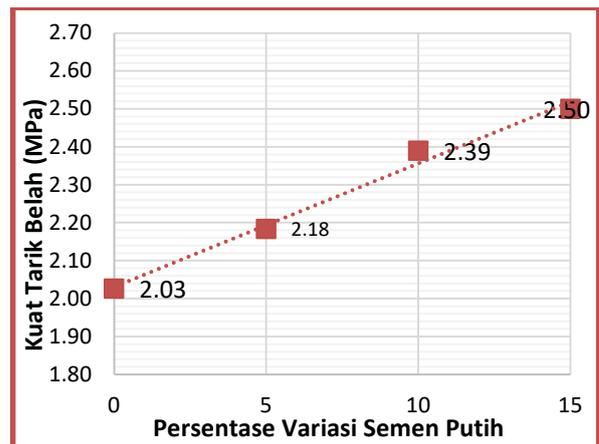
Pada gambar 1 untuk beton geopolimer dengan jenis perawatan temperature ruangan, dapat disimpulkan bahwa semakin bertambah persentase variasi penambahan semen putih maka semakin meningkat juga nilai kuat tarik belah.

Pada gambar 2 persentase variasi penambahan semen putih 5% nilai kuat tarik belah beton

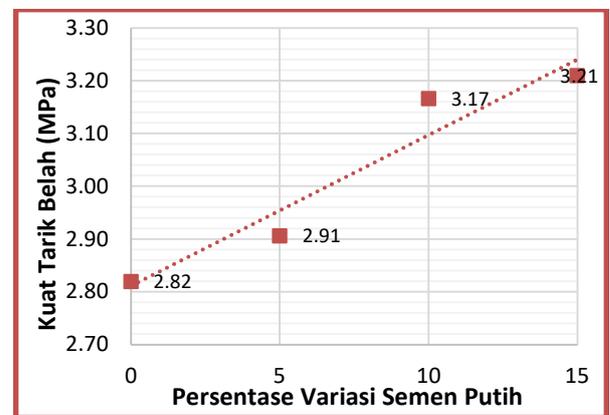
mengalami penurunan dari 2,78 MPa (untuk kondisi beton tanpa penambahan semen putih) menjadi 2,66 MPa. Kemudian mengalami peningkatan untuk penambahan semen putih 10% dengan nilai rata-rata kuat tarik belah sebesar 3,103 MPa. Untuk penambahan semen putih 15% nilai rata-rata kuat tarik belah mengalami penurunan sebesar 0,1% terhadap penambahan semen putih 10%. Nilai rata-rata kuat tarik belah maksimum ada pada persentase penambahan semen putih 10%.

Tabel 5. Nilai Rata-Rata Kuat Tarik Belah Betoh Geopolimer Umur 28 Hari

No	Variasi Penambahan Semen Putih (%)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata Umur 28 Hari (MPa)	
		Temperatur Ruangan	Elevated Curing (90 °C)
1	Tanpa Penambahan Semen Putih	2,03	2,82
2	5	2,18	2,91
3	10	2,39	3,17
4	15	2,50	3,17



Gambar 3. Grafik Nilai Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer dengan Perawatan Temperatur Ruangan Umur 28 Hari



Gambar 4. Grafik Nilai Rata-rata Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer dengan *Elevated Temperature Curing* 90°C selama 24 jam Umur 28 Hari

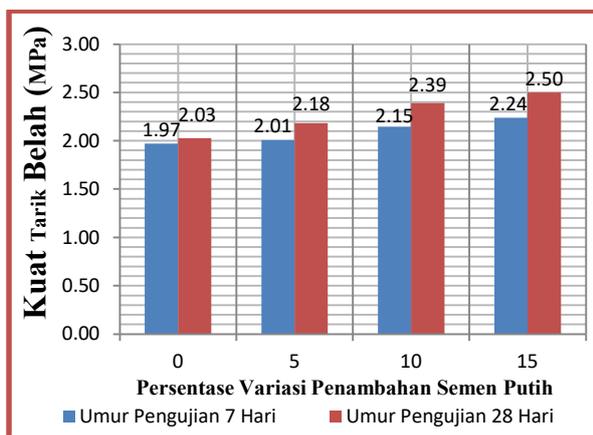
Gambar 3 dan gambar 4, grafik menunjukkan bahwa nilai kuat tarik belah beton geopolimer yang diperoleh dari perawatan temperature ruangan dan perawatan *elevated temperature* 90°C selama 24 jam dengan penambahan semen putih mengalami peningkatan. Dari masing-masing penambahan semen putih 5%, 10% dan 15% mengalami peningkatan kekuatan berkisar 2,03-2,50 MPa untuk perawatan temperature ruangan dan 2,82-3,21 MPa untuk *elevated temperature curing* 90°C selama 24 jam.

**Persentase Kenaikan Kuat Tarik Belah**

Dari tabel hasil pemeriksaan kuat tarik belah beton umur 7 hari dan kuat tarik belah beton umur 28 hari dapat dibuat grafik persentase kenaikan kuat tarik belah pada umur 7 hari dan 28 hari seperti pada tabel berikut:

Tabel 6. Nilai Rata-Rata Persentase Kenaikan Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Umur 7 Hari ke 28 Hari pada Perawatan Temperatur Ruangan

No	Variasi Penambahan Semen Putih	Kuat Tarik Belah (MPa)		Kenaikan Kuat Tarik Belah Rata-rata (%)
		7 Hari	28 Hari	
1	0%	1,97	2,03	2,88
2	5%	2,01	2,18	8,80
3	10%	2,15	2,39	11,34
4	15%	2,24	2,50	11,77



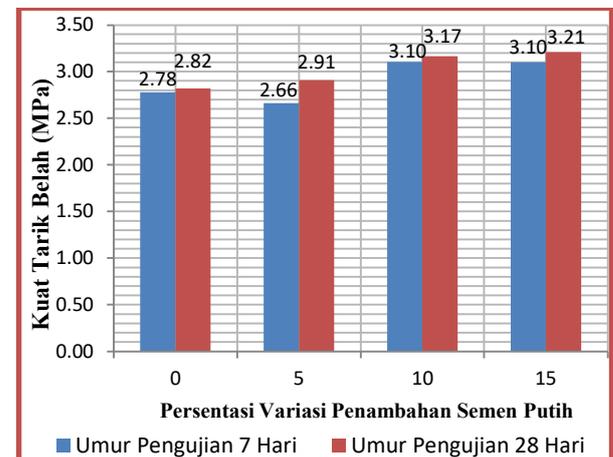
Gambar 5. Grafik Persentase Kenaikan Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Umur 7 Hari ke 28 Hari pada Perawatan Temperatur Ruangan

Berdasarkan gambar 5 dapat disimpulkan bahwa semakin bertambah umur pengujian beton, kekuatan kuat tarik belah beton juga akan semakin meningkat. Berdasarkan hasil pengujian, penambahan semen putih memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tarik belah beton pada umur 28 hari. Persentase kenaikan kuat tarik

belah optimum terdapat pada beton geopolimer dengan penambahan semen putih 15% dengan besar kenaikan dari umur beton 7 hari ke umur beton 28 hari sebesar 11,77%.

Tabel 7. Nilai Rata-Rata Persentase Kenaikan Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Umur 7 Hari ke 28 Hari pada *Elevated Temperature Curing* 90°C selama 24 jam Umur 28 Hari

No	Variasi Penambahan Semen Putih	Kuat Tarik Belah (MPa)		Kenaikan Kuat Tarik Belah Rata-rata (%)
		7 Hari	28 Hari	
1	0%	2,78	2,82	1,56
2	5%	2,66	2,91	9,14
3	10%	3,10	3,17	2,04
4	15%	3,10	3,21	3,55



Gambar 6. Grafik Persentase Kenaikan Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Umur 7 Hari ke 28 Hari pada *Elevated Temperature Curing* 90°C selama 24 jam Umur 28 Hari

Dari gambar 6 dapat disimpulkan bahwa semakin bertambah umur pengujian beton, kekuatan kuat tarik belah beton juga akan semakin meningkat. Namun jika dibandingkan dengan perawatan suhu ruang, hasil pengujian nilai kuat tarik belah pada perawatan *elevated temperature* tidak mengalami peningkatan yang signifikan.

Dari tabel 6 dan tabel 7 didapati perbedaan besar kenaikan untuk tiap variasi penambahan semen. Pada perawatan temperature ruangan semakin besar persentase variasi penambahan semen, semakin besar pula persentase kenaikan yang dihasilkan dari umur 7 ke 28 hari. Sedangkan untuk *elevated temperature curing* besar persentase kenaikan untuk tiap persentase variasi penambahan semen berubah-ubah.

Pada gambar 5 dan gambar 6 dapat disimpulkan

bahwa kenaikan kuat tarik belah dari umur 7 hari ke 28 hari untuk *curing* pada *elevated temperature* lebih kecil dari pada *curing room temperature*, yang awalnya pada umur 7 hari laju kenaikan kuat tarik beton geopolimer untuk *curing elevated temperature* mula-mula berlangsung cepat lama kelamaan menjadi lambat. Hal ini disebabkan karena sebenarnya *elevated temperature* mempercepat reaksi kimia yang terjadi.

**Perbandingan Nilai Kuat Tarik Belah Dengan Kuat Tekan Beton**

Hasil pengujian kuat tarik belah dibandingkan dengan hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan oleh Roynaldo Tjoanto, 2021 (Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Penambahan Semen Putih Pada Perawatan Temperatur Ruangan) adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Nilai Rata-Rata Perbandingan Kuat Tarik Belah Terhadap Akar Kuadrat Kuat Tekan pada Perawatan Temperatur Ruangan

No	Variasi Penambahan Semen Putih (%)	Umur (hari)	f <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>ct</sub> (Mpa)	Perbandingan	
					√f <sub>c</sub>	f <sub>ct</sub> /√f <sub>c</sub>
1	0	28	21,63	2,03	4,6	0,44
2	5	28	24,72	2,18	4,9	0,44
3	10	28	26,51	2,39	5,1	0,46
4	15	28	29,48	2,50	5,4	0,46

Tabel 8. Nilai Rata-Rata Perbandingan Kuat Tarik Belah Terhadap Akar Kuadrat Kuat Tekan pada *Elevated Temperature Curing* 90°C selama 24 jam

No	Variasi Penambahan Semen Putih (%)	Umur (hari)	f <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>ct</sub> (MPa)	Perbandingan	
					√f <sub>c</sub>	f <sub>ct</sub> /√f <sub>c</sub>
1	0	28	27,26	2,82	5,22	0,54
2	5	28	27,03	2,91	5,20	0,56
3	10	28	27,79	3,17	5,27	0,60
4	15	28	27,23	3,21	5,22	0,62

Berdasarkan tabel 7 dan 8, jika kuat tarik belah beton geopolimer dibandingkan dengan kuat tekannya untuk masing-masih jenis perawatan

maka diperoleh interval dari  $0,44(\sqrt{f'c})-0,62(\sqrt{f'c})$  pada umur beton 28 hari.

**PENUTUP**

**Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berat volume rata-rata beton dengan penambahan semen putih berkisar sekitar 2170,594 kg/m<sup>3</sup>- 2241,726 kg/m<sup>3</sup>. Dari hasil data tersebut, dengan melihat persyaratan berat volume beton menurut SNI dan ACI, maka beton tergolong dalam beton normal.
2. Penelitian “Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Geopolymer Pada Perawatan Temperatur Ruangan (Pangloly, 2018)” menyimpulkan bahwa nilai rata-rata kuat tarik belah maksimum terdapat pada penambahan semen 10% sebesar 2,90 MPa. Pada penelitian ini, nilai rata-rata kuat tarik belah maksimum berada pada penambahan semen putih 15% sebesar 2,50 MPa.
3. Nilai rata-rata kuat tarik belah beton geopolimer dengan penambahan semen putih pada perawatan suhu ruangan lebih tinggi daripada beton geopolimer tanpa penambahan semen putih. Peningkatan kekuatan sebesar 7,73% pada penambahan semen putih 5%, sebesar 9,47% pada penambahan semen putih 10%, sebesar 4,60% pada penambahan semen putih 15% pada umur 28 hari.
4. Dari hasil penelitian pada perawatan temperature ruangan dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan semen putih, nilai kuat tarik belah juga semakin meningkat ( $Y = 2.036 + 0.032x$ , dimana Y = kuat tarik belah dan x = persentase semen putih).
5. Persentase kenaikan paling optimum terdapat pada perawatan temperature ruangan dengan campuran semen putih sebanyak 15% dari 2,24 MPa ke 2,50 MPa.
6. Dibandingkan dengan perawatan suhu ruang, hasil pengujian nilai kuat tarik belah pada *elevated temperature* tidak mengalami peningkatan yang signifikan.
7. Perbandingan kuat tarik belah terhadap kuat tekan beton untuk secara keseluruhan kedua jenis perawatan didapat interval dari  $0,44(\sqrt{f'c})-0,62(\sqrt{f'c})$  pada umur beton 28 hari.

**Saran**

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang dilakukan maka dapat diberikan saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mencoba lebih mevariasikan persentase penambahan semen putih untuk mendapatkan nilai yang lebih optimum.
2. Karena workabilitas dari beton geopolimer yang cepat mengeras dan melekat maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk beton geopolimer dengan penambahan semen putih dengan mevariasikan kadar *superlasticizer*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ACI 363 R-92, 1993, *State-of-the-Art Report of High Strength Concrete*, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Materials and General properties of concrete.
- Davidovits, J. 1988. *Soft Mineralurgy and Geopolymer* 88 International Conference, The Universite de Technologie, Compiegne, France.
- Davidovits, J. 1994. *High-alkali cements for 21st century concretes*. In concrete technology, past, present and future. In proceedings of V. Mohan Malhotra Symposium. 1994. Editor: .Kumar Metha, ACI SP-144. Pp: 383-397.
- Davidovits, J., 1999. *Chemistry of Geopolymer System, Terminology*. Paper presented at the Geopolymer '99 International Conference, Saint-Quentin, France.
- Hamad BS, *Inverstigationi of Chemical and Propoerties of White Cement Concrete*, Advanced Cement Based Materials, 4 (1995) 161-167.
- Hardjito, D., Wallah S.E., and Rangan B.V., 2004. *Factor Influencing the Compressive Strength of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*, Civil Engineering Dimension 6. Issue: 2, hal. 88
- Kurca O & Sahin M, *Ready Mix White Concrete Applications*, paper presented at 5<sup>th</sup> National Concrete Symposium, Istanbul, Turkey, 2002.
- Nugraha Paul dan Antoni, 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta. Andi Offset
- SNI 15-0129-2004, *Semen Portland Putih*, Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2834-1993, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*
- SNI 03-2491-2002, *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*
- Sumajouw, D. M. J., Dapas, S. O., 2013. *Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Tambingon F.R., 2018. *Kuat Tekan Beton Geopolymer Dengan Perawatan Temperatur Ruangan*. Jurnal Sipil Statik, Vol.6, No.9, (641-648).