

# PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER DENGAN PENAMBAHAN SEMEN PUTIH PADA PERAWATAN SUHU RUANG

Roynaldo Tjoanto

Steenie E. Wallah, Banu Dwi Handono

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: [tjoantoroynaldo@gmail.com](mailto:tjoantoroynaldo@gmail.com)

## ABSTRAK

*Beton geopolimer 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. Salah satu kelebihan beton geopolimer selain tahan terhadap api adalah dapat mengurangi polusi udara, sedangkan kekurangannya ialah dalam membuatnya sedikit rumit dari beton konvensional. Pada penelitian ini meskipun beton geopolimer tidak menggunakan semen seutuhnya maka dalam penelitian ini akan dilakukan penambahan semen putih pada beton geopolimer untuk membuat kuat tekan beton meningkat pada perawatan temperatur ruangan.*

*Pada penelitian ini dilakukan penambahan semen Portland putih dengan variasi penambahan semen putih 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap total berat fly ash. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder 10/20 cm dengan umur pengujian 7 hari dan 28 hari. Perawatan beton geopolimer dilakukan dengan perawatan suhu ruang dan perawatan temperatur dengan suhu 90°C.*

*Hasil penelitian nilai kuat tekan beton geopolimer pada perawatan suhu ruang mengalami kenaikan 37.19% dari umur beton 7 hari ke 28 hari yang kekuatan pada 7 hari berkisar 16.68 - 22.8 MPa dan 21.64 - 29.87 MPa untuk umur 28 hari. Pada perawatan elevated temperature 90°C nilai kuat tekan tidak ada perubahan signifikan yang berkisar 25.69 - 27.93 MPa umur beton 7 hari dan 27.04 - 27.79 MPa untuk umur beton 28 hari*

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

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Dalam dunia konstruksi, beton adalah material bangunan yang paling sering di pakai, yang komposisi utamanya ialah agregat kasar, agregat halus, air dan semen, merupakan material yang sangat penting untuk membangun infrastruktur seperti gedung, jembatan, bendungan dan lain-lain.

Salah satu semen yang dapat ditemukan ialah semen putih, yang merupakan semen bermutu tinggi dan dibuat dari bahan-bahan baku pilihan yang rendah kandungan besi dan magnesium oksidanya (bahan-bahan tersebut menyebabkan semen berwarna abu - abu) (Semen Tiga Roda, 2015). Semen putih dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland putih yang terutama terdiri atas kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan beban tambahan berupa satu atau lebih bentuk Kristal senyawa kalsium sulfat (SNI 15-0129-2004).

Semen putih memiliki kuat tekan yang

lebih tinggi dan lebih cepat mencapai kuat tekan ultimit dibandingkan semen biasa (Hamad BS,1995). Pembuatan Beton putih dengan kuat tekan berkisar antara 25 – 50 MPa dapat terjadi dengan menggunakan semen putih (Kirca Ö & Şahin M, 2002).

Dampak buruk dari banyaknya penggunaan semen sebagai bahan utama beton ialah emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dihasilkan oleh industri semen dan memiliki dampak negatif bagi lingkungan.

Untuk mengurangi penggunaan semen di dunia maka para peneliti ahli bidang konstruksi beton mencari solusi untuk mengurangi penggunaan semen. Saat ini para peneliti telah mendapat solusi untuk beton yang tidak memakai semen yaitu beton geopolimer. Beton geopolimer mempunyai beberapa karakteristik antara lain dari segi perawatannya yang berbeda dengan beton konvensional yang membutuhkan temperatur relatif tinggi untuk mempercepat proses polimerisasi dan mempercepat sifat mekanik beton yaitu kekuatannya.

Meskipun beton geopolimer yang kita kenal tidak memakai semen sebagai bahan pengikat, dalam penelitian kali ini, peneliti akan mencoba melakukan penelitian dengan menambahkan semen putih pada komposisi beton geopolimer, guna untuk mendapatkan sifat mekanik beton yaitu kuat tekan yang lebih baik ditemperatur ruangan. Diharapkan dengan penambahan semen putih, dapat menimbulkan reaksi yang mempercepat perkerasan beton geopolimer tanpa perlu melakukan perawatan *elevated temperature*.

### Rumusan Masalah

Penelitian mengenai pembuatan beton geopolimer berbasis *fly ash* dengan menambahkan semen putih sebanyak 5%, 10% dan 15% dari berat *fly ash* pada komposisi beton geopolimer dengan melakukan perawatan pada temperature ruangan dan hanya ditinjau dari salah satu sifat mekanik yaitu kuat tekan beton

### Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada beberapa hal yaitu:

1. Bahan pembentuk beton sebagai berikut:
  - *Fly Ash* yang digunakan adalah abu terbang dari PLTU Amurang.
  - Cairan Alkalin yaitu kombinasi cairan sodium silikat dan sodium hidroksida.
  - Superplastisizer digunakan Sikacim *Concrete Additive* dengan merek dagang Sika®.
  - Agregat kasar yang di pakai adalah batu pecah dari Lansot
  - Agregat halus yang di pakai adalah pasir dari Girian.
  - Semen Putih merek Tiga Roda.
2. Benda uji beton untuk kuat tekan berbentuk silinder 10/20 cm.
3. Penambahan semen hanya 5%, 10% dan 15% dari berat *fly ash*.
4. Pengujian kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari.

### Tujuan Penelitian

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton geopolimer dengan penambahan semen putih pada komposisi beton geopolimer yang dirawat pada temperatur ruangan dan dibandingkan terhadap beton geopolimer dengan perawatan pada *elevated temperature*. Penelitian ini juga diharapkan dapat diaplikasikan di lapangan

penggunaannya tanpa adanya perawatan pada *elevated temperature*.

### Manfaat Penelitian

1. Dapat menjadi sumber informasi dalam pembuatan geopolimer dengan penambahan semen putih ditinjau dari cara perawatannya dan kekuatan beton geopolimer.
2. Dapat memberikan informasi pengaruh penambahan semen putih terhadap kuat tekan beton geopolimer yang ditinjau pada perawatan di temperatur ruangan..
3. Dapat menambah wawasan dalam pembuatan beton geopolimer.

## LANDASAN TEORI

### Material Penyusun Beton Geopolimer

#### *Fly Ash*

Menurut ASTM C618 - 19, abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batu bara atau bubuk batu bara. *Fly ash* mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili mikron) 5-27%, dengan specific gravity antara 2,15-2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman (ACI Committee 226).

Berdasarkan ACI *Manual of Concrete Practice* (1993 Part I 226.3R-3), *fly ash* dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

- a. Kelas C  
*Fly Ash* yang mengandung CaO lebih dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batu bara (batu bara muda).
- b. Kelas F,  
*Fly Ash* yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batu bara
- c. Kelas N.  
Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chert, shales, tuff dan abu vulkanik, yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat pozzolan yang baik.

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

*Superplastisizer* 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).

Pada penelitian kali ini digunakan Superplatisizer yang diproduksi oleh PT. Sika Indonesia yaitu SikaCim Concrete Additive, yang mengandung Naphthalene Formaldehyde Sulfonate termodifikasi, yang berfungsi mereduksi hingga 20% penggunaan air serta meningkatkan 40% kuat tekan beton umur 28 hari (PT Sika Indonesia).

### **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).

Semen putih memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dan lebih cepat mencapai kuat tekan ultimit dibandingkan semen biasa (Hamad BS,1995). Pembuatan beton putih dengan kuat tekan berkisar antara 25 – 50 MPa dapat terjadi dengan menggunakan semen putih (Kirca Ö & Şahin M, 2002)

### **Agregat Kasar**

Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi ¼ in (6 mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya.

### **Agregat Halus**

Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran No.4 dan No.100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No.100, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton.

### **Kuat Tekan**

Kuat tekan beton yang di isyaratkan  $f'c$  adalah kuat tekan beton yang ditetapkan oleh perencana struktur, dipakai dalam perencanaan struktur beton, dan dinyatakan dalam Mega Pascal atau MPa (SK SNI-T-15-1991-03). Nilai

kuat tekan beton diperoleh melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji tekan yang dilakukan dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji berbentuk silinder berdiameter 100 mm dan tinggi 200 mm sampai hancur.

Persamaan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium dituliskan pada persamaan dibawah ini.

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

dengan:

$f'c$  = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan (N)

A = luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

## **METODOLOGI 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) 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 dengan jenis perawatan yang dilakukan ialah temperatur ruangan dan *elevated temperature* 24 jam pada suhu 90°C. Metode penelitian dimulai dengan persiapan bahan, pemeriksaan bahan, perencanaan campuran hingga pengecoran dan dilanjutkan dengan pengujian benda uji untuk mendapatkan hasil yang sesuai sehingga dapat mencapai tujuan penelitian.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Komposisi Campuran**

Komposisi campuran yang digunakan untuk penelitian ini 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	0%	5%	10%	15%
Agregat Kasar (Batu Pecah) (kg/m <sup>3</sup> )	1294	1282,92	1272,03	1261,32
Agregat Halus (Pasir Halus) (kg/m <sup>3</sup> )	554	549,25	544,59	540,01
Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ) (kg/m <sup>3</sup> )	476	471,92	467,91	463,98
Semen Putih (kg/m <sup>3</sup> )	0	23,80	47,60	71,40
Cairan Sodium Hidroksida (kg/m <sup>3</sup> )	120	118,97	117,96	116,97
Cairan Sodium Silika (kg/m <sup>3</sup> )	300	297,43	294,91	292,42
Superplaticizer (kg/m <sup>3</sup> )	12	12,09	11,99	11,89

**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 Ruangan

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
Tanpa Penambahan Semen Putih	3.4935	3.5199	0.00157	2225.138	2241.996
5	3.4316	3.4774	0.00157	2185.711	2214.904
10	3.5256	3.4618	0.00157	2245.626	2204.989
15	3.4351	3.4844	0.00157	2187.983	2219.342

Tabel 3. Rata-rata Berat Volume Beton Geopolimer dengan *Elevated Temperature* 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
Tanpa Penambahan Semen Putih	3.4817	3.4859	0.00157	2217.622	2220.297
5	3.4670	3.4474	0.00157	2208.280	2195.796
10	3.5044	3.4662	0.00157	2232.123	2207.771
15	3.4091	3.3704	0.00157	2171.423	2146.773

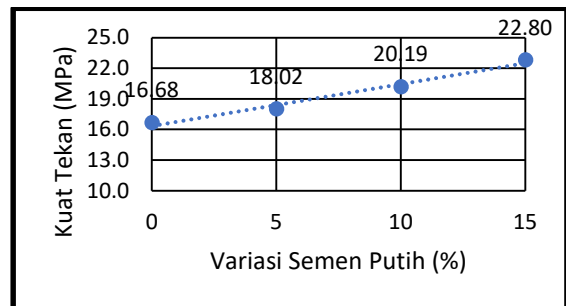
Berdasarkan tabel 2 dan tabel 3 dapat dilihat bahwa berat volume rata-rata *elevated temperature curing* lebih ringan daripada berat volume rata-rata pada perawatan temperatur ruangan. Berat volume rata-rata beton pada kedua jenis perawatan berkisar sekitar 2146,773 kg/m<sup>3</sup>- 2245.626 kg/m<sup>3</sup>. Dari hasil data tersebut, dengan melihat persyaratan berat

volume beton menurut SNI, maka beton tergolong dalam beton normal.

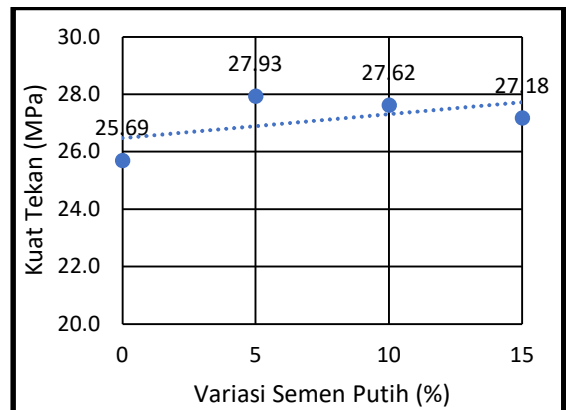
**Pemeriksaan Kuat Tekan**

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

No	Variasi Penambahan Semen Putih	Kuat Tekan Rata-Rata Umur 7 Hari (MPa)	
		Temperatur Ruangan	Elevated Curing (90 °C)
1	Tanpa Penambahan Semen Putih	16.08	25.69
2	5%	18.02	27.93
3	10%	20.19	27.62
4	15%	22.80	27.18



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



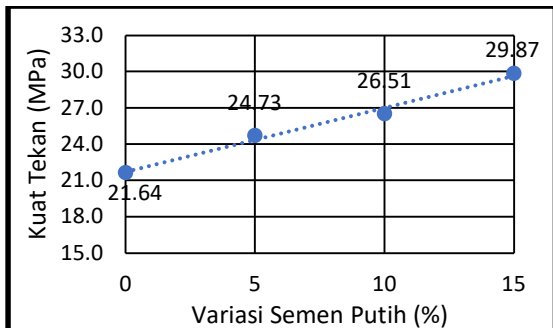
Gambar 2. Grafik Nilai Rata-rata Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan *Elevated Temperature Curing* 90°C selama 24 jam Umur 7 Hari

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

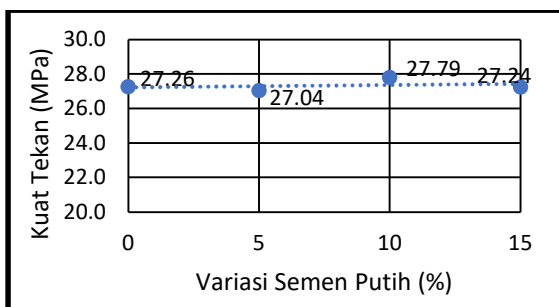
Pada gambar 2 untuk beton geopolimer dengan jenis perawatan *Elevated temperature* oven selama 24 jam pada suhu 90°C, pada persentase variasi penambahan semen putih 5% nilai kuat tekan beton mengalami kenaikan dari 25.69 MPa (untuk kondisi beton tanpa penambahan semen putih) menjadi 27.93 MPa. Kemudian mengalami penurunan untuk penambahan semen putih 10% dengan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 27.62 MPa. Untuk penambahan semen putih 15% nilai rata-rata kuat tekan mengalami penurunan sebesar 1.59%.

Tabel 5. Nilai Rata-Rata Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 28 Hari

No	Variasi Penambahan Semen Putih (%)	Kuat Tekan Rata-Rata Umur 28 Hari (MPa)	
		Temperatur Ruangan	Elevated Curing (90°C)
1	Tanpa Penambahan Semen Putih	21.64	27.26
2	5	24.73	27.04
3	10	26.51	27.79
4	15	29.87	27.74



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



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

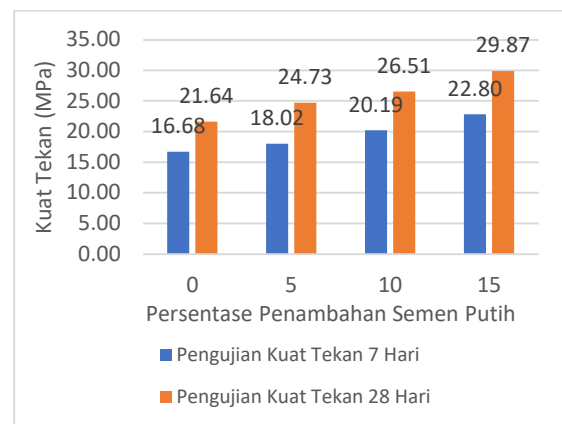
Gambar 3 dan gambar 4, menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton geopolimer yang diperoleh dari perawatan temperatur ruangan peningkatan. Dari masing-masing penambahan semen putih 5%, 10% dan 15% mengalami peningkatan kekuatan berkisar 21,64 – 29,87 MPa untuk perawatan temperatur ruangan. Untuk nilai kuat tekan beton geopolimer pada perawatan *elevated temperature* tidak mengalami perubahan kuat tekan yang signifikan dengan nilai kuat tekan berkisar antara 27.04 – 27.79.

**Persentase Kenaikan Kuat Tekan**

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

Tabel 6. Nilai Rata-Rata Persentase Kenaikan Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 7 Hari ke 28 Hari Pada Perawatan Temperatur Ruangan

No	Variasi Penambahan Semen Putih	Kuat Tekan (MPa)		Kenaikan Kuat Tekan Rata-rata (%)
		7 Hari	28 Hari	
1	0%	16.68	21.64	29.69
2	5%	18.02	24.73	37.19
3	10%	20.19	26.51	31.28
4	15%	22.80	29.87	30.98



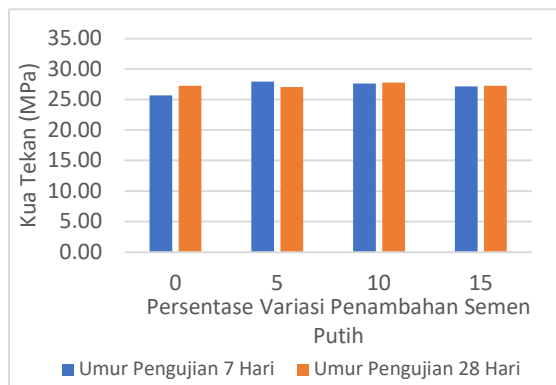
Gambar 5. Grafik Persentase Kenaikan Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 7 Hari ke 28 Hari pada Perawatan Temperatur Ruangan

Berdasarkan gambar 5 dapat disimpulkan bahwa semakin bertambah umur pengujian beton, nilai kuat tekan beton juga akan semakin meningkat. Persentase kenaikan kuat tekan

optimum terdapat pada beton geopolimer dengan penambahan semen putih 5% dengan besar kenaikan dari umur beton 7 hari ke umur beton 28 hari sebesar 37.19%.

Tabel 7. Nilai Rata-Rata Persentase Kenaikan Kuat Tekan 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 Tekan (MPa)		Kenaikan Kuat Tekan Rata-rata (%)
		7 Hari	28 Hari	
1	0%	25.69	27.26	6.13
2	5%	27.93	27.04	-3.19
3	10%	27.62	27.79	0.62
4	15%	27.18	27.24	0.22



Gambar 6. Grafik Persentase Kenaikan Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 7 Hari ke 28 Hari pada *Elevated Temperature Curing* 90°C Selama 24 Jam Umur 28 Hari

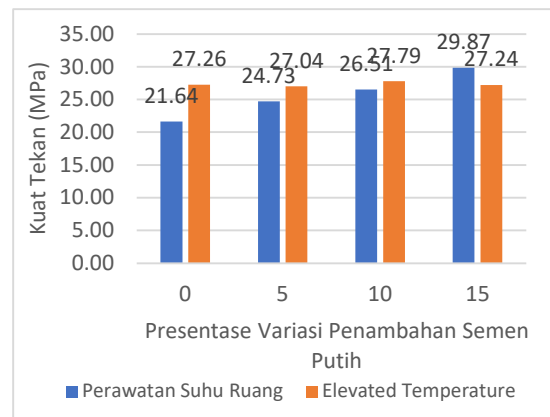
Dari gambar 6 dapat disimpulkan bahwa kuat tekan beton mengalami penurunan pada variasi penambahan semen 5% dengan kuat tekan pada umur 28 hari lebih rendah dari kuat tekan beton pada umur 7 hari tapi perbedaannya tidak signifikan. Persentase kenaikan kuat tekan maksimum terdapat pada variasi tanpa penambahan semen putih yang mengalami kenaikan sebanyak 6.13%. Dapat disimpulkan untuk perawatan pada *elevated temperature*, bertambahnya umur serta variasi penambahan semen putih tidak memberikan pengaruh yang signifikan.

### Perbandingan Kuat Tekan Beton

Berdasarkan dari hasil pengujian pada umur 28 hari, dapat dibuat perbandingan antara kuat tekan pada perawatan suhu ruang dan pada perawatan *elevated temperature* seperti pada tabel berikut:

Tabel 8. Perbandingan Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 28 Hari pada Perawatan Suhu Ruang dan Perawatan *Elevated temperature* 24 jam 90°C

No	Variasi Penambahan Semen Putih (%)	Kuat Tekan (MPa)	
		Suhu Ruang	<i>Elevated Temperature</i>
1	Tanpa Penambahan semen putih	21.64	27.26
2	5	24.73	27.04
3	10	26.51	27.79
4	15	29.87	27.24



Gambar 7. Diagram Perbandingan Variasi Perawatan Beton Suhu Ruang dan Perawatan *Elevated temperature* 24 jam 90°C Geopolimer Umur 28 Hari

Dari gambar 7. dapat disimpulkan bahwa kuat tekan pada *elevated temperature* tidak mengalami perubahan yang signifikan dan pada suhu ruang penambahan semen putih mempengaruhi kuat tekan secara signifikan yang melebihi *elevated temperature* pada variasi 15%. Dengan perbedaan kuat tekan pada variasi 15% sebanyak 2.63 MPa. Nilai kuat tekan beton dengan penambahan semen putih masih terjadi kenaikan mencapai 37.19% dari 7 hari ke 28 hari (signifikan) sedang tanpa penambahan semen putih mengalami peningkatan 29.69% lebih rendah dibandingkan dengan penambahan semen putih.

## PENUTUP

### Kesimpulan

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

1. Rata-rata berat volume beton dengan penambahan semen putih berkisar antara 2146.773 – 2245.626 kg/m<sup>3</sup> dan termasuk jenis beton normal.
2. Nilai rata-rata kuat tekan beton dengan penambahan semen putih pada perawatan suhu ruangan lebih tinggi daripada tanpa penambahan semen putih. Peningkatan kekuatan sebesar 14.28% pada penambahan 5%, sebesar 22.52% pada penambahan 10%, sebesar 38.04% pada penambahan 15% pada umur 28 hari.
3. Pada perawatan suhu ruangan penambahan semen putih memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari, hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian.
4. Pada perawatan *elevated temperature*, nilai kuat tekan beton tidak mengalami peningkatan yang signifikan terhadap bertambahnya umur ataupun pada variasi penambahan semen putih.
5. Persentase kenaikan paling optimum terdapat pada beton perawatan suhu ruang

dengan campuran semen putih sebanyak 5% dari 18.02 sampai 24.73 MPa.

6. Penambahan Semen putih memperkecil workabilitas beton geopolimer yang mengakibatkan semakin cepatnya beton geopolimer mengeras.
7. Kuat tekan pada penambahan semen putih 15% untuk perawatan suhu ruang lebih tinggi dibandingkan nilai kuat tekan pada perawatan *elevated temperature*.
8. Jika diperlukannya beton geopolimer dengan perawatan suhu ruang dapat digunakan variasi semen putih 10% dan 15% yang memiliki kuat tekan hampir sama atau melebihi kuat tekan *elevated temperature*

### Saran

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

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penambahan semen putih dengan variasi diatas 15% untuk mencari batas penambahan semen putih pada beton geopolimer.
2. Perlu dilakukan penelitian mengenai jenis superplasticizer yang dapat membantu mengurangi kecepatan mengeras beton geopolimer di waktu pengisian ke bekisting.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 226. 1988. *Use of Fly Ash in Concrete*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- ACI parts 1 226.3R-3. 1993. *Standard Practice for Selecting Properties for Normal, Heavy, Weight and Mass Concrete*.
- ASTM C 494 – 82. *Standart Specification for Chemical Admixtures*. United State: Association of Standart Testing Materials.
- ASTM C618 – 19. *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use In Concrete*.
- Davidovits, J., 1991. *High-alkali Cements for 21<sup>st</sup> Century Concretes*.
- Davidovits, J., 1999. *Chemistry of Geopolymer System*.
- Davidovits, J., 2005. *Green Chemistry and Sustainable Development Solutions*, Perancis: Geopolymer Institute.

- Hamad B. S., 1995. *Investigations of chemical and physical properties of white cement concrete*, Advanced Cement Based Materials, 4 (1995) 161-167.
- Hardjito dan Rangan. 2005. *Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Research Report GC 1 Curtin University of Technology Perth, Australia.
- Kırca Ö & Şahin M, *Ready mix white concrete applications*, paper presented at 5<sup>th</sup> National Concrete Symposium, Istanbul, TURKEY, 2002.
- SNI 15-2049-2004. *Semen Portland*.
- SNI T-15-1991-03. *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal*, Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Sumajouw, D. M. J., Dapas, S. O., 2013. *Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Tambingon, F. R., Sumajouw, M. D. J., Wallah, S. E., 2018. *Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Perawatan Temperatur Ruangan*, Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.9 September 2018 (641-648) ISSN: 2337-6732, Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado
- Van Jaarsveld, J. G. J. S. J. van Deventer, G.C. Lukey. 2002. *The Effect of Composition and Temperature on the Properties of Fly Ash and Kaolinite Based Geopolymer*.