

Modulus Elastisitas Beton Geopolymer Pada Perawatan Temperatur Ruangan

Jeanicha Christiani Tampi¹, Steenie E. Wallah², Hieryco Manalip³

Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado, 95115

¹jheinchristiani@gmail.com; ²wsteeenie@yahoo.com; ³hmanalip@unsrat.ac.id

Abstrak - Beton geopolymer merupakan beton ramah lingkungan yang di buat tanpa menggunakan semen dan sebagai gantinya digunakan fly ash yang merupakan limbah hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Dari segi perawatan beton geopolymer membutuhkan temperatur relative tinggi untuk mempercepat proses polimerisasi. Melihat kondisi dari sifat mekanik beton geopolymer pada suhu ruangan lambat untuk mencapai kekuatannya maka ada kebutuhan menambahkan bahan seperti semen untuk meningkatkan reaksi polimerisasi, dalam hal ini jika beton geopolymer mencapai kekuatan yang sama pada suhu ruangan dan suhu tinggi maka produksi semen akan berkurang dan pemanfaatan fly ash akan meningkat. Pada penelitian ini dilakukan pengujian modulus elastisitas beton geopolymer dan dilakukan perawatan menggunakan temperatur ruangan, dan akan dilakukan penambahan semen sebesar 2.5%, 5%, 7.5%, dan 10% dari berat fly ash. Dari hasil laboratorium, diperoleh nilai modulus elastisitas beton geopolymer meningkat pada setiap bertambahnya presentase semen. Nilai modulus elastisitas tertinggi didapat pada umur 28 hari dengan variasi penambahan semen 10% dari berat fly ash.

Kata kunci – beton geopolymer, modulus elastisitas, temperatur ruangan

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saat ini penelitian tentang beton geopolymer menjadi salah satu penelitian untuk meminimalisasi penggunaan semen dalam beton. Beton geopolymer adalah material konstruksi yang relatif baru dikembangkan. Beton geopolymer di buat tanpa menggunakan semen sebagai bahan pengikat. Bahan dasar material geopolymer adalah bahan yang banyak mengandung Silikon dan Aluminium. 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.

Dari segi perawatannya yang berbeda dengan beton konvensional, beton geopolymer membutuhkan temperatur relative tinggi untuk mempercepat proses polimerisasi dan mempercepat sifat mekanik beton yaitu kekuatannya. Di Indonesia sebagian besar struktur beton dibuat langsung di lapangan, melihat kondisi dari sifat mekanik beton geopolymer pada suhu ruangan lambat untuk mencapai kekuatannya maka sedikit kemungkinan untuk memberikan pemanasan pada suhu yang tinggi dari bangunan struktur di lapangan. Untuk mencapai kekuatan beton yang baik pada suhu ruangan ada kebutuhan menambahkan bahan seperti semen untuk meningkatkan reaksi polimerisasi yang signifikan, dalam hal ini jika beton geopolymer mencapai kekuatan yang sama pada suhu ruangan dan suhu tinggi maka produksi semen akan berkurang dan pemanfaatan fly ash akan meningkat dengan cepat.

Penelitian tentang modulus elastisitas merupakan hal yang perlu dilakukan karena merupakan salah satu sifat mekanik beton yang perlu diketahui untuk keperluan desain.

B. Rumusan Masalah

Mempertimbangkan latar belakang yang ada, maka penulis akan melakukan penelitian mengenai beton geopolymer dalam hal ini modulus elastisitas dan perawatannya menggunakan temperatur ruangan, penulis juga akan mencoba melakukan penelitian dengan menggantikan proporsi fly ash dengan semen dalam berbagai presentase.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini guna untuk memperjelas dan menyederhanakan permasalahan antara lain:

1. Pengukuran modulus elastisitas beton geopolymer yang dilakukan merupakan pengukuran modulus elastisitas statis.
2. Pengukuran modulus elastisitas beton dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari.
3. Pemeriksaan kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari.
4. Perawatan benda uji menggunakan temperatur ruangan.
5. Substitusi semen hanya 2.5%, 5%, 7.5%, dan 10% dari berat fly ash.

Jeanicha Christiani Tampi adalah mahasiswa tingkat akhir jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado pada bidang Material (email: jheinchristiani@gmail.com);

Steenie E. Wallah adalah dosen jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi pada bidang Material (email: wsteeenie@yahoo.com);

Hieryco Manalip adalah dosen jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi dan guru besar pada bidang Material (email: hmanalip@unsrat.ac.id)

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui besarnya modulus elastisitas beton geopolymer umur 7 hari dan 28 hari yang dirawat menggunakan temperatur ruangan.

E. Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat bagi perkembangan teknologi beton, antara lain sebagai berikut:

1. Memperoleh gambaran mengenai modulus elastisitas pada beton geopolymer yang dirawat menggunakan temperatur ruangan.
2. Menambah pengetahuan tentang pembuatan beton geopolymer dengan adanya penambahan semen yang dilakukan dengan perawatan temperatur ruangan.
3. Memberikan informasi tentang beton yang ramah lingkungan dan diharapkan dapat diterapkan.
4. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa yang mencari informasi tentang beton geopolymer.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Komposisi Campuran Beton

Beton geopolymer sampai pada saat ini belum ada standart komposisi campurannya, sebagai referensi dalam penelitian ini digunakan hasil penelitian oleh D. Hardjito dan B.V. Rangan “Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete” dan dimodifikasi pada penelitian Tambingon, Fiki (2018) “Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Perawatan Temperatur Ruang”. Tetapi pada saat melakukan penelitian, peneliti tetap melakukan metode trial and. Dalam penelitian ini digunakan penambahan semen sebanyak 0%, 2.5%, 5%, 7.5% dan 10 % dari berat fly ash.

TABEL 1. KOMPOSISI CAMPURAN BETON GEOPOLYMER

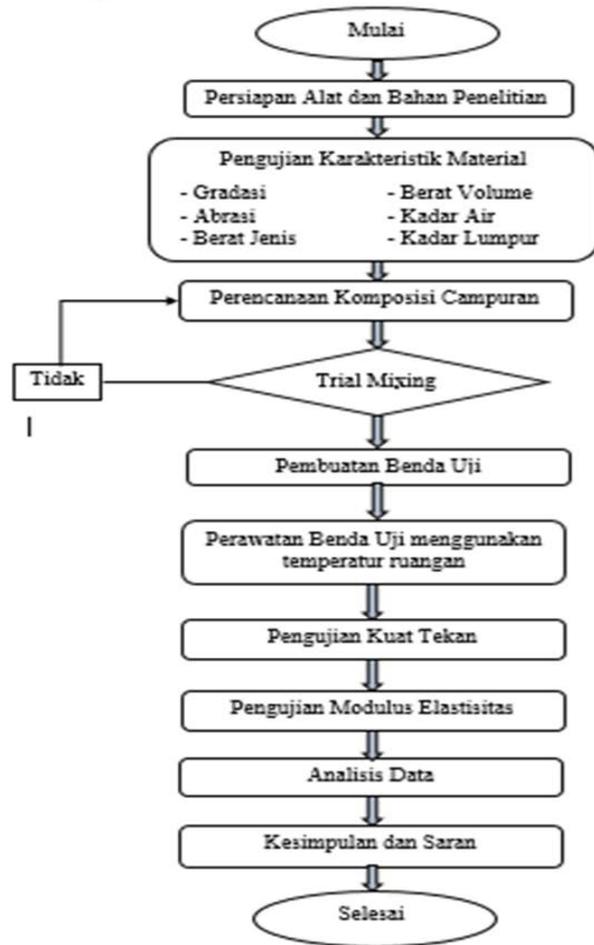
Material	Berat (Kg/m ³)				
	Variasi 0%	Variasi 2.5%	Variasi 5%	Variasi 7.5%	Variasi 10%
Kerikil	1294				
Pasir	554				
Fly Ash	476	464.1	452.2	440.3	428.4
Semen	0	11.9	23.8	35.7	47.6
NaOH (14M)	120				
Silika	300				
Superplastisizer	12.2				

C. Pembuatan Benda Uji

Tahap dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan campuran beton (mixing)
2. Pencetakan benda uji silinder (10/20 cm)

3. Perawatan benda uji menggunakan temperature ruangan.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Untuk Agregat kasar dari Lanstot, Berat jenis kering sebesar 2,68, berat jenis SSD sebesar 2,72, berat volume padat sebesar 1485 kg/m³, berat volume gembur sebesar 1343 kg/m³, absorpsi maksimum sebesar 1,524% kadar air sebesar 1,247%, keausan sebesar 18,772%.

Untuk Agregat Halus dari Girian, Modulus Kehalusan butir sebesar 3,236, berat jenis kering sebesar 2,04, berat jenis SSD sebesar 2,257, absorpsi maksimum sebesar 10,669%, berat volume padat sebesar 1242 kg/m³, berat volume gembur sebesar 1162 kg/m³, kadar air sebesar 5,532%, zat organik warna nomor 1, kadar lumpur sebesar 0,412%.

B. Berat Volume Beton

Berat volume adalah perbandingan antara berat beton terhadap volume beton. Contoh perhitungan berat volume beton:

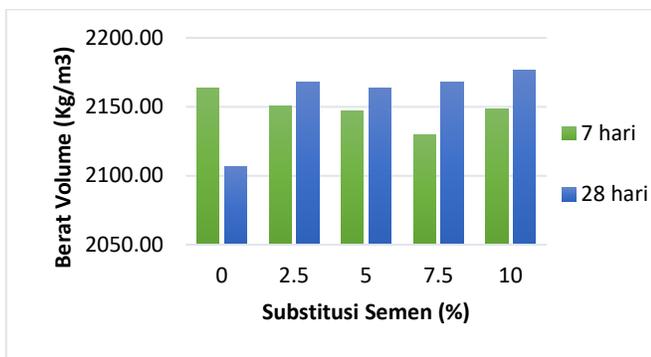
Berat benda uji = 3,39 kg
 Volume = $\pi \times 0,05^2 \times 0,2 = 0,00157 \text{ m}^3$
 Berat volume beton = $3,39/0,00157 = 2157,3 \text{ kg/m}^3$

Adapun hasil pengujian berat volume rata-rata dari benda uji pada umur 7 hari dan 28 hari ditampilkan pada Tabel 2.

TABEL 2. BERAT VOLUME BETON

No	Konsentrasi	Berat Volume Rata-rata (Kg/m3)	
	Semen (%)	7 hari	28 hari
1	0	2163.64	2106.36
2	2.5	2150.91	2167.88
3	5	2146.67	2163.64
4	7.5	2129.70	2167.88
5	10	2148.79	2176.36

(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 2. Diagram Hubungan antara Substitusi Semen dan Umur Beton terhadap Berat Volume Beton

Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa berat volume beton berkisar antara 2106.36 sampai 2176.36, sesuai dengan klasifikasi berat beton maka hasil pengujian berat volume beton termasuk beton normal.

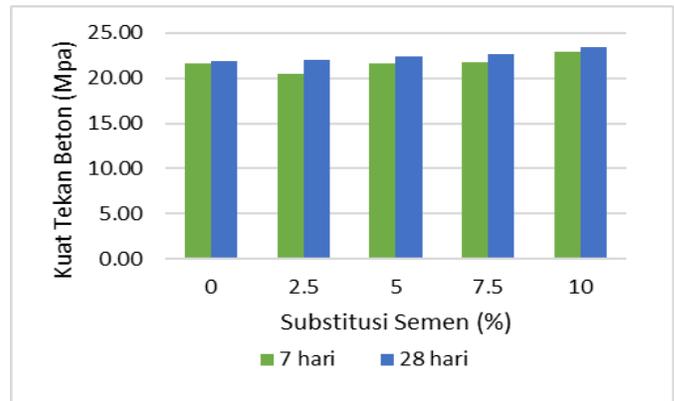
C. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Dalam penelitian ini, benda uji yang digunakan berbentuk silinder berukuran 10 x 20 cm, dengan variasi penambahan semen dan diuji pada umur beton 7 hari dan 28 hari. Adapun hasil pengujian kuat tekan rata-rata setiap variasinya dijelaskan pada Tabel 3.

TABEL 3. KUAT TEKAN BETON

No.	Konsentrasi	Kuat Tekan (Mpa)	
	Semen (%)	7 hari	28 hari
1	0	21.58	21.89
2	2.5	20.50	22.06
3	5	21.65	22.46
4	7.5	21.81	22.65
5	10	22.88	23.39

(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 3. Diagram Hubungan antara Substitusi Semen dan Umur Beton terhadap Kuat Tekan Beton

Berdasarkan tabel dan diagram diatas dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan beton geopolimer di umur 7 hari mengalami penurunan di variasi 2.5% dan mengalami peningkatan lagi pada variasi 5% hingga 10%, sedangkan pada umur 28 hari terus mengalami peningkatan kuat tekan pada setiap variasi. Kekuatan yang diperoleh berkisar 20-22 MPa untuk 7 hari dan 21-23 MPa untuk 28 hari. Dan dapat disimpulkan nilai kuat tekan paling tinggi terdapat pada variasi substisusi semen 10% pada umur 28 hari sebesar 23.39 MPa.

D. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Dalam penelitian ini, benda uji yang digunakan berbentuk silinder berukuran 10 x 20 cm, dengan variasi penambahan semen dan diuji pada umur beton 7 hari dan 28 hari. Nilai modulus elastisitas sangat bergantung pada pembacaan jarum dial, semakin teliti pembacaan maka hasil pengujian semakin akurat. Adapun hasil rata-rata setiap variasinya dijelaskan pada Tabel 4.

TABEL 4. MODULUS ELASTISITAS BETON GEOPOLYMER

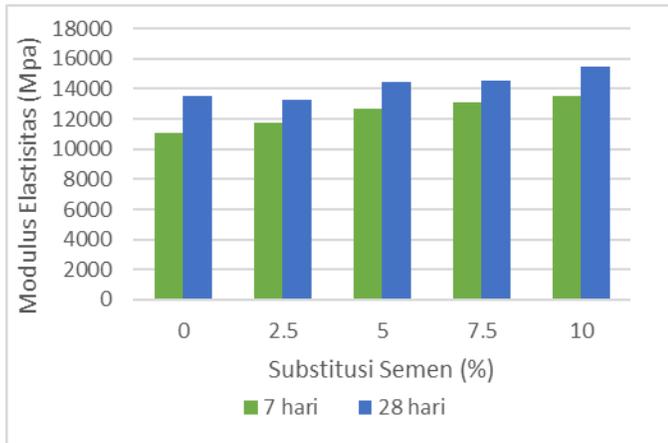
No.	Konsentrasi	Modulus Elastisitas (Mpa)	
	Semen (%)	7 hari	28 hari
1	0	11105.45	13557.06
2	2.5	11756.60	13244.87
3	5	12682.38	14442.05
4	7.5	13093.63	14547.33
5	10	13525.59	15494.06

(Sumber: Hasil Penelitian)

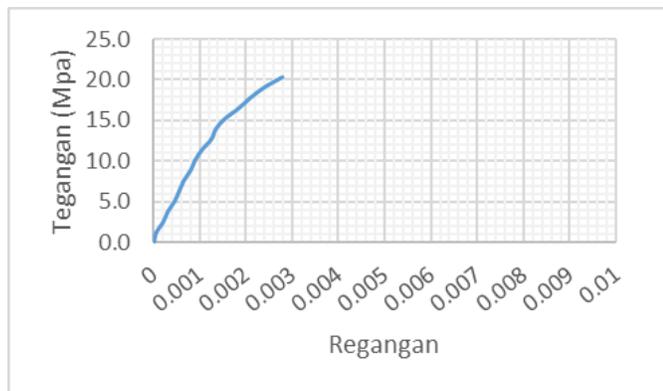
Berdasarkan tabel dan diagram diatas dapat dilihat bahwa nilai modulus elastisitas beton geopolimer di umur 7 hari terus mengalami peningkatan pada setiap variasi, sedangkan pada umur 28 hari mengalami penurunan di variasi 2.5 % dan mengalami peningkatan lagi pada variasi 5% hingga 10 %. Nilai modulus elastisitas yang diperoleh berkisar 11000-13000 MPa untuk 7 hari dan 13000-15000 MPa untuk 28 hari. Dan dapat disimpulkan nilai modulus paling tinggi terdapat pada

variasi substitusi semen 10% pada umur 28 hari sebesar 15494.06 MPa.

Dari data laboratorium juga dapat dihitung nilai modulus elastisitas berdasarkan 50% tegangan maksimum yang terjadi menggunakan grafik hubungan antara tegangan dan regangan.



Gambar 4. Diagram Hubungan antara Substitusi Semen dan Umur Beton terhadap Modulus Elastisitas



Gambar 5. Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan

Berikut adalah contoh perhitungan modulus elastisitas berdasarkan 50 % tegangan:

Tegangan max. = 20.4 N/mm²

= 20.4 MPa

50 % Tegangan = 10.2 N/mm²

= 10.2 MPa

Regangan saat terjadi 50 % Tegangan = 0.0009 (dari grafik)

$E_c = 20.4 / 0.0009$

= 11313.131 MPa

Pengolahan data dari pengujian modulus elastisitas berdasarkan 50% tegangan, hasil rata-rata setiap variasinya dijelaskan pada Tabel 5.

Dari data yang ada dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan berdasarkan 50% Tegangan mendekati hasil yang didapatkan menggunakan perhitungan berdasarkan ASTM C469-02. Contoh Perhitungan :

$f'_c = 21.58 \text{ MPa}$

Berat volume beton = 2157.3 kg/m³

SNI 1 (Berdasarkan kuat tekan)

$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$

= 4700 $\sqrt{21.58}$

= 21350.97 MPa

SNI 2 (Berdasarkan berat volume dan kuat tekan)

$E_c = w_c 1,5 \times 0,043 \sqrt{f'_c}$

= 2157.31,5 x 0,043 $\sqrt{21.58}$

= 19659.15 MPa

TABEL 5. MODULUS ELASTISITAS BETON GEOPOLYMER (BERDASARKAN 50% TEGANGAN)

No.	Konsentrasi	Modulus Elastisitas (MPa)	
	Semen (%)	7 hari	28 hari
1	0	11375.17	13834.42
2	2.5	11331.12	14827.41
3	5	12229.89	15228.83
4	7.5	13118.98	16210.87
5	10	14205.98	16295.26

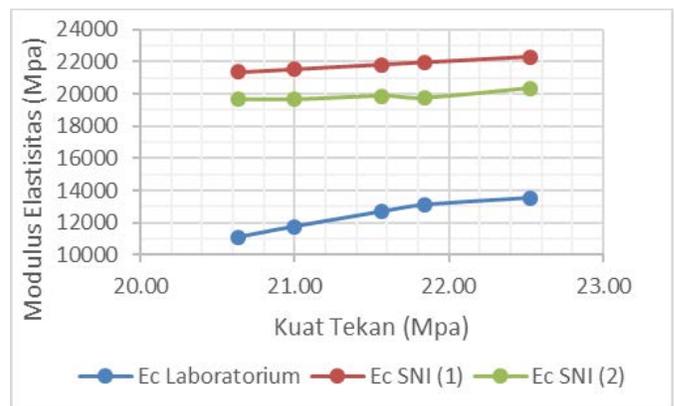
(Sumber: Hasil Penelitian)

Adapun hasil perhitungan modulus elastisitas rata-rata hasil laboratorium dan menggunakan rumus pendekatan SNI dijelaskan pada Tabel 6.

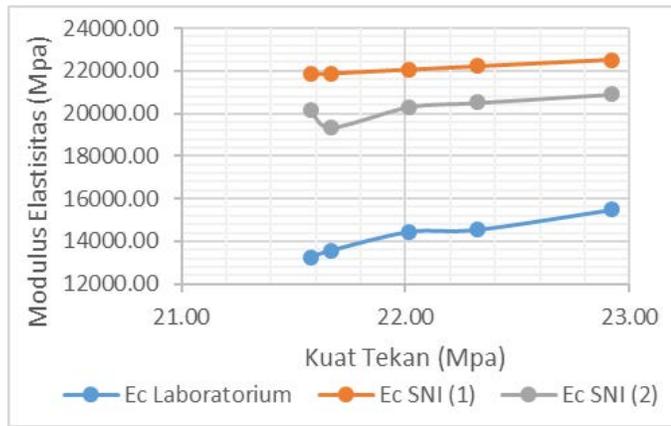
TABEL 6. NILAI MODULUS ELASTISITAS HASIL LABORATORIUM DAN RUMUS SNI

Variasi %	Umur H	Berat Volume kg/m ³	f'_c Mpa	E_c Laboratorium Mpa	E_c SNI (1) Mpa	E_c SNI (2) Mpa
0	7	2163.64	20.64	11105	21351	19659
2.5	7	2150.91	21.00	11757	21538	19657
5	7	2146.67	21.57	12682	21827	19861
7.5	7	2129.70	21.85	13094	21968	19753
10	7	2148.79	22.53	13526	22307	20329
0	28	2106.36	21.67	13557	21879	19351
2.5	28	2167.88	21.58	13245	21832	20161
5	28	2163.64	22.02	14442	22053	20306
7.5	28	2167.88	22.32	14547	22206	20507
10	28	2176.36	22.92	15494	22501	20901

(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 6. Grafik Hubungan Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan Umur 7 Hari



Gambar 7. Grafik Hubungan Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan Umur 28 Hari

Berdasarkan grafik yang ada, dapat dilihat perbedaan yang signifikan antara hasil pengujian laboratorium dan hasil perhitungan menggunakan rumus SNI. Hasil perhitungan menggunakan rumus SNI (1) berkisar antara 21000-22000 MPa dan rumus SNI (2) antara 19000-20000 Mpa. Hasil pengujian laboratorium secara signifikan lebih rendah yaitu antara 11000–13000 MPa di umur 7 hari dan 13000-15000 MPa di umur 28 hari.

Untuk itu, perlu direncanakan rumus pendekatan yang baru dengan cara memodifikasi rumus pendekatan SNI sehingga nantinya hasil perhitungan yang didapat mendekati hasil yang diperoleh dari pengujian di laboratorium. Rumus pendekatan yang baru direncanakan dengan cara memodifikasi koefisien pada rumus SNI.

Rumus SNI 1:

$$Ec = 4700 \sqrt{fc}, \text{ dimodifikasi menjadi:}$$

$$Ec = 2678 \sqrt{fc} \text{ untuk umur 7 hari}$$

$$Ec = 3031 \sqrt{fc} \text{ untuk umur 28 hari}$$

Rumus SNI 2:

$$Ec = wc1,5 0,043 \sqrt{fc}, \text{ dimodifikasi menjadi:}$$

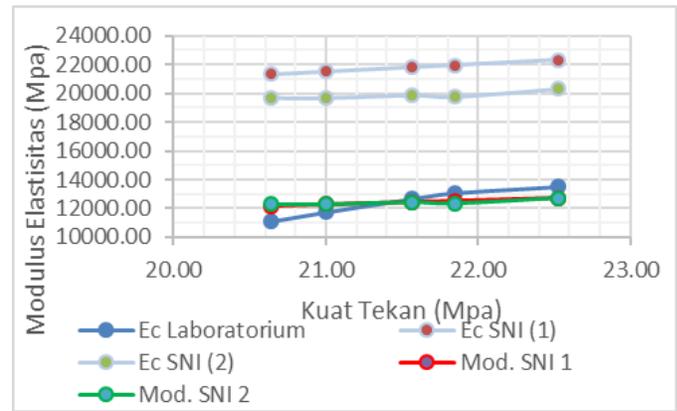
$$Ec = wc1,5 0,027 \sqrt{fc} \text{ untuk umur 7 hari}$$

$$Ec = wc1,5 0,030 \sqrt{fc} \text{ untuk umur 28 hari}$$

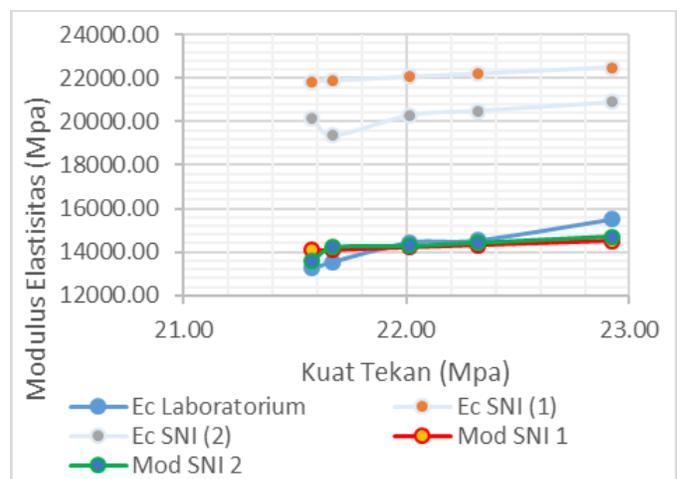
TABEL 7. NILAI MODULUS ELASTISITAS HASIL LABORATORIUM DAN RUMUS SNI YANG TELAH DIMODIFIKASI

Variasi %	Umur H	Berat Volume kg/m ³	f _c Mpa	Ec Laboratorium Mpa	Ec SNI (1) Mpa	Ec SNI (2) Mpa
0	7	2163.64	20.64	11105	12167	12305
2.5	7	2150.91	21.00	11757	12274	12304
5	7	2146.67	21.57	12682	12438	12432
7.5	7	2129.70	21.85	13094	12519	12364
10	7	2148.79	22.53	13526	12712	12724
0	28	2106.36	21.67	13557	14111	13620
2.5	28	2167.88	21.58	13245	14080	14191
5	28	2163.64	22.02	14442	14223	14293
7.5	28	2167.88	22.32	14547	14322	14434
10	28	2176.36	22.92	15494	14512	14712

(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 8. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Modulus Elastisitas Hasil Laboratorium dan Hasil Penggunaan Rumus Modifikasi Umur 7 Hari



Gambar 8. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Modulus Elastisitas Hasil Laboratorium dan Hasil Penggunaan Rumus Modifikasi Umur 28 Hari

Dari tabel dan grafik dapat dilihat nilai modulus elastisitas menggunakan rumus SNI yang dimodifikasi lebih mendekati nilai modulus elastisitas hasil pengujian laboratorium jika dibandingkan dengan menggunakan rumus yang belum dimodifikasi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai modulus elastisitas beton geopolymer di umur 7 hari terus mengalami peningkatan setiap adanya penambahan semen dari 0% hingga 10%, sedangkan pada umur 28 hari mengalami penurunan di variasi 2.5% dan mengalami peningkatan lagi pada variasi 5% hingga 10%. Nilai modulus elastisitas beton geopolymer pada perawatan temperatur ruangan secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas beton

normal hasil perhitungan menggunakan rumus SNI 2847:2013.

- Rumus SNI perlu dimodifikasi untuk mendekati hasil laboratorium. Dari penelitian ini didapatkan rumus hasil modifikasi SNI 1 yaitu $E_c = 2678 \sqrt{f_c}$ untuk umur 7 hari dan $E_c = 3031 \sqrt{f_c}$ untuk umur 28 hari dan rumus hasil modifikasi SNI 2 yaitu $E_c = w_c 1,5 0,027 \sqrt{f_c}$ untuk umur 7 hari dan $E_c = w_c 1,5 0,030 \sqrt{f_c}$ untuk umur 28 hari.

B. Saran

- 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.
- Bekisting yang digunakan perlu diberi pelumas sebelum digunakan, agar tidak terlalu sulit ketika mengeluarkan benda uji, karena dapat mempengaruhi berat volume beton.
- Karena menggunakan perawatan temperatur ruangan, maka sebaiknya temperatur per hari perlu dicatat.

V. KUTIPAN

A. Buku

- J. Davidovits, *Chemistry of Geopolymer System, Terminology*. France: Paper presented at the Geopolymer'99 International Conference, Saint-Quentin, 1999,
- T. Mulyono, *Teknologi Beton*. Bandung: Penerbit Andi, 2005.
- M. D. J. Sumajouw, Servie O. Dapas, *Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2013.

B. Jurnal

- Riger Manuahe, M. D. J. Sumajouw, Reky S. Windah, "Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Fly Ash," dalam *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 2, No. 16, ISSN: 2337-6732, September, 2014.
- Sofia Filia Eunike Paat, Steenie E. Wallah, Reky S. Windah, "Kuat Tarik Lentur Beton Geopolymer Berbasis Abu Terbang (Fly Ash)," dalam *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 2, No. 7, hal. 337-343, ISSN: 2337-6732, November, 2014.
- Fiki R. Tambingon, M. D. J. Sumajouw, Steenie E. Wallah, "Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Perawatan Temperatur Ruangan," dalam *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 6, No. 9, hal. 641-648, ISSN: 2337-6732, September, 2018.