



Analisis Pengaruh Variasi Molaritas NaOH Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Pada Eksperimen Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang (*Fly Ash*)

Theyni J. Korompis^{#a}, Steenie E. Wallah^{#b}, Servie O. Dapas^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^akorompist@gmail.com, ^bsteeenie@unsrat.ac.id, ^cservie.jo@gmail.com

Abstrak

Berangkat dari usaha untuk mengurangi peningkatan emisi rumah kaca dan mencari substitusi yang tepat untuk menggantikan semen sebagai salah satu material penyusun beton, penelitian dilakukan terhadap abu terbang (*fly ash*) dimana NaOH dan Na₂SiO₃ yang direaksikan dengan Si dan Al yang terkandung di dalam abu terbang dapat menghasilkan pengikat (*binders*) menggantikan semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi molaritas larutan NaOH terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton geopolimer berbasis abu terbang (*fly ash*). Variasi molaritas larutan NaOH yang akan digunakan adalah 8 M, 10 M, 12 M dan 14 M dengan usia perawatan beton selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Sementara itu untuk metode curing adalah dengan curing oven selama 24 jam pada suhu 90^o. Dari hasil analisis regresi linear berganda terhadap beton geopolimer dengan usia perawatan 7 dan 14 hari, dapat dibuktikan bahwa variasi molaritas larutan NaOH berpengaruh terhadap kuat tekan beton geopolimer, dimana nilai signifikansi koefisien adalah $0,000 < 0,025$. Sementara itu, untuk modulus elastisitas hasil analisis regresi linear berganda terhadap beton geopolimer dengan usia perawatan 7 dan 14 hari menunjukkan bahwa variasi molaritas larutan NaOH tidak berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas, dimana nilai signifikansi koefisien yang di dapat adalah $0,498 > 0,025$.

Kata kunci – Beton Geopolimer, Fly Ash, Variasi Molaritas, Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, Regresi Linear Berganda

1. Pendahuluan

1.1. Latar belakang

Beton menempati posisi kedua di dunia setelah air sebagai material yang paling banyak digunakan (Gagg 2014). Ada beberapa faktor yang melatarbelakangi hal ini, seperti ketersediaan bahan pembuat beton yang melimpah, durabilitas beton yang baik dan harga produksi yang terjangkau. Faktor-faktor ini juga yang nantinya menjadi pendorong produksi skala besar salah satu material utama penyusun beton, yaitu semen. Permasalahan yang muncul kemudian adalah, produksi semen dalam skala besar mendorong peningkatan emisi gas rumah kaca. Penelitian pada tahun 2016 menemukan bahwa semen menyumbang 7% dari seluruh emisi gas rumah kaca yang dihasilkan di seluruh dunia (Olivier et al. 2015).

Berangkat dari usaha untuk mengurangi peningkatan emisi rumah kaca dan mencari substitusi yang tepat untuk menggantikan semen sebagai salah satu material penyusun beton, penelitian dilakukan terhadap beberapa jenis material yang dilihat memiliki potensi sebagai pengganti semen, seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi (*rice-husk ash*) dan metakaolin. Davidovits mengemukakan bahwa cairan alkaline dapat direaksikan dengan silikon (Si) dan alumina (Al) yang di dapat dari material geologikal seperti *fly ash* untuk menghasilkan pengikat (*binders*) menggantikan semen (Davidovits 1994). Dalam hal ini, reaksi kimia yang terjadi selama proses pembuatan beton ini adalah reaksi polimerisasi, oleh karena itu Davidovits menggunakan

istilah Geopolymer untuk menggambarkan pengikat yang terbentuk. Berkaitan dengan pemanasan global sebagai akibat dari peningkatan emisi rumah kaca, teknologi geopolimer dapat secara signifikan mengurangi ketergantungan terhadap industri semen sehingga dapat juga secara paralel mengurangi CO₂ seperti yang ditunjukkan oleh Gartner dalam analisisnya (Duxson et al. 2007).

Dalam pembuatan beton geopolimer ada beberapa faktor yang dapat memengaruhi mutu yang dihasilkan, salah satu yang paling penting adalah molaritas NaOH yang adalah merupakan salah satu material pembentuk cairan alkaline. Kuat tekan beton geopolimer adalah fungsi langsung dari molaritas NaOH (Purwanto et al. 2018). Akan tetapi, perbedaan karakteristik dan kandungan silicon serta alumina dari material geologikal yang digunakan juga dapat mempengaruhi mutu beton geopolimer yang dihasilkan.

Penelitian mengenai beton geopolimer berbasis fly ash umumnya menggunakan fly ash tipe F. Diketahui bahwa fly ash tipe F merupakan jenis fly ash yang memiliki kandungan silicon dan alumina yang tinggi. Akan tetapi, untuk penelitian ini akan menggunakan fly ash tipe C yang memiliki kandungan silicon dan alumina yang rendah. Penelitian akan di fokuskan pada pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap karakteristik beton geopolimer yang akan di buat. Perlunya dilakukan penelitian terhadap beton geopolimer yang di buat dengan fly ash tipe C di karenakan tidak semua pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) menggunakan batu bara yang menghasilkan fly ash tipe F.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis merumuskan penelitian tentang pemanfaatan kaolin dari Desa Toraget sebagai bahan pembuat beton geopolimer yang diaktivasi oleh alkalin aktivator dan semen Portland dengan variasi penambahan *superplasticizer* yang kemudian ditinjau dari salah satu sifat mekanik beton yaitu kuat tekan pada perawatan temperatur ruangan (*room temperature curing*) dan perawatan oven (*elevated temperature curing*).

1.2. Rumusan Masalah

Berikut ini merupakan beberapa rumusan masalah yang akan diselesaikan melalui penelitian ini:

1. Bagaimana pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap kuat tekan beton geopolimer yang akan dibuat?
2. Bagaimana pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap modulus elastisitas beton geopolimer yang akan dibuat?
3. Adakah korelasi antara kuat tekan dan modulus elastisitas berdasarkan hasil pengujian yang nantinya dibuat?

1.3. Batasan Masalah

Mengingat banyaknya aspek yang dapat diteliti dalam penelitian ini, maka perlu ditentukan batasan-batasan masalah dalam penelitian yang akan dilakukan. Adapun batasan-batasan masalahnya sebagai berikut:

1. Abu terbang (*fly ash*) yang akan digunakan berasal dari PLTU SULUT-3.
2. Komponen campuran beton geopolimer terdiri dari kerikil, pasir, *fly ash*, semen, air, NaOH (sodium hidroksida) dan Na₂SiO₃ (sodium silikat).
3. Campuran untuk *alkaline activator* terdiri dari air, sodium hidroksida dan sodium silikat.
4. Variasi molaritas yang digunakan adalah 8M, 10M, 12M dan 14M.
5. Tidak dilakukan pengujian *workability*.
6. Cetakan beton yang digunakan adalah cetakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm.
7. Metode perawatan beton dilakukan dengan cara di oven pada suhu 90^o selama 24 jam.
8. Pengaruh kelembaban udara diabaikan.
9. Uji kuat tekan dilaksanakan pada saat beton mencapai umur 7, 14, dan 28 hari.
10. Uji nilai modulus elastisitas dilaksanakan pada saat beton mencapai umur 7, 14 dan 28 hari.

1.4. Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap nilai kuat tekan beton geopolimer yang akan di uji.
2. Mengetahui pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap nilai modulus elastisitas beton geopolimer yang akan di uji.
3. Mengetahui korelasi antara nilai kuat tekan dan nilai modulus elastisitas beton geopolimer yang akan di uji.

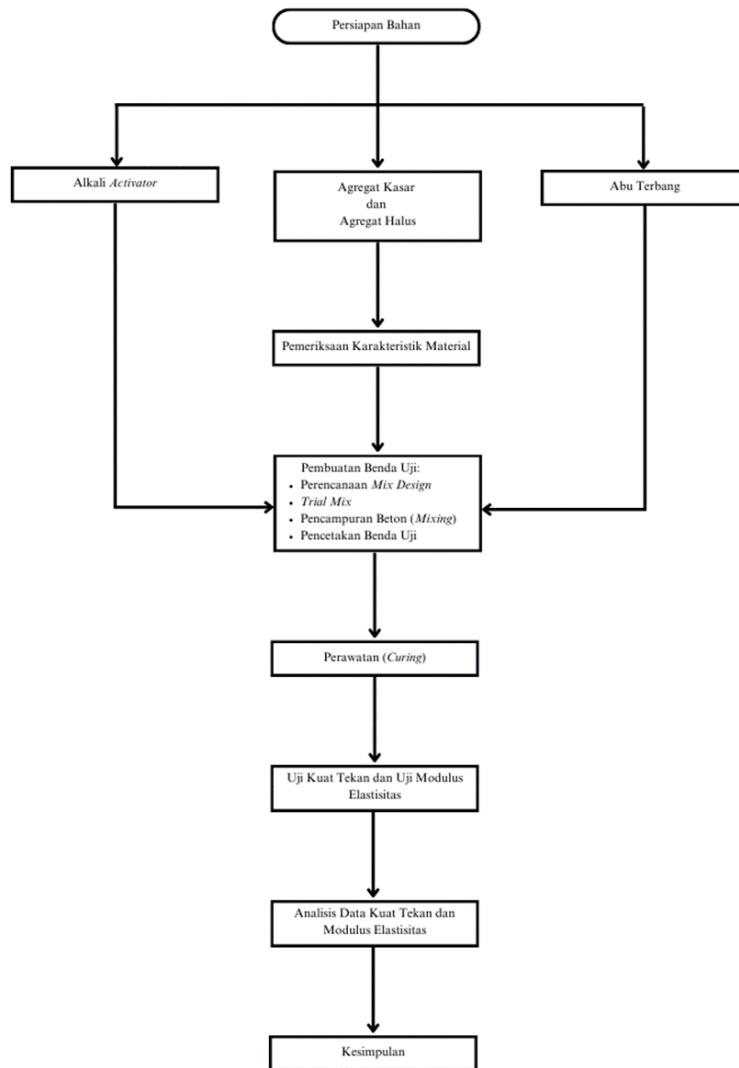
1.5. Manfaat penelitian

Adapun manfaat dari dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Agar dapat mengeksplorasi dan mengoptimalkan penggunaan beton geopolimer berbasis abu terbang (*fly ash*) dalam rangka mendorong pembangunan ramah lingkungan.
2. Penelitian ini dapat digunakan sebagai rujukan pemanfaatan limbah batu bara.
3. Agar dapat mengetahui pengaruh variasi molaritas terhadap perilaku mekanis beton geopolimer berbasis abu terbang, yaitu berupa nilai kuat tekan dan nilai modulus elastisitas, serta korelasi diantara keduanya.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini diawali dengan studi pustaka yang dilanjutkan dengan penelitian yang bersifat eksperimental di laboratorium Struktur dan Material Bangunan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulagi dengan alur penelitian seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Komponen Kimia Abu Terbang (Fly Ash)

Dalam penelitian ini, abu terbang yang digunakan adalah abu terbang yang berasal dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Sulut-3 (2 x 50 MW), Minahasa Utara, Sulawesi Utara pada tahun 2022. Untuk mengetahui komposisi kimia abu terbang, dilakukan pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) di Laboratorium Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang, di kota Malang, Jawa Timur pada September 2022. Dari hasil hasil pengujian diketahui bahwa abu terbang tergolong ke dalam jenis abu terbang *High Calcium Fly Ash* sesuai dengan ASTM C618-12. Komposisi kimia hasil pengujian XRF dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji XRF Mineral Kaolin
(Laboratorium Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang, 2022)

Oksida	%
Al ₂ O ₃	8,5
SiO ₂	19,4
P ₂ O ₅	0,2
SO ₃	9
K ₂ O	1,1
CaO	17,2
TiO ₂	1,1
V ₂ O ₅	0,04
Cr ₂ O ₃	0,079
MnO	0,43
Fe ₂ O ₃	37,32
NiO	0,02
CuO	0,043
SrO	0,55
Mo ₂ O ₃	4,2
BaO	0,27
Eu ₂ O ₃	0,41
Yb ₂ O ₃	0,02
Re ₂ O ₇	0,27

3.2. Rancang Campur (Mix Design)

Komposisi campuran pada penelitian ini mengacu pada hasil penelitian Tambingon (2018). Akan tetapi pada rancang campur yang akan digunakan dilakukan modifikasi pada perbandingan NaOH : Na₂SiO₃ dengan nilai 1 : 2,5 menjadi Na₂SiO₃ : NaOH dengan nilai 1 : 2,5. Hal ini dilakukan karena abu terbang yang akan digunakan memiliki tekstur berkabut sehingga perbandingan komposisi larutan alkali harus dibalik agar larutan alkali menjadi lebih encer, sehingga abu terbang akan mudah larut dan larutan alkali. Sementara itu untuk rasio perbandingan aktivator alkali : abu terbang adalah sebesar 1 : 1,3. Berikut pada Tabel 2. adalah rancang campur yang akan digunakan.

Tabel 2. Rancang Campur (*Mix Design*)

Material	Kg/m ³
Fly Ash	476
Agregat Halus	554
Agregat Kasar	1294
Sodium Silikat <i>Solution</i>	177
Sodium Hidroksida <i>Solution</i>	442,5

3.3. Pemeriksaan Berat Volume Beton

Setelah beton geopolimer di lepaskan dari cetakan, beton geopolimer kemudian ditimbang untuk mengetahui massa beton geopolimer tersebut. Setelah massa beton geopolimer diketahui, berat volume beton kemudian dihitung dengan cara membagi massa beton geopolimer dengan luas penampang silinder. Berikut pada Tabel 3 adalah berat rata-rata beton geopolimer:

Tabel 3. Berat Volume Rata-Rata Beton Geopolimer

No	Usia Perawatan (Hari)	Molaritas (M)	Rata-rata (kg/m ³)
1	7	8	2176,17
2	14	8	2135,57
3	28	8	2126,31
4	7	10	2106,78
5	14	10	2107,48
6	28	10	2118,42
7	7	12	2169,52
8	14	12	2142,93
9	28	12	2134,89
10	7	14	2184,5
11	14	14	2192,26
12	28	14	2134,16

Dari tabel 3. dapat dilihat bahwa nilai rata-rata berat volume beton geopolimer tertinggi adalah pada beton geopolimer molaritas 14 M pada usia perawatan 14 hari yaitu 2192,26 kg/m³, sementara itu nilai rata-rata berat volume beton geopolimer terendah adalah pada beton geopolimer molaritas 10 M pada usia perawatan 7 hari yaitu 2106,78 kg/m³.

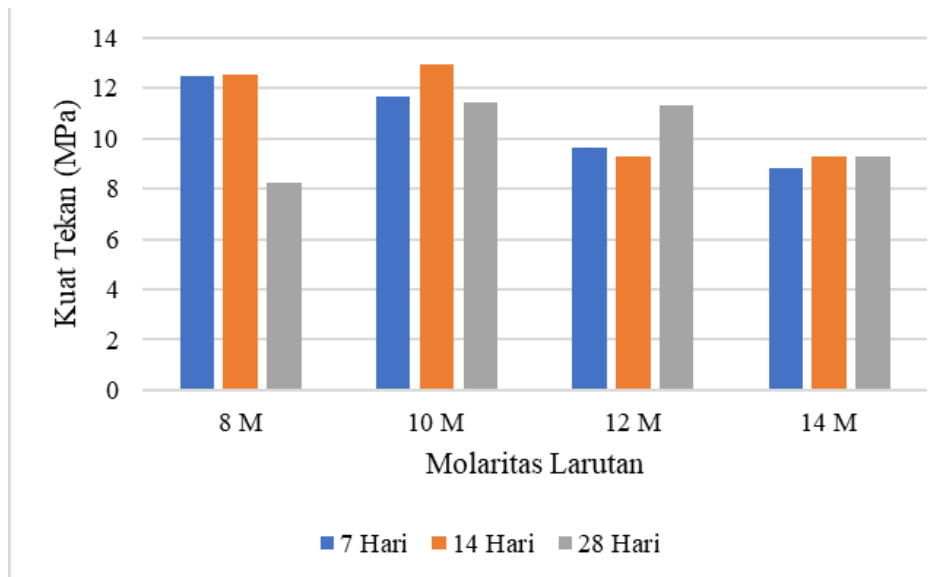
3.4. Pemeriksaan Kuat Tekan Beton

Untuk analisis kuat tekan beton geopolimer usia perawatan 7 hari dan 14 hari akan dibedakan dengan analisis kuat tekan beton geopolimer usia perawatan 28 hari, hal ini karena beton geopolimer usia perawatan 7 hari dan 14 hari dicampur secara terpisah dengan beton geopolimer usia perawatan 28 hari. Berikut pada tabel 4. merupakan hasil perhitungan kuat tekan berdasarkan beban runtuh yang diperoleh dari alat *compression test*.

Tabel 4. Kuat Tekan Rata-Rata Beton Geopolimer

No	Usia Perawatan (Hari)	Molaritas (M)	Rata-rata (MPa)
1	7	8	12,4873
2	14	8	12,5191

No	Usia Perawatan (Hari)	Molaritas (M)	Rata-rata (MPa)
3	28	8	8,24104
4	7	10	11,6915
5	14	10	12,9266
6	28	10	11,4305
7	7	12	9,64797
8	14	12	9,29147
9	28	12	11,3382
10	7	14	8,82037
11	14	14	9,29783
12	28	14	9,31375



Gambar 2. Diagram Rata-rata Kuat Tekan

Berdasarkan Tabel 4., dapat dilihat bahwa rata-rata kuat tekan beton geopolimer tertinggi antara usia perawatan 7 hari dan 14 hari adalah pada beton geopolimer molaritas 10 M dengan usia perawatan 14 hari yaitu 12,92 MPa, sedangkan rata-rata kuat tekan beton geopolimer terendah adalah pada beton geopolimer molaritas 14 M dengan usia perawatan 7 hari yaitu 8,82 MPa. Untuk kuat tekan tertinggi pada beton geopolimer dengan usia perawatan 28 hari adalah pada beton geopolimer molaritas 10 M yaitu 11,43 MPa dan terendah yaitu 8,24 MPa pada beton geopolimer 8 M.

Diagram rata-rata kuat tekan pada gambar 2. menunjukkan bahwa berdasarkan usia perawatan beton geopolimer, nilai kuat tekan bersifat fluktuatif. Ini mengindikasikan bahwa lamanya usia perawatan tidak memberikan pengaruh peningkatan berkelanjutan terhadap nilai kuat tekan beton geopolimer yang di uji. Apabila ditinjau dari aspek molaritas larutan, diagram rata-rata kuat tekan pada gambar 2. menunjukkan bahwa, adanya kecenderungan penurunan kuat tekan seiring dengan meningkatnya molaritas larutan. Ini mengindikasikan bahwa peningkatan kekentalan larutan molaritas dapat menyebabkan penurunan nilai kuat tekan beton geopolimer yang di uji.

Kemudian dilakukan uji t parsial terhadap data kuat tekan beton usia perawatan 7 dan 14 hari untuk melihat pengaruh parsial masing-masing variabel independen terhadap variabel dependen. Tabel 5. berikut ini merupakan hasil analisis uji t parsial yang telah dilakukan.

Tabel 5. Koefisien t dan Koefisien Signifikasnsi Data Kuat Tekan

Model	Coefficients	
	t	Sig.
Molaritas NaOH (M)	-7,430	0,000
Usia Perawatan (Hari)	0,875	0,389

Dari data pada Tabel 5, dapat dilihat bahwa nilai signifikansi variabel independen molaritas NaOH adalah $0,000 < 0,025$, dan nilai t_{hitung} adalah $-7,430$, untuk t_{tabel} nilainya adalah $t_{tabel} = (\alpha/2; n-k-1) = (0,05/2; 32-2-1) = (0,025; 29)$, perhitungan dicocokkan dengan nilai pada tabel t yang dapat dilihat pada lampiran C, di dapat nilai t_{tabel} adalah $2,045$ atau $-2,045$ pada arah negatif, maka nilai $-t_{hitung} < -t_{tabel}$ yaitu $-7,430 < -2,045$, sehingga dapat dibuktikan secara statistika bahwa variabel independen molaritas NaOH berpengaruh terhadap variabel dependen kuat tekan, nilai t negatif menunjukkan bahwa semakin tinggi molaritas NaOH, maka nilai kuat tekan akan mengalami penurunan. Sementara itu, untuk variabel independen usia perawatan, nilai signifikansinya adalah $0,389 > 0,025$, dari hasil nilai signifikansi ini sudah dapat dibuktikan secara statistika bahwa variabel independen usia perawatan tidak berpengaruh terhadap variabel dependen kuat tekan.

3.5. Pemeriksaan Modulus Elastisitas

Untuk analisis modulus elastisitas beton geopolimer usia perawatan 7 hari dan 14 hari akan dibandingkan dengan analisis modulus elastisitas beton geopolimer usia perawatan 28 hari, hal ini karena beton geopolimer usia perawatan 7 hari dan 14 hari dicampur secara terpisah dengan beton geopolimer usia perawatan 28 hari. Berikut pada tabel 6. merupakan hasil perhitungan kuat tekan berdasarkan beban runtuh yang diperoleh dari alat *compression test*.

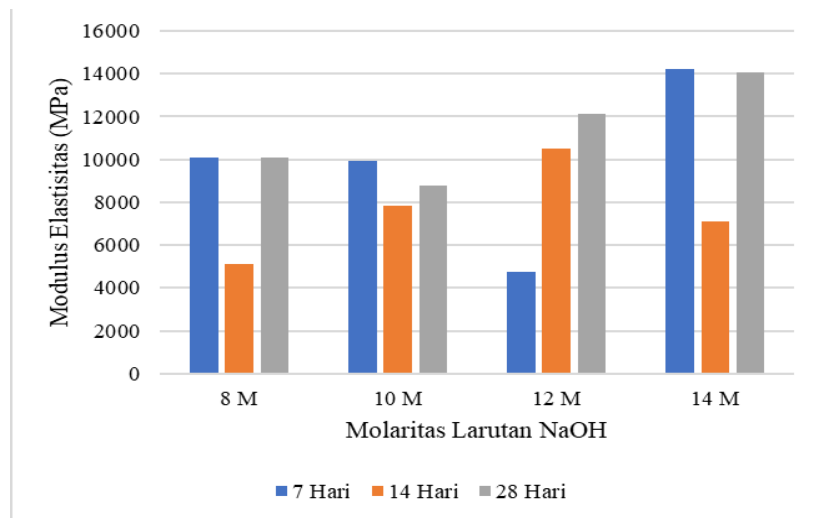
Tabel 6. Modulus Elastisitas Rata-Rata Beton Geopolimer

No	Usia Perawatan (Hari)	Molaritas (M)	Rata-rata (MPa)
1	7	8	10079,4
2	14	8	5093,59
3	28	8	10066,9
4	7	10	9911,78
5	14	10	7818,8
6	28	10	8792,46
7	7	12	4754,86
8	14	12	10490,7
9	28	12	12128,4
10	7	14	14229,6
11	14	14	7081,61
12	28	14	14034,7

Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa rata-rata modulus elastisitas beton geopolimer tertinggi antara usia perawatan 7 hari dan 14 hari adalah pada beton geopolimer molaritas 14 M dengan usia perawatan 7 hari yaitu $14229,6$ MPa, sedangkan rata-rata modulus elastisitas beton geopolimer terendah adalah pada beton geopolimer molaritas 8 M dengan usia perawatan 14 hari yaitu $5093,59$ MPa. Untuk modulus elastisitas tertinggi pada beton geopolimer dengan usia perawatan 28 hari adalah pada beton geopolimer molaritas 14 M yaitu $14034,7$ MPa dan terendah yaitu $8792,46$ MPa pada pada beton geopolimer 10 M.

Diagram rata-rata modulus elastisitas pada Gambar 3. menunjukkan bahwa berdasarkan usia perawatan beton geopolimer, nilai modulus elastisitas bersifat fluktuatif. Ini mengindikasikan bahwa lamanya usia perawatan tidak memberikan pengaruh peningkatan berkelanjutan terhadap nilai modulus elastisitas beton geopolimer yang di uji.

Apabila ditinjau dari aspek molaritas larutan, diagram rata-rata modulus elastisitas pada gambar 3. mengindikasikan bahwa, molaritas larutan tidak memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai modulus elastisitas, karena nilai rata-rata modulus elastisitas pada diagram bersifat fluktuatif.



Gambar 3. Diagram Rata-rata Modulus Elastisitas

Kemudian dilakukan uji t parsial terhadap data modulus elastisitas beton usia perawatan 7 dan 14 hari untuk melihat pengaruh parsial masing-masing variabel independen terhadap variabel dependen. Tabel 7. berikut ini merupakan hasil analisis uji t parsial yang telah dilakukan.

Tabel 7. Koefisien t dan Koefisien Signifikasnsi Data Modulus Elastisitas

Model	Coefficients	
	t	Sig.
Molaritas NaOH (M)	0,686	0,498
Usia Perawatan (Hari)	-0,818	0,420

Dari data pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa nilai signifikansi variabel independen molaritas NaOH adalah $0,498 > 0,025$, sehingga dapat dibuktikan secara statistika bahwa variabel independen molaritas NaOH tidak berpengaruh terhadap variabel dependen modulus elastisitas. Sementara itu, untuk variabel independen usia perawatan, nilai signifikansinya adalah $0,420 > 0,025$, dari hasil nilai signifikansi ini sudah dapat dibuktikan secara statistika bahwa variabel independen usia perawatan tidak berpengaruh terhadap variabel dependen modulus elastisitas.

3.6. Analisis Korelasi Antara Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Pada penelitian ini juga dilakukan analisis korelasi antara data kuat tekan dan modulus elastisitas beton geopolimer,

Tabel 8. Hasil Analisis Korelasi 7 dan 14 Hari

Correlations		Kuat Tekan (MPa)	Modulus Elastisitas (M)
Kuat Tekan (MPa)	Pearson Correlation	1	0,024
	Sig. (2-tailed)		0,895
	N	32	32
Modulus Elastisitas (M)	Pearson Correlation	0,024	1
	Sig. (2-tailed)	0,895	
	N	32	32

Dari hasil analisis pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa nilai signifikansi uji korelasi antara kuat tekan dan modulus elastisitas pada usia perawatan 7 dan 14 hari adalah $0,895 > 0,05$. Hasil ini menunjukkan bahwa pada penelitian ini tidak ada korelasi nilai kuat tekan dan nilai modulus elastisitas.

Tabel 9. Hasil Analisis Korelasi 28 Hari

Correlations		Kuat Tekan (MPa)	Modulus Elastisitas (M)
Kuat Tekan (MPa)	Pearson Correlation	1	-0,132
	Sig. (2-tailed)		0,625
	N	16	16
Modulus Elastisitas (M)	Pearson Correlation	-0,132	1
	Sig. (2-tailed)	0,625	
	N	16	16

Dari hasil analisis pada Tabel 9 dapat dilihat bahwa nilai signifikansi uji korelasi antara kuat tekan dan modulus elastisitas pada usia perawatan 28 hari adalah $0,625 > 0,05$. Hasil ini menunjukkan bahwa pada penelitian ini tidak ada korelasi nilai kuat tekan dan nilai modulus elastisitas.

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilaksanakan, beberapa kesimpulan yang dapat di ambil adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh molaritas larutan NaOH terhadap kuat tekan beton geopolimer bervariasi untuk molaritas 8 M sampai 14 M. Terjadi peningkatan kuat tekan dari molaritas 8 M ke 10 M, tetapi terjadi penurunan kuat tekan pada molaritas 12 M dan 14 M. Uji statistika melalui uji parsial variabel independen terhadap variabel dependen dengan sampel usia perawatan 7 hari dan 14 hari menunjukkan bahwa molaritas larutan NaOH berpengaruh terhadap kuat tekan beton geopolimer dengan arah pengaruhnya berada pada arah negatif.
2. Pengaruh molaritas larutan NaOH terhadap modulus elastisitas beton geopolimer bervariasi untuk molaritas 8 M sampai 14 M. Terjadi penurunan modulus elastisitas dari molaritas 8 M ke 10 M, tetapi terjadi peningkatan modulus elastisitas pada molaritas 12 M dan 14 M. Uji statistika melalui uji parsial variabel independen terhadap variabel dependen dengan sampel usia perawatan 7 hari dan 14 hari menunjukkan bahwa molaritas larutan NaOH tidak berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton geopolimer.
3. Melalui hasil analisis korelasi antara kuat tekan dan modulus elastisitas, dapat disimpulkan bahwa tidak ada korelasi antara kuat tekan dan modulus elastisitas.
4. Pembuktian secara statistika melalui uji parsial variabel independen terhadap variabel dependen dengan sampel usia perawatan 7 hari dan 14 hari menunjukkan bahwa bahwa tidak ada pengaruh antara lamanya usia perawatan terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas. Beton geopolimer yang menggunakan metode *curing oven* dengan suhu 90° selama 24 jam telah mencapai kuat tekan dan modulus elastisitas optimum.

5. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, maka disarankan beberapa hal berikut:

1. Apabila pembuatan benda uji dilakukan dalam jumlah yang besar, sebaiknya harus ada beberapa orang yang melakukan pemadatan benda uji, hal ini karena beton geopolimer cenderung lebih cepat mengeras dan akan menjadi sulit untuk dikerjakan. Proses pemadatan pada beton geopolimer berbasis kaolin perlu diperhatikan dikarenakan kecepatan beton mengeras dapat menyebabkan beton tidak padat secara merata sehingga menimbulkan rongga.

2. Untuk penelitian selanjutnya bisa dicoba menggunakan agregat dalam kondisi SSD, kemudian dapat dibandingkan jumlah larutan saat menggunakan agregat kondisi SSD dengan jumlah larutan dalam penelitian ini.
3. Dapat dilakukan perluasan cakupan pengujian dengan melakukan pengujian porositas untuk mengetahui tingkat porus beton geopolimer, kemudian dari pengujian porositas juga dapat mengetahui ketahanan beton geopolimer terhadap penetrasi air.
4. Dapat dilakukan perluasan cakupan pengujian dengan melakukan pengujian *setting time*, hal ini dilakukan agar dapat mengetahui lama waktu yang dibutuhkan bagi beton geopolimer untuk dapat mencapai tingkat kekakuan yang memadai.
5. Dapat dilihat dari hasil penelitian yang telah dilakukan, seiring dengan meningkatnya molaritas NaOH, beton geopolimer memiliki kecenderungan penurunan kuat tekan. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa peningkatan molaritas NaOH tidak berpengaruh terhadap modulus elastisitas. Hasil penelitian ini berbeda dengan hasil umumnya yang di dapat melalui penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, dimana peningkatan molaritas NaOH akan diikuti oleh peningkatan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan penambahan jumlah sampel untuk dilihat perbandingannya.

Referensi

- Gagg, C.R., 2014, 'Cement and Concrete As An Engineering Material: An Historic Appraisal and Case Study Analysis', *Engineering Failure Analysis*, 40, 114–140.
- Olivier, J.G.J., Janssens-Maenhout, G., Muntean, M. & Peters, J.A.H.W. (2015). *Trends in Global CO2 Emissions: 2015 Report*.
- Davidovits, J., 1994, 'High-Alkali Cements for 21st Century Concretes', *ACI Symposium Publication*, 144.
- Duxson, P., Provis, J.L., Lukey, G.C. & Deventer, J.S.J. van, 2007, 'The Role of Inorganic Polymer Technology in The Development of "Green Concrete"', *Cement and Concrete Research*, 37(12), 1590–1597.
- Tambingon, F.R., Sumajouw, M.D.J. & Wallah, S.E., 2018, 'Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Perawatan Temperatur Ruangan', *Jurnal Sipil Statik*, 6.
- ASTM, 2014, *ASTM C618-12a Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*.
- Badan Standarisasi Nasional, 1990, *SNI 03-1974-1990 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*.
- Ghozali, I., 2011, *Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program IBM SPSS 19*, Edisi V, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
- Hardjito, D., Wallah, S.E., Sumajouw, D.M.J. & Rangan, B.V., 2005, 'Fly Ash-Based Geopolymer Concrete', *Australian Journal of Structural Engineering*, 6(1), 77–86.
- Hardjito, D. & Rangan, B.V., 2005, *Development and Properties of Low-calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete* – PhD thesis, Curtin University of Technology, Perth .
- Xu, H. & Van Deventer, J.S.J., 2000, 'The Geopolymerisation of Alumino-silicate Minerals', *International Journal of Mineral Processing*, 59(3), 247–266.