



## Analisa Pengaruh Variasi Molaritas Naoh Terhadap Pengujian Kuat Tarik Belah Dan Kuat Tarik Lentur Pada Eksperimen Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash

Ardianto W. Masanggelo<sup>#a</sup>, Marthin D. J. Sumajouw<sup>#b</sup>, Ronny E. Pandaleke<sup>#c</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

<sup>a</sup>ardiantowm10@gmail.com, <sup>b</sup>dody\_sumajouw@yahoo.com, <sup>c</sup>ronny\_pandaleke@yahoo.com

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap pengujian kuat tarik belah dan kuat tarik lentur pada eksperimen beton geopolimer berbasis fly ash. Beton geopolimer merupakan jenis beton yang menggunakan bahan pengikat geopolimer, yang dapat dihasilkan dari material abu terbang (fly ash) sebagai pengganti sebagian semen. NaOH digunakan sebagai aktuator dalam proses pembentukan geopolimer. Variasi molaritas NaOH digunakan untuk mengamati perubahan sifat mekanik beton geopolimer. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan variasi molaritas NaOH 8 M, 10 M, 12 M dan 14 M dengan metode perawatan oven selama 24 jam pada suhu 900C. Campuran beton geopolimer dibuat dengan menggunakan perbandingan massa fly ash, larutan NaOH, dan larutan Nasilikat yang telah ditentukan. Kemudian, spesimen beton geopolimer dibentuk dan di oven pada suhu 900C dan diuji menggunakan metode kuat tarik belah dan kuat tarik lentur sesuai dengan standar yang berlaku. Hasil pengujian dianalisis untuk melihat pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton geopolimer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi molaritas NaOH memiliki pengaruh signifikan terhadap kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton geopolimer. Semakin tinggi molaritas NaOH yang digunakan, semakin tinggi pula nilai kuat tarik belah dan kuat tarik lentur yang dihasilkan. Namun, terdapat batasan tertentu di mana penggunaan molaritas NaOH yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan kinerja mekanik beton geopolimer. Penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan beton geopolimer berbasis fly ash dengan memperhatikan pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap sifat mekaniknya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perancangan dan penggunaan beton geopolimer dalam konstruksi, terutama dalam upaya pengurangan penggunaan semen dan pengelolaan limbah fly ash.

*Kata kunci:* beton geopolimer, fly ash, molaritas NaOH, kuat tarik belah, kuat tarik lentur

### 1. Pendahuluan

#### 1.1. Latar Belakang

Beton sebagai material bangunan paling populer, tersusun dari komposisi utama agregat kasar, agregat halus, air, dan Semen Portland menjadi material yang sangat penting dan banyak digunakan untuk membangun berbagai infrastruktur seperti gedung, jembatan, jalan raya, dibawah tanah seperti pondasi. Dengan adanya pembangunan infrastruktur yang semakin hari semakin meningkat mengakibatkan produksi semen yang meningkat pula. Menurut (Malhotra, 1999) produksi semen dunia akan terus meningkat dari 1,5 miliar ton pada tahun 1995 menjadi 2,2 miliar ton pada tahun 2010.

Akan tetapi, pada saat proses produksi semen terjadi pelepasan gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) ke udara yang besarnya sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi (Davidovits, 1994), yang dapat merusak lingkungan hidup kita diantaranya pemanasan global. Maka diperlukan bahan alternatif lain yang bisa menggantikan semen dalam campuran beton untuk mendapatkan beton yang ramah lingkungan. Diantaranya ialah melalui pengembangan beton dengan menggunakan bahan pengikat anorganik seperti alumina-silikat polymer atau dikenal dengan geopolymers yang merupakan sintesa dari material geologi yang terdapat pada alam yang kaya akan kandungan

silika dan alumina (Davidovits, 1999).

Usaha untuk mendapatkan beton ramah lingkungan ialah melalui pengembangan beton dengan menggunakan bahan pengikat anorganik seperti alumina-silikat polymer atau dikenal dengan geopolimer yang merupakan sintesa dari material geologi yang terdapat pada alam atau material hasil produk sampingan industri seperti abu terbang yang kaya akan kandungan silika dan alumina (Davidovits, 1999).

Abu terbang merupakan salah satu material hasil sampingan (by product) industri yang dapat digunakan untuk membuat bahan pengikat (binders) pada beton geopolimer. Hasil pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik tenaga Uap (PLTU) ini banyak digunakan sebagai bahan tambahan untuk memperbaiki kinerja beton. Material ini tersedia sangat banyak tapi penggunaannya untuk pembuatan beton masih sangat terbatas. Pada tahun 1988 perkiraan Produksi abu terbang melebihi 390 juta ton setiap tahunnya, tapi pemanfaatannya masih kurang dari 15% (Malhotra, 1999). Sedangkan Apabila Abu terbang ini dibuang secara terbuka dapat mengakibatkan pencemaran pada air, tanah, dan udara karena walaupun dalam jumlah sedikit, abu terbang mengandung beberapa elemen beracun seperti arsenik, vanadium, antimony, boron dan chromium.

### *1.2 Rumusan Masalah*

Berdasarkan pertimbangan tersebut, dalam penulisan skripsi ini akan dipertimbangkan beberapa aspek yang kemudian dijadikan fokus penelitian. Rumusan masalah yang akan diangkat adalah: "Bagaimana pengaruh variasi molaritas NaOH terhadap kuat tarik belah dan kuat tarik lentur balok pada beton geopolimer berbasis fly ash dari PLTU SULUT-3". Dengan rumusan masalah ini, penulis akan menyusun penelitian dengan judul:

"Analisis Pengaruh Variasi Molaritas NaOH Terhadap Kuat Tarik belah, dan Kuat Tarik Lentur Balok Pada Eksperimen Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang (Fly Ash)

### *1.3 Batasan Penelitian*

Mengingat banyaknya aspek yang dapat diteliti dalam penelitian ini, maka perlu ditentukan batasan-batasan masalah dalam penelitian yang akan dilakukan ini. Adapun batasan-batasan masalah 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 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (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 persegi panjang dengan ukuran 10cmx10cmx50cm dan cetakan berbentuk silinder dengan diameter 10cm dan tinggi 20cm
7. Metode perawatan beton dilakukan dengan cara di oven pada suhu 90o selama 24 jam.
8. Pengaruh kelembaban udara diabaikan.
9. Uji kuat tarik belah dilaksanakan pada saat beton beton setelah dikeluakan dari cetakan.
- 10.Uji kuat tarik lentur balok dilaksanakan pada saat beton setelah dikeluakan dari cetakan.

### *1.4 Tujuan Penelitian*

Adapun tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui nilai kuat Tarik belah beton pada masing-masing variasi molaritas.
2. Mengetahui nilai kuat Tarik lentur balok beton pada masing-masing variasi molaritas

### *1.5 Manfaat Penelitian*

Adapun manfaat dari dilaksanakannya penelitian ini adalah:

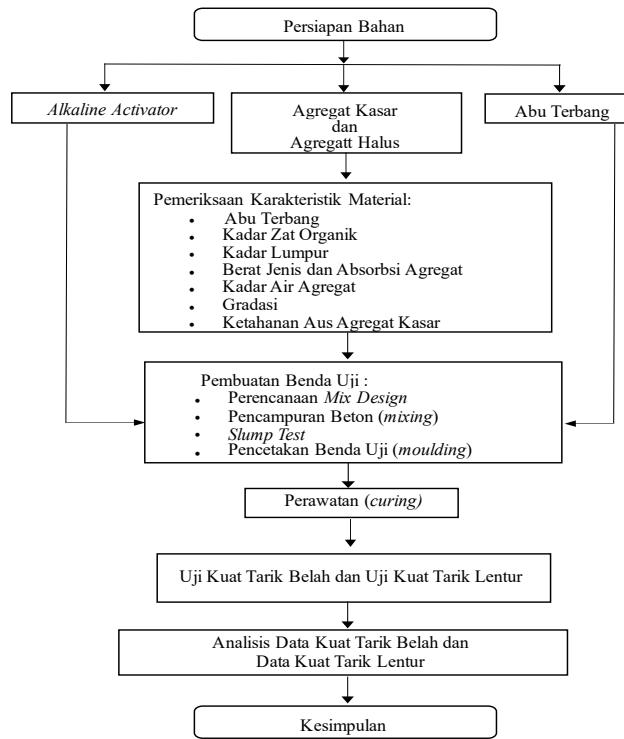
1. Kemungkinan eksplorasi dan optimalisasi penggunaan beton geopolimer berbasis abu terbang (fly ash) untuk mendukung pembangunan yang ramah lingkungan.
2. Penelitian ini dapat menjadi referensi dalam pemanfaatan limbah batu bara.
3. Memberikan pemahaman tentang pengaruh variasi molaritas terhadap perilaku mekanis beton

geopolimer berbasis abu terbang, khususnya terkait nilai kuat tarik belah dan nilai kuat tarik lentur pada berbagai variasi molaritas.

## 2. Metodologi penelitian

### 2.1. Bagan alir

Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Bagan Alir Penelitian

### 2.2. Mix Design

**Tabel 1.** Mix Design Beton Geopolimer

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

**Tabel 2.** Mix Design Beton Geopolimer Silinder 10/20

Material	Kg
Fly Ash	17.19707819
Agregat Halus	20.0150868
Agregat Kasar	46.75004028
Sodium Silikat Solution	6.394711846
Sodium Hidroksida Solution	15.98677962

**Tabel 3.** Mix Design Beton Geopolimer Balok 10/ 10/50

Material	Kg
Fly Ash	54,74
Agregat Halus	63,71
Agregat Kasar	148,81
Sodium Silikat Solution	20,355
Sodium Hidroksida Solution	50,8875

### 2.3. Perhitungan Konsentrasi Larutan NaOH

Dalam perhitungan konsentrasi larutan NaOH akan diketahui total kebutuhan NaOH (Flake) dan air yang akan digunakan untuk seluruh sampel pada masing-masing molaritas. Pada tahap awal perhitungan jumlah kebutuhan NaOH (Flake) dan air, terlebih dahulu di hitung massa air apabila 1000 ml air dituang kedalam massa NaOH sesuai dengan molaritas larutan yang akan dibuat. Untuk massa molaritas larutan sesuai nilai konversi untuk 1 M adalah 40 gr. Massa air sesuai dengan molaritas yang akan dibuat dapat diilah pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Massa Air dan NaOH untuk 1000 ml Air

Molaritas	NaOH (g)	Air (g)
8	320	907
10	400	833,59
12	480	820,7
14	560	765,4

### 2.4. Pembuatan Benda Uji Beton Geopolimer

Tahap dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan campuran beton geopolimer (mixing);
2. Pencetakan benda uji balok (10 x 10 x 50) cm untuk pengujian kuat lentur dan silinder (10x20) cm untuk pengujian kuat tarik belah
3. Perawatan benda uji menggunakan menggunakan oven dengan suhu 90° selama 24 jam

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Pemeriksaan agregat kasar dan halus

Pemeriksaan agregat kasar dan halus dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik agregat sebelum dilakukan pencampuran. Untuk agregat kasar yang berasal dari Kema, modulus kehalusan butirnya adalah sebesar 7,448, berat jenis kering sebesar 2,643, berat jenis SSD sebesar 2,664, absorpsi maksimum sebesar 0,823%, berat volume padat sebesar 1490,775 kg/m<sup>3</sup>, berat volume gembur sebesar 1376,384 kg/m<sup>3</sup>, keausan sebesar 17,17%, dan kadar air sebesar 0,482%. Untuk agregat halus yang berasal dari Kema, modulus kehalusan butirnya adalah sebesar 3,419, berat jenis kering sebesar 2,037, berat jenis SSD sebesar 2,283, absorpsi maksimum sebesar 12,095%, berat volume padat sebesar 1286,885 kg/m<sup>3</sup>, berat volume gembur sebesar 1196,721 kg/m<sup>3</sup>, kadar lumpur sebesar 1,133%, zat organik warna nomor 3 dan kadar air sebesar 9,697%.

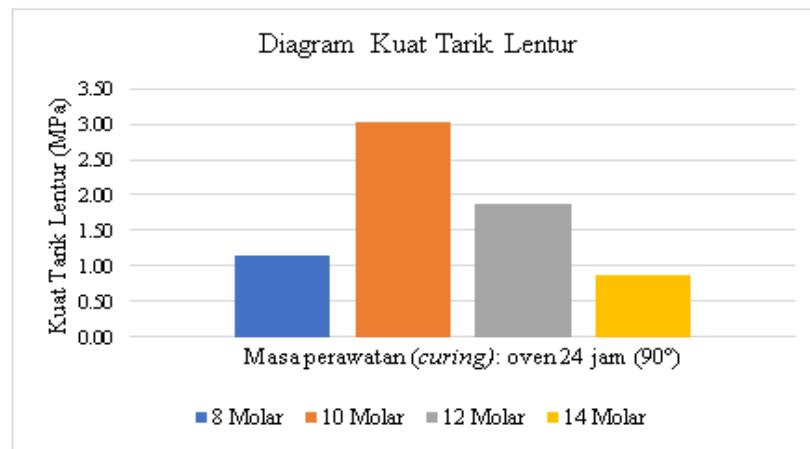
### 3.2. Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur

Dalam penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder (10 x 10 x 50) cm. Adapun

hasil pengujian kuat tarik lentur, diagram kuat tarik lentur dan berat volum benda uji dijelaskan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Kuat Tarik Lentur Beton Geopolimer

Data Kuat Tarik Lentur					
	Kode	Beban (KN)	Beban (N)	f <sub>c</sub> (MPa)	Rata-Rata (Mpa)
8 Molar	KTL1	2.5	2,500	1.250	1.160
	KTL2	2.2	2,200	1.100	
	KTL3	2.3	2,300	1.150	
	KTL4	2.2	2,200	1.100	
	KTL5	2.4	2,400	1.200	
10 Molar	Kode	Beban (KN)	Beban (N)	f <sub>c</sub> (MPa)	Rata-Rata (Mpa)
	KTL1	6.4	6,400	2.280	3.020
	KTL2	6.6	6,600	3.300	
	KTL3	6.3	6,300	3.150	
	KTL4	6.7	6,700	3.350	
12 Molar	Kode	Beban (KN)	Beban (N)	f <sub>c</sub> (MPa)	Rata-Rata (Mpa)
	KTL1	3.8	3,800	1.900	1.870
	KTL2	3.6	3,600	1.800	
	KTL3	3.4	3,400	1.700	
	KTL4	4	4,000	2.000	
14 Molar	Kode	Beban (KN)	Beban (N)	f <sub>c</sub> (MPa)	Rata-Rata (Mpa)
	KTL1	2.1	2,100	1.050	0.883
	KTL2	1.7	1,700	0.850	
	KTL3	1.5	1,500	0.750	



**Gambar 2.** Diagram Rata-Rata Kuat Tarik lentur

**Tabel 6.** Berat Volume Beton Geopolimer pada Uji Kuat Tarik Lentur

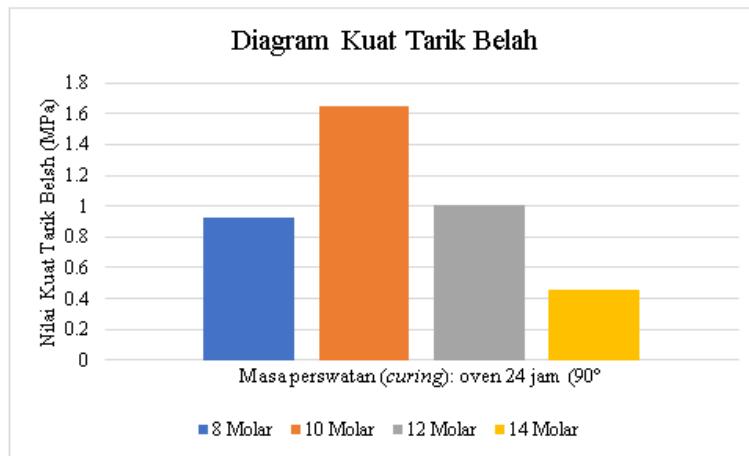
Data Kuat Tarik Lentur			
	Massa(Kg)	Berat Volum (Kg/m <sup>3</sup> )	Rata-rata Berat Volum(Kg/m <sup>3</sup> )
8 Mol	10,200	2040,00	2034,00
	10,100	2020,00	
	10,200	2040,00	
	10,200	2040,00	
	10,150	2030,00	
10 M	Massa(Kg)	Berat Volum (Kg/m <sup>3</sup> )	Rata-rata Berat Volum(Kg/m <sup>3</sup> )
	10,700	2140,00	2155,00
	10,800	2160,00	
	10,800	2160,00	
	10,800	2160,00	
12 M	Massa(Kg)	Berat Volum (Kg/m <sup>3</sup> )	Rata-rata Berat Volum(Kg/m <sup>3</sup> )
	10,850	2170,00	2146,00
	10,700	2140,00	
	10,700	2140,00	
	10,900	2180,00	
14 M	Massa(Kg)	Berat Volum (Kg/m <sup>3</sup> )	Rata-rata Berat Volum(Kg/m <sup>3</sup> )
	10,500	2100,00	2103,33
	10,550	2110,00	
	10,500	2100,00	

### 3.3. Analisis Pengaruh Variasi Molaritas NaOH Terhadap Kuat Tarik Belah

Perhitungan kuat tarik belah berdasarkan beban maksimum pada saat momen patah (fracture) yang diperoleh dari alat Universal Testing Machine (UTM) menggunakan Fracture Testing tool.

**Tabel 7.** Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer

Data Kuat Tarik Belah				
	Kode	Beban (KN)	f <sub>c</sub> (MPa)	Rata-rata (Mpa)
8 Mol	B1	29.6	0.94	0.93
	B2	29.1	0.93	
	B3	29.8	0.95	
	B4	29.8	0.95	
	B5	28	0.89	
10 Mol	Kode	Beban (KN)	f <sub>c</sub> (MPa)	Rata-rata (Mpa)
	S1	53.2	1.69	1.65
	S2	55.6	1.77	
	S3	54.1	1.72	
	S4	45	1.43	
12 Mol	Kode	Beban (KN)	f <sub>c</sub> (MPa)	Rata-rata (Mpa)
	KTB1	33.2	1.06	1.01
	KTB2	34.3	1.09	
	KTB3	30.8	0.98	
	KTB4	28.5	0.91	
14 Mol	Kode	Beban (KN)	f <sub>c</sub> (MPa)	Rata-rata (Mpa)
	KTB1	11.3	0.36	0.46
	KTB2	16.5	0.52	
	KTB3	15.4	0.49	
	KTB4	12.6	0.40	
	KTB5	16.7	0.53	

**Gambar 3.** Diagram Rata-Rata Kuat Tarik Lentur**Tabel 8.** Berat Volume Beton Geopolimer pada Uji Kuat Tarik Belah

Data Kuat Tarik Belah			
	Berat(Kg)	Berat Volum (Kg/m³)	Rata-rata Berat Volum (Kg/m³)
8 Mol	3,350	2132.67	2126.30
	3,350	2132.67	
	3,350	2132.67	
	3,300	2100.84	
	3,350	2132.67	
10 Mol	3,300	2100.84	2088.11
	3,300	2100.84	
	3,300	2100.84	
	3,250	2069.01	
	3,250	2069.01	
12 Mol	3,450	2196.33	2151.77
	3,350	2132.67	
	3,350	2132.67	
	3,350	2132.67	
	3,400	2164.50	
14 Mol	3,350	2132.67	2145.40
	3,350	2132.67	
	3,350	2132.67	
	3,400	2164.50	
	3,400	2164.50	

### 3.3 Analisis Regresi Linear Sederhana pada Kuat Tarik lentur

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis regresi linear sederhana menggunakan software IBM SPSS Statistics untuk mempertegas hubungan antara molaritas NaOH dan kuat tarik lentur beton geopolimer.

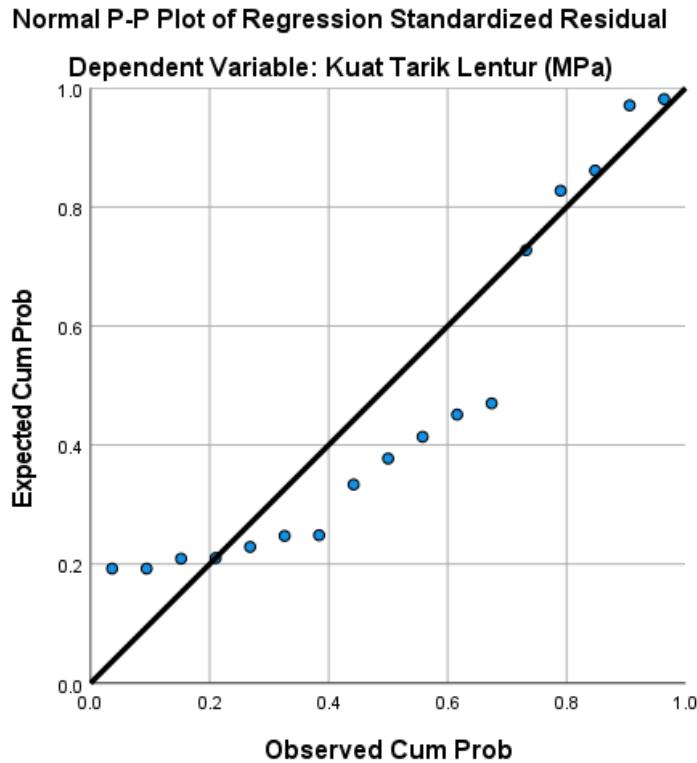
#### A. Uji Normalitas Data

Uji normalitas dilakukan pada data kuat tekan untuk memeriksa distribusi data kuat tarik lentur yang telah dikumpulkan sebelumnya. Hasil uji normalitas data ditunjukkan pada Gambar 4.

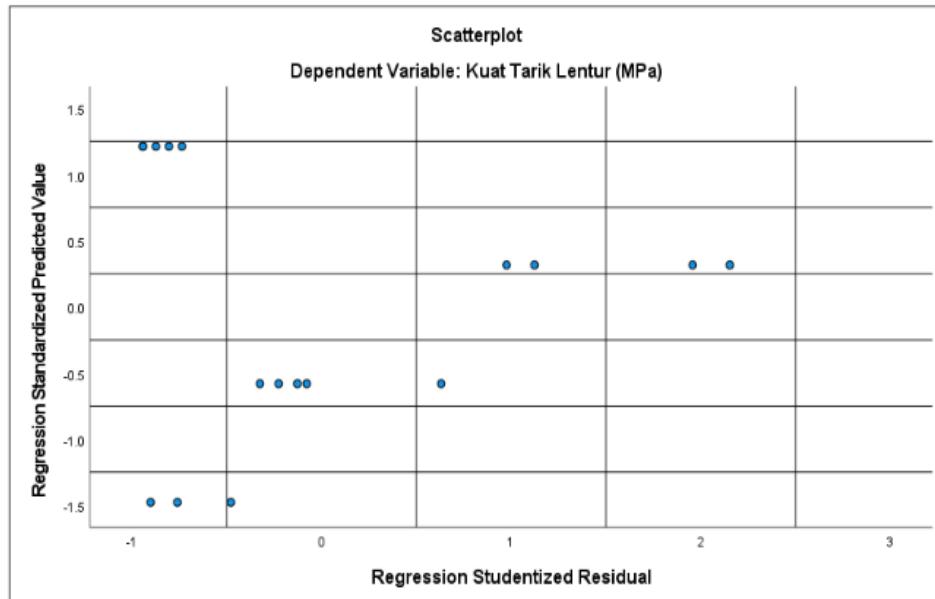
#### B. Uji Heteroskedastisita Data

Uji heteroskedastisitas pada data kuat tarik lentur dilakukan untuk mengevaluasi variasi residu

yang terjadi dalam data tersebut. Hasil uji heteroskedastisitas ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Hasil Uji Normalitas Data Kuat Tarik Lentur



Gambar 5. Nilai Residual Data Kuat Tarik Lentur

### C. Uji t Parsial

Pemeriksaan uji t parsial pada data kuat tarik lentur dilakukan untuk mengevaluasi dampak individu dari setiap variabel independen terhadap variabel dependen. Hasil uji t parsial ditunjukkan pada Gambar 6.

### D. Uji F Simultan

Pemeriksaan uji F simultan pada data kuat tarik lentur dilakukan untuk mengevaluasi dampak bersama-sama dari variabel-variabel independen terhadap variabel dependen. Hasil uji F simultan ditunjukkan pada Gambar 7.

Model	Coefficients	
	t	Sig.
Molaritas NaOH (M)	-2,393	0,030

**Gambar 6.** Koefisien t dan Koefisien Signifikansi Data Kuat Tarik Lentur

ANOVA		
Regression	F	5,587
	Sig.	0,046

**Gambar 7.** Nilai F dan Nilai Signifikansi Kuat Tarik Lentur*E.***F. Koefisien Determinasi**

Hasil analisis koefisien determinasi digunakan untuk menilai persentase seberapa besar variabel independen secara bersama berpengaruh terhadap variabel dependen. Hasil analisis koefisien determinasi ditunjukkan pada Gambar 8.

Model Summary	
R <sup>2</sup>	0,189
Adjusted R <sup>2</sup>	0,028

**Gambar 8.** Koefisien Determinasi Kuat Tarik Lentur**G. Persamaan Regresi**

Berikut ini merupakan nilai koefisien beta untuk menentukan persamaan garis regresi nilai kuat tarik lentur beton geopolimer.

Model	Coefficients	
	B	
(Constant)	2,316	
Molaritas NaOH (M)	-0,066	

**Gambar 9.** Nilai Koefisien Beta Kuat Tarik Lentur**3.4. Analisis Regresi Linear Sederhana pada Kuat Tarik Belah**

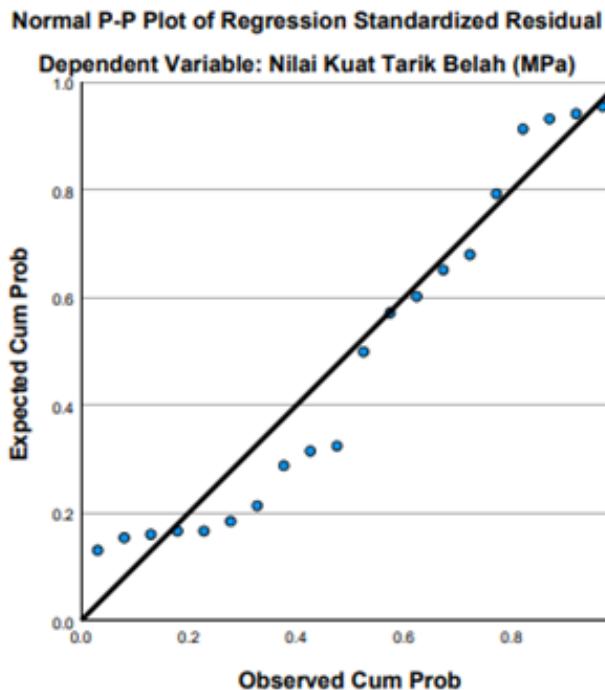
Analisis regresi linear sederhana dalam penelitian ini menggunakan software IBM SPSS Statistics untuk mempertegas hubungan antara molaritas NaOH dan kuat tarik belah beton geopolimer.

**A. Uji Normalitas Data**

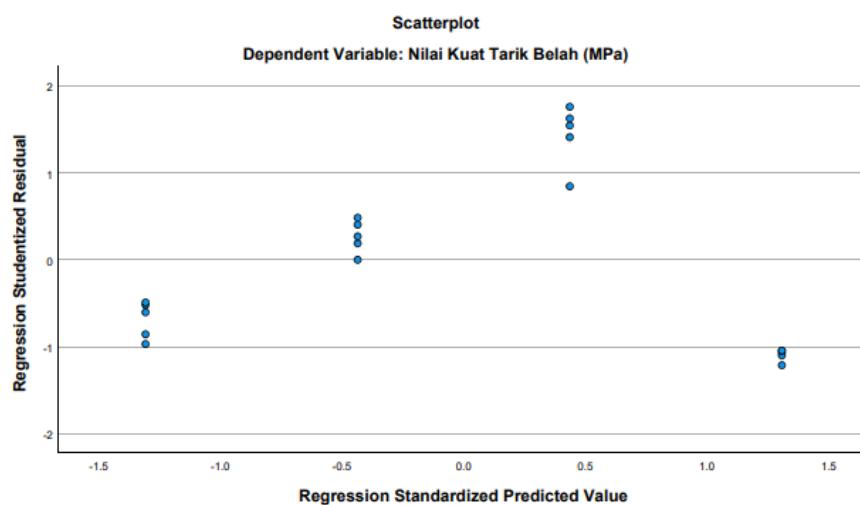
Uji normalitas dilakukan pada data kuat tekan untuk memeriksa distribusi data kuat tarik belah yang telah dikumpulkan sebelumnya. Hasil analisis normalitas untuk data kuat tarik belah ditunjukkan pada Gambar 10.

**B. Uji Heteroskedastisitas Data**

Uji heteroskedastisitas pada data kuat tarik belah dilakukan untuk mengevaluasi variasi residu yang terjadi dalam data tersebut. Hasil uji heteroskedastisitas kuat tarik belah ditunjukkan pada Gambar 11.



**Gambar 10.** Hasil Uji Normalitas Data Kuat Tarik Belah



**Gambar 11.** Nilai Residual Data Kuat Tarik Belah

#### C. Uji t Parsial

Pemeriksaan uji t parsial pada data kuat tarik lentur dilakukan untuk mengevaluasi dampak individu dari setiap variabel independen terhadap variabel dependen. Hasil uji t parsial pada terhadap data hasil uji kuat tarik belah ditunjukkan pada Gambar 12.

Model	Coefficients	
	t	Sig.
Molaritas NaOH (M)	-2,680	0,015

**Gambar 12.** Koefisien t dan Koefisien Signifikansi Data Kuat Tarik Belah

#### D. Uji F Simultan

Pemeriksaan uji F simultan pada data kuat tarik lentur dilakukan untuk mengevaluasi dampak bersama-sama dari variabel-variabel independen terhadap variabel dependen. Hasil uji F simultan terhadap data hasil uji kuat tarik belah ditunjukkan pada Gambar 13.

ANOVA		
Regression	F	7,182
	Sig.	0,015

**Gambar 13.** Nilai F dan Nilai Signifikansi Kuat Tarik Belah

#### E. Koefisien Determinasi

Hasil analisis koefisien determinasi digunakan untuk menilai persentase seberapa besar variabel independen secara bersama-sama memengaruhi variabel dependen. Hasil analisis koefisien determinasi terhadap data hasil uji kuat tarik belah ditunjukkan pada Gambar 14.

Model Summary	
R <sup>2</sup>	0,534
Adjusted R <sup>2</sup>	0,245

**Gambar 14.** Koefisien Determinasi Kuat Tarik Belah

#### F. Persamaan Regresi

Berikut ini merupakan nilai koefisien beta untuk menentukan persamaan garis regresi nilai kuat tarik belah beton geopolimer.

Model	Coefficients
	B
(Constant)	2,114
Molaritas NaOH (M)	-0,103

**Gambar 15.** Nilai Koefisien Beta Kuat Tarik Belah

### 4. Kesimpulan

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

1. Variasi molaritas larutan NaOH mempengaruhi nilai kuat tarik lentur beton geopolimer. Penelitian menunjukkan bahwa kenaikan molaritas larutan NaOH dapat mengakibatkan penurunan kuat tarik lentur beton geopolimer. Hal ini dapat diperkuat dengan hasil perhitungan uji t, dimana nilai signifikansinya adalah 0,030, yang kurang dari 0,05, dan nilai t yang dihasilkan adalah -2,393, yang lebih kecil dari -2,14479.
2. Variasi molaritas larutan NaOH mempengaruhi nilai kuat tarik belah beton geopolimer. Penelitian menunjukkan bahwa kenaikan molaritas larutan NaOH dapat mengakibatkan penurunan kuat tarik belah beton geopolimer. Hal ini dapat diperkuat dengan hasil perhitungan uji t, dimana nilai signifikansinya adalah 0,015, yang kurang dari 0,05, dan nilai t yang dihasilkan adalah -2,680, yang lebih kecil dari -2,10982

### 5. Saran

Ada beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Jika produksi benda uji yang dilakukan lebih dari 3 sampel maka, disarankan untuk melibatkan beberapa orang dalam proses pemadatan. Ini disebabkan oleh sifat beton geopolimer yang cenderung mengeras dengan cepat, sehingga bisa sulit untuk dikelola jika dilakukan secara individu.
2. Untuk penelitian mendatang, disarankan untuk menggunakan agregat dalam kondisi SSD (Saturated Surface Dry). Kemudian, hasilnya dapat dibandingkan dengan jumlah larutan yang digunakan dalam penelitian ini untuk melihat perbedaannya.
3. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya di lakukan dengan variasi curing, misalnya seperti variasi suhu oven untuk mengetahui suhu optimum untuk beton geopolimer, atau dengan melakukan variasi waktu pada curing oven beton geopolimer untuk mengetahui waktu curing

- idealnya, dan percobaan perendaman beton geopolimer untuk menganalisa pengaruh perendaman terhadap beton geopolimer dan menganalisa perbedaan kekutan beton setelah di rendam dan setelah di oven dengan variasi waktu dan suhu curing yang sama.
4. Upaya perlu dilakukan untuk memperluas ruang lingkup pengujian dengan melakukan pengujian porositas. Hal ini akan memberikan informasi tentang tingkat porositas beton geopolimer, serta ketahanannya terhadap penetrasi air.
  5. Lakukan uji XRF pada fly ash yang di rencakan akan di gunakan kemudian tinjau nilai Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+SiO<sub>2</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> apakah sudah memenuhi minimum chemical standar ASTM C-618 karena akan berpengaruh pada kekuatan beton geopolimer.

## Referensi

- Siddique, R. (2011). Properties of self-compacting concrete containing class F fly ash. *Construction and Building Materials*, 25(9), 4113-4120.  
<https://lauwtjunnji.weebly.com/fly-ash--overview.html>
- ASTM, 2014, ASTM C618-12a Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete.
- Provis, J. L., & van Deventer, J. S. J. (2014). Geopolymers: Structures, processing, properties and industrial applications. Woodhead Publishing.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., & Rangan, B. V. (2004). On the development of fly ash-based geopolymers concrete. *ACI Materials Journal*, 101(6), 467-472.
- Temuujin, J., Minjigmaa, A., van Riessen, A., & Rickard, W. (2009). The effect of calcium hydroxide on the mechanical properties of fly ash geopolymers pastes. *Journal of Hazardous Materials*, 167(1-3), 82-88.
- Hardjito, D., & Rangan, B. V. (2005). Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymers concrete. Research report GC-1, Faculty of Engineering, Curtin University of Technology, Perth, Australia.
- Davidovits, J. (2008). Geopolymers and geopolymeric materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 89(3), 927-931.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., & Sumajouw, D. M. J. (2005). Influence of process parameters on the compressive strength of fly ash-based geopolymers paste. *Australian Journal of Structural Engineering*, 6(1), 77-86.
- Temuujin, J., Minjigmaa, A., & Rickard, W. (2011). Effects of calcium compounds on the mechanical properties of fly ash geopolymers pastes. *Construction and Building Materials*, 25(2), 1088-1094.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., & Rangan, B. V. (2004). On the development of fly ash-based geopolymers concrete. *ACI Materials Journal*, 101(6), 467-472.
- Hardjito, D., & Rangan, B. V. (2005). Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymers concrete. Research report GC-1, Faculty of Engineering, Curtin University of Technology, Perth, Australia.
- Temuujin, J., Minjigmaa, A., & Rickard, W. (2009). Effects of calcium compounds on the mechanical properties of fly ash geopolymers pastes. *Construction and Building Materials*, 25(2), 1088-1094.
- Davidovits, J. (1994). Global warming impact on the cement and aggregates industries. *World Resource Review*, 6(2), 256-285.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J., & Rangan, B. V. (2004). On the development of fly ash-based geopolymers concrete. *ACI Materials Journal*, 101(6), 467-472.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., & Sumajouw, D. M. J. (2005). Influence of process parameters on the compressive strength of fly ash-based geopolymers paste. *Australian Journal of Structural Engineering*, 6(1), 77-86.