

# Rasio Nilai Kuat Lentur pada Beton Geopolimer dengan Penambahan *Superplasticizer*

Lie Ester Surya <sup>[1]</sup>, Rachmansyah <sup>[1]\*</sup>

<sup>[1]</sup> *Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta Barat, 11470, Indonesia*

Email: [lie.242019011@civitas.ukrida.ac.id](mailto:lie.242019011@civitas.ukrida.ac.id), [rachmansyah@ukrida.ac.id](mailto:rachmansyah@ukrida.ac.id)\*

\*) Correspondent Author

**Received:** 09 February 2023; **Revised:** 25 June 2023; **Accepted:** 03 July 2023

**How to cited this article:**

Surya, L.E., Rachmansyah, R. (2023). Rasio Nilai Kuat Lentur pada Beton Geopolimer dengan Penambahan *Superplasticizer*. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(2), 265–277. <https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.6205>

## ABSTRAK

Beton semen merupakan bahan alternatif dalam konstruksi karena memiliki kekuatan yang tinggi. Beton semen memiliki bahan seperti agregat kasar, agregat halus, semen dan air. Saat produksi semen menghasilkan emisi seperti partikel debu, SO<sub>2</sub>, gas CO<sub>2</sub>, dan polutan lainnya. Emisi dapat merusak lingkungan sehingga diperlukan alternatif untuk mengatasinya. Beton geopolimer merupakan beton tanpa bahan semen. Pada penelitian ini, bahan semen diganti dengan abu terbang. Beton ini merupakan salah satu produk ramah lingkungan. Dalam beberapa penelitian, nilai kuat lentur beton geopolimer memiliki hasil yang lebih rendah dibandingkan dengan beton semen. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan nilai kuat lentur beton geopolimer sehingga setara dengan beton semen menurut SNI 2847:2013 sebesar  $0,62\sqrt{f'c}$ , dengan penambahan persentase *superplasticizer* 2% agar membuat beton lebih padat. Benda uji balok menggunakan ukuran 15 × 15 × 53 cm sebanyak 32 buah dengan *mix design* beton geopolimer yang dibuat dengan molaritas NaOH yang berbeda-beda. Beton diuji kuat tekan dan kuat lenturnya menurut SNI 1974:2011 dan SNI 4431:2011. Hasil penelitian ini adalah rasio kuat lentur beton geopolimer dengan penambahan *superplasticizer* 2% menghasilkan  $0,62\sqrt{f'c}$ . Nilai rasio kuat lentur beton geopolimer setara dengan nilai rasio kuat lentur beton berbahan dasar semen dalam SNI 2847:2013 sebesar  $0,62\sqrt{f'c}$ .

**Kata kunci:** Beton Geopolimer, Kuat Lentur, Kuat Tekan, *Superplasticizer*.

**ABSTRACT.** *Flexural Strength Ratio of Geopolymer Concrete with Addition of Superplasticizer. Cement concrete is an alternative material in construction because it has high strength. Cement concrete has ingredients such as coarse aggregate, fine aggregate, cement and water. In produce cement have emissions such as dust particles, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, and other pollutants. Emissions can damage the environment so that alternatives are needed to solve them. Geopolymer concrete is concrete without cement. In this research, cement material was replaced by fly ash. This concrete is one of the environmentally friendly products because in its manufacture not using cement. In several research, the flexural strength value of geopolymer concrete has lower results compared to cement concrete. This research aims to increase the flexural strength value of geopolymer concrete so that equivalent cement concrete according to SNI 2847:2013 of  $0,62\sqrt{f'c}$ , with the addition of a 2% superplasticizer to increase the density of concrete. The beam test specimens used a size of 15 × 15 × 53 cm in total of 32 sample with mix design of geopolymer concrete using different molarities NaOH. Compressive testing and flexural testing according to SNI 1974:2011 and SNI 4431:2011. The result of this research is the flexural strength ratio of geopolymer concrete with the addition of 2% superplasticizer is  $0,62\sqrt{f'c}$ . The flexural strength ratio of geopolymer concrete equivalent to the flexural strength ratio of cement concrete in SNI 2847:2013 is  $0,62\sqrt{f'c}$ .*

**Keywords:** *Compressive Strength, Flexural Strength, Geopolymer Concrete, Superplasticizer.*

## 1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material yang sering dipilih dalam pengerjaan konstruksi. Beton semen dipilih karena hasil kekuatannya yang cenderung tinggi pada bangunan konstruksi. Bahan semen dihasilkan melalui pembakaran tanur yang menghasilkan emisi seperti partikel debu, gas SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, maupun polutan lainnya. Produksi semen yang cenderung besar memerlukan adanya upaya untuk beton yang ramah lingkungan. Beton geopolimer adalah salah satu beton ramah lingkungan yang ada di Indonesia. Beton geopolimer dibuat tanpa menggunakan bahan semen. Pada penelitian ini, bahan semen diganti dengan abu terbang (*fly ash*). Material yang digunakan berupa abu terbang, larutan alkali yang terdiri dari sodium silikat (*waterglass*) dan sodium hidroksida (NaOH), agregat kasar, dan agregat halus.

Abu terbang yang digunakan pada beton mempunyai kekuatan tekan yang tinggi dan lemah terhadap tarik/kuat lentur (Eunike et al., 2014). Sifat beton yang kuat terhadap tekan, namun lemah terhadap tarik/lentur menimbulkan masalah seperti terjadi keretakan pada balok. Kuat tekan adalah kemampuan untuk menahan gaya tekan dari beban yang diberikan pada beton tersebut. Kuat lentur adalah gabungan antara penekanan pada bagian atas benda uji dan adanya penarikan atau gaya tarik pada bagian bawah dengan maksud menahan lentur pada balok. Kedua pengujian ini menghasilkan besarnya nilai kekuatan beton tersebut untuk menahan beban (Rumajar et al., 2019). Nilai kuat tekan dan kuat lentur yang ada pada beton geopolimer cenderung lebih kecil dari persyaratan SNI 2847:2013. Konsep *self compacting concrete* digunakan dengan memakai bahan kimia tambahan untuk mencapai tingkat kemudahan kerja yang tinggi. Beton dapat mengalir memenuhi pori/ rongga yang ada.

Salah satu bahan kimia yang dapat digunakan adalah *superplasticizer*. *Superplasticizer* adalah *admixture* atau bahan tambahan yang mampu mengurangi pori yang ada pada mortar (Memon et al., 2012). Kuat tekan pada beton akan semakin tinggi apabila memiliki porositas yang rendah. Porositas pada beton itu sendiri dipengaruhi oleh proses pengerjaannya (Santosa, 2019). Pada beberapa penelitian yang sudah ada, nilai kuat lentur beton tanpa penambahan bahan kimia umumnya berada dibawah nilai SNI 2847:2013 yaitu sebesar  $0,62\sqrt{(f'c)}$  (Badan Standar Nasional Indonesia, 2013). Berdasarkan penelitian yang ada didapatkan korelasi nilai kuat lentur dengan kuat tekan sebesar  $0,25 (f'c)^{2/3}$  (Waqas et al., 2021). Nilai korelasi lainnya sebesar  $0,00026 \rho (f'c)$  0,24 (Hamidi et al., 2020), dan  $0,1098\sqrt{(f'c)}$  (Shehab et al., 2016).

Dari beberapa penelitian yang sudah ada, nilai korelasi kuat lentur beton masih berada jauh dibawah SNI 2847:2013. Beton dengan penambahan *superplasticizer* 2% memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi dari pada beton dengan *superplasticizer* sebesar 0% ataupun 1,5%. Penambahan *superplasticizer* yang tepat menentukan besarnya kekuatan beton, namun belum diketahui besarnya pengaruh terhadap nilai kuat lentur pada beton (Herwani et al., 2019). Pada

pengujian beton semen menggunakan benda uji balok berukuran 150×150×550 mm dengan kadar *superplasticizer* sebesar 0% dihasilkan kuat lentur sebesar 3,778 MPa. Penambahan kadar *superplasticizer* sebesar 1,5% dihasilkan kuat lentur sebesar 5,333 MPa (Yamali, 2003).

Penelitian ini difokuskan pada pembuatan benda uji dengan penambahan *superplasticizer* sebesar 2% dengan molaritas yang berbeda pada setiap *mix design*. Pemilihan *superplasticizer* sebesar 2% dilakukan karena pada penelitian sebelumnya persentase ini menghasilkan nilai kuat lentur paling besar. Setiap pembuatan benda uji menghasilkan 2 balok ukuran 150 × 150 × 530 mm dan 2 silinder ukuran 150 × 300 mm. Benda uji yang sudah dibuat selanjutnya dirawat dengan menggunakan 2 metode yaitu uap dan suhu ruang.

Pengujian benda uji dilakukan saat berumur 28 hari dikarenakan pada umur tersebut benda uji sudah mencapai kekuatan sebenarnya pada beton (Ginting, 2019). Hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur yang didapat dianalisis untuk mendapatkan korelasi dan dibandingkan dengan syarat pada SNI 2847:2013. Hasil analisis juga disajikan dalam bentuk grafik untuk membandingkan data kuat tekan dan kuat lentur. Dengan penambahan *superplasticizer* sebesar 2% pada penelitian ini diharapkan meningkatkan nilai kuat lentur beton geopolimer sehingga setara dengan beton semen menurut SNI 2847:2013 sebesar  $0,62\sqrt{(f'c)}$ .

## **2. METODE PENELITIAN**

Metode penelitian berfungsi sebagai alur dari kegiatan penelitian. Alur penelitian dimulai dengan dilakukannya pengujian material, dilanjutkan dengan persiapan material untuk keperluan *mix design*. Hasil *mix design* digunakan dalam pembuatan benda uji, selanjutnya dilakukan perawatan benda uji. Tahap akhir berupa pengujian benda uji dan analisis data.

### **2.1 Pengujian Material**

Untuk persiapan *mix design* diperlukan pengujian dari material yang akan digunakan terlebih dahulu.

#### **2.1.1. Analisa Saringan**

Pengujian analisa saringan dilakukan untuk menentukan persentase dari butiran pada agregat. Persentase butiran dihitung dari setiap saringan yang digunakan. Pengujian analisa saringan dilakukan pada agregat kasar dan agregat halus. Agregat yang tertahan saringan no.4 (4,75 mm) merupakan agregat kasar, sementara itu agregat yang lolos pada saringan no.4 (4,75 mm) merupakan agregat halus.

#### **2.1.2. Kadar Air**

Kadar air dilakukan untuk pengujian agregat kasar dan agregat halus. Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui besarnya kandungan air yang terkandung di dalam agregat.

Pengujian dilakukan dengan dua kondisi agregat, yaitu basah dan kering oven dengan hasil disajikan dalam bentuk persentase.

### **2.1.3. Berat Jenis dan Penyerapan**

Pengujian berat jenis dilakukan pada agregat kasar dan halus. Umumnya berat jenis terbagi menjadi 3 kondisi yaitu semu, kering, dan jenuh kering permukaan. Kondisi jenuh kering permukaan adalah kondisi di mana penyerapan air pada agregat sudah terpenuhi dan tidak mampu untuk menampung/menyerap air kembali. Persiapan yang dilakukan adalah mencuci terlebih dahulu agregat agar tidak ada debu yang menempel, selanjutnya agregat dikeringkan sampai kondisi jenuh kering permukaan.

### **2.1.4. Berat Isi**

Berat isi merupakan pengujian yang dilakukan pada agregat kasar dan agregat halus. Pengujian berat isi terbagi menjadi lepas dan padat. Perbedaan dari kedua pengujian terletak pada proses pengujian yang dilakukan. Pada pengujian berat isi padat, agregat yang digunakan dipadatkan dengan cara ditusuk sebanyak 25 kali dengan 3 lapisan. Pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan berat isi padat.

### **2.1.5. Keausan Agregat**

Pengujian keausan dilakukan pada agregat kasar menggunakan mesin abrasi Los Angeles. Pengujian dilakukan untuk gradasi B dengan 11 bola baja. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap keausan.

### **2.1.6. Kadar Lumpur**

Kadar lumpur merupakan pengujian yang dilakukan pada agregat kasar. Pengujian ini dilakukan terhadap material lolos saringan no. 200 mm. Pada pengujian ini akan diketahui seberapa besarnya bahan/debu yang menempel pada agregat.

### **2.1.7. Kadar Organik**

Pengujian kadar organik dilakukan pada agregat halus. Fungsi pengujian ini sama dengan pengujian kadar lumpur, di mana akan diketahui besarnya kotoran organik yang menempel. Pengujian dilakukan dengan pencucian agregat terlebih dahulu.

### **2.1.8. Berat Jenis Abu Terbang**

Pengujian berat jenis abu terbang dilakukan dengan botol *Le Chatelier* menggunakan kerosin. Pengujian berat jenis ini untuk menghitung besar kuantitas abu terbang.

### **2.1.9. SEM dan XRF**

Pada abu terbang dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mendapatkan ukuran butiran dan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi kimia abu terbang.

## 2.2. Persiapan Material

Setelah pengujian parameter dari masing-masing material, dilakukan persiapan untuk pembuatan benda uji beton.

### 2.2.1. Agregat Kasar dan Agregat Halus

- Agregat kasar yang digunakan ukuran lolos saringan 1,5” dan tertahan saringan No. 4.
- Agregat halus digunakan ukuran lolos saringan No. 4.
- Agregat yang digunakan dalam kondisi jenuh kering permukaan.

### 2.2.2. Material Abu Terbang

Abu terbang yang akan digunakan disaring dengan saringan No. 30 agar tidak ada material yang menggumpal. Abu terbang akan bereaksi dengan larutan alkali menghasilkan pasta.

### 2.2.3. Sodium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan Natrium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ )

- $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  merupakan larutan alkali yang digunakan untuk bahan reaksi.
- Molaritas  $\text{NaOH}$  yang digunakan adalah 8M, 10 M, 12M, 14M dan 16M.
- $\text{NaOH}$  yang digunakan pada penelitian bersifat  $\text{NaOH}$  kadar 99% sehingga akan larutkan terlebih dahulu dengan air. Jumlah persentase antara  $\text{NaOH}$  99% dan air bergantung kepada jumlah molaritas yang akan dibuat (Rajamane et al., 2014).
- $\text{NaOH}$  akan dibuat 1 hari sebelum pengecoran agar hasil yang didapatkan optimal.

## 2.3. Mix Design

Perancangan *mix design* dalam 1 kali pengecoran untuk 2 balok ukuran 150×150×530 mm dan 2 silinder ukuran 150×300 mm. Pengecoran dilakukan sebanyak 16 kali dengan variasi molaritas dan suhu *curing* serta durasi yang berbeda-beda seperti pada Tabel 1, sehingga total benda uji yang akan dibuat adalah sebanyak 32 balok dan 32 silinder. Jumlah abu terbang yang digunakan pada pembuatan benda uji mempengaruhi hasil pengujian, sehingga diperlukannya persentase yang tepat, Jumlah abu terbang yang melebihi batas akan menimbulkan penurunan mutu beton meskipun masih berada diatas beton normal (Sunarsih, 2017).

$\text{NaOH}$  yang digunakan memiliki nilai kuantitas yang sama, yang membedakan berupa molaritas yaitu perbandingan dari  $\text{NaOH}$  99% dan air. Molaritas yang digunakan terdiri dari 8M, 10 M, 12M, 14M dan 16M dengan perbedaan dari setiap molaritas terhadap perbandingan  $\text{NaOH}$  99% dan air seperti pada Tabel 2. *Mix design* yang digunakan pada masing-masing material didapatkan dengan menggunakan pengujian material atau perbandingan.

Perhitungan kuantitas *mix design* didapatkan dengan pasta (abu terbang dan larutan alkali) yang digunakan pada pembuatan benda uji sebesar 600 kg/m<sup>3</sup>. Larutan alkali memiliki rasio 0,3 dari pasta yaitu sebesar 180 kg/m<sup>3</sup> dengan  $\text{NaOH}$  sebesar 51,43 kg/m<sup>3</sup> dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  sebesar 128,57 kg/m<sup>3</sup>. Sementara itu, pada abu terbang yang menggunakan rasio 0,7 dari pasta yaitu sebesar 420 kg/m<sup>3</sup>. Kuantitas agregat kasar didapatkan dari hasil pengujian berat isi dan

berat jenis. Selanjutnya agregat halus merupakan hasil perhitungan menggunakan metode volume dan berat jenis. Kuantitas *superplasticizer* yang digunakan merupakan hasil dari 2% abu terbang.

**Tabel 1.** Variasi Pengecoran

Pengecoran	Molaritas (M)	Suhu (°C)	Durasi (Jam)
1	8	70	4
2	8	75	4
3	8	80	4
4	10	80	4
5	10	90	4
6	12	70	4
7	12	75	4
8	12	80	4
9	14	80	4
10	14	90	4
11	16	70	4
12	16	80	4
13	8	70	3
14	8	70	2
15	16	90	1
16	8	Ruangan	-

**Tabel 2.** Variasi Molaritas

Molaritas (Mol/l)	Persiapan 1 kg larutan NaOH		
	NaOH Padat	Air (Gram)	
8	255	745	1000
10	306	694	1000
12	354	646	1000
14	400	600	1000
16	433	567	1000

Sumber: (Rajamane et al., 2014)

Pada pembuatan benda uji, mutu atau kuat tekan rencana beton berkisar 25-55 MPa dengan *mix design* seperti pada Tabel 3. Untuk mendapatkan mutu sesuai rencana, NaOH tiap pengecoran digunakan molaritas yang berbeda-beda dari 8M sampai 16M. Pengecoran dilakukan secara bertahap sehingga ketika mutu yang didapatkan sesuai dengan mutu rencana, dilakukan pengaturan untuk menentukan suhu *curing*, durasi serta molaritas beton berikutnya untuk mendapatkan mutu yang direncanakan.

**Tabel 3.** *Mix Design*

Material	kg/m <sup>3</sup>
Abu terbang	420,00
Agregat Kasar	1123,54
Agregat Halus	705,03
NaOH	51,43
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	128,57
<i>Superplasticizer</i>	8,40

#### 2.4. Pembuatan Benda Uji

Setelah proses *mix design*, dilakukan pembuatan benda uji yang dimulai dengan material agregat halus dan abu terbang dimasukkan ke dalam molen, diaduk selama 2 menit. Selanjutnya agregat kasar dimasukkan ke dalam molen dan diaduk selama 2 menit.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  dimasukkan ke dalam molen secara berurutan dan diaduk masing-masing selama 2 menit. Terakhir *superplasticizer* dimasukkan ke dalam molen dan diaduk selama 3 menit. Sebelum dilakukannya pembuatan benda uji, disiapkan material yang kuantitasnya sudah dihitung pada *mix design* serta alat-alat yang dibutuhkan seperti cetakan untuk benda uji.

#### 2.5. Perawatan Benda Uji

Benda uji yang sudah dibuat selanjutnya akan dilakukan perawatan. Perawatan beton geopolimer terdapat beberapa jenis seperti perawatan suhu ruang, perawatan dengan air, perawatan dengan oven, dan perawatan dengan uap. Perawatan dengan suhu ruang dan uap menghasilkan nilai kuat tekan paling tinggi (Achmad & Hidjan, 2012).

Pada penelitian ini perawatan benda uji menggunakan uap dan suhu ruang. Uap yang digunakan dengan suhu  $70^\circ\text{C}$  sampai  $90^\circ\text{C}$ . Pada suhu ruang, benda uji ditaruh pada tempat yang terhindar dari guncangan. Proses perawatan benda uji terbagi 2:

- (1) Untuk perawatan suhu ruang, beton geopolimer yang sudah dicetak dan berumur 1 hari dibuka cetaknya. Beton diletakan pada ruangan yang terbebas dari guncangan sampai dilakukannya pengujian.
- (2) Untuk perawatan metode uap seperti pada Gambar 1, beton geopolimer yang sudah dicetak dan berumur 1 hari dibuka cetaknya dan diletakan pada alat/kotak uap.



**Gambar 1.** Penguapan Benda Uji

Perawatan dengan metode uap dilakukan dengan 3 tahapan:

- a. *Pre-heat*, dimulai dengan suhu awal yaitu suhu ruang, selanjutnya suhu uap dinaikan sampai dengan batas yang direncanakan. Suhu uap dinaikkan ke suhu  $70^\circ\text{C}$ ,  $80^\circ\text{C}$ , atau  $90^\circ\text{C}$  sesuai dengan rencana penelitian.

- b. *Heat*, ketika suhu sudah mencapai rentang antara 70°C sampai 90°C. Suhu dipertahankan dengan durasi 1 jam, 2 jam atau 4 jam.
- c. *Cooling down*, selanjutnya beton didiamkan agar suhu mengalami penurunan. Beton kemudian dikeluarkan ketika sudah mencapai suhu ruang kembali.

## 2.6. Pengujian Benda Uji

Benda uji yang sudah dilakukan perawatan dan sudah mencapai umur 28 hari, selanjutnya diuji kuat tekan untuk benda uji silinder dan kuat lentur untuk benda uji balok. Benda uji silinder *dicapping* terlebih dahulu sebelum diuji, *capping* berfungsi agar membuat permukaan pada benda uji menjadi rata. Pengujian silinder seperti pada Gambar 2. Pengujian dilakukan dengan kecepatan pembebanan berkisar 0,2 – 0,4 MPa/detik (Badan Standardisasi Nasional, 2011).

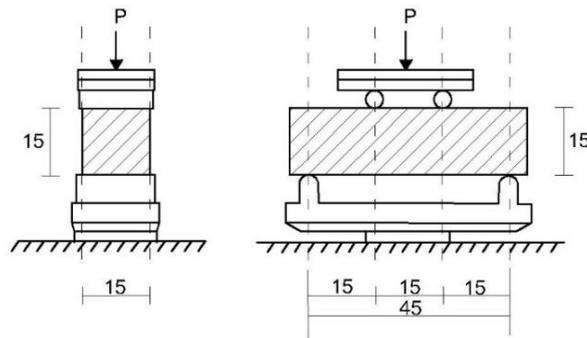


**Gambar 2.** Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat lentur dilakukan dengan benda uji balok menggunakan standar pengujian SNI 4431:2011 seperti pada Gambar 3. Pengujian dilakukan dengan 2 titik pembebanan pada benda uji balok. Jarak antara 2 titik pembebanan sebesar 15 cm dengan skema Gambar 4. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari, dimana beton sudah mencapai nilai kuat lentur yang maksimum (Badan Standar Nasional Indonesia, 2011).



**Gambar 3.** Pengujian Kuat Lentur



Gambar 4. Skema Pengujian Kuat Lentur

### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1. Hasil Pengujian Material

Setiap material yang telah disiapkan, dilanjutkan dengan pengujian untuk memastikan pemenuhan persyaratan. Hasil pengujian material terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Material

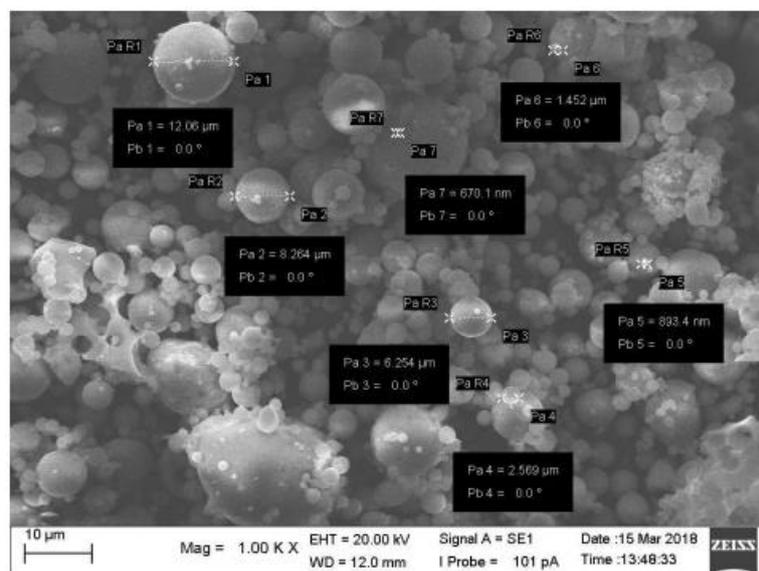
Parameter Pengujian		Hasil
Kadar Air	Agregat Kasar	2,42%
	Agregat Halus	2,25%
Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	Agregat Kasar	2,56
	Agregat Halus	2,29
Penyerapan	Agregat Kasar	2,34%
	Agregat Halus	2,15%
Berat Isi Padat	Agregat Kasar	1497,08 kg/m <sup>3</sup>
	Agregat Halus	1500,30 kg/m <sup>3</sup>
Keausan Agregat Kasar		19,36%
Kadar Lumpur		0,92%
Kadar Organik Agregat Halus		11
Berat Jenis Abu terbang		2,41

Pada pengujian material yang dilakukan terdapat hasil persentase dan kuantitas dari masing-masing parameter. Hasil pengujian yang ada menunjukkan pengujian sudah memenuhi syarat, sehingga dapat dilanjutkan dengan pembuatan benda uji. Hasil penyerapan yang mendekati kadar air menandakan bahwa agregat sudah dalam kondisi jenuh. Nilai berat isi dan berat jenis digunakan untuk menghitung kuantitas agregat. Keausan agregat, kadar lumpur serta kadar organik menunjukkan kelayakan pakai material.

Pada pengujian XRF diketahui komposisi kimia abu terbang seperti pada Tabel 5. Persentase senyawa  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  menunjukkan hasil persentase lebih dari 70%, sehingga abu terbang tergolong dalam kelas F. Hasil pengujian SEM pada Gambar 5 menunjukkan ukuran butiran serta bentuk dari abu terbang yang bulat namun tidak beraturan. Pada hasil pengujian dapat terlihat ukuran butiran terkecil adalah 670,1 nanomikron dan terbesar yaitu 12,06 mikron.

**Tabel 5.** Komposisi Kimia Abu Terbang

Nama Senyawa	%	Nama Senyawa	%
SiO <sub>2</sub>	37,385	BaO	0,349
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,223	SrO	0,275
CaO	14,084	Na <sub>2</sub> O	0,173
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,543	ZrO <sub>2</sub>	0,144
K <sub>2</sub> O	3,474	ZnO	0,121
TiO <sub>2</sub>	2,757	Cl	0,048
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,638	Rb <sub>2</sub> O	0,045
MgO	0,855	Br	0,016
SO <sub>3</sub>	0,853	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,015



**Gambar 5.** Hasil Pengujian SEM

### 3.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Benda uji selanjutnya diuji untuk memperoleh nilai kuat tekan pada benda uji silinder dan nilai kuat lentur pada benda uji balok. Tabel 6 adalah hasil pengujian kuat lentur yang didapatkan dengan kuat tekan yang berbeda-beda. Hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur dengan grafik SNI 2847:2013 terdapat pada Gambar 6.

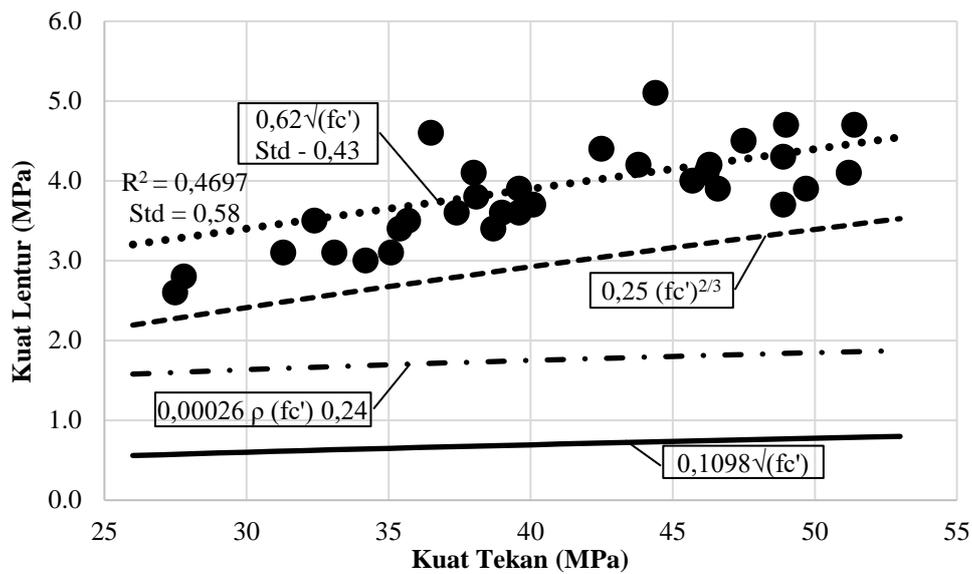
Pada pengujian kuat tekan 25-55 MPa didapatkan nilai kuat lentur berkisar 2,5-5,0 Mpa. Pada Gambar 6 titik-titik hasil pengujian berada di sekitar grafik  $0,62\sqrt{(f_c')}$  dengan nilai  $R^2 = 0,4697$  yang berarti sekitar 46,97% dari 32 data atau setara dengan 16 benda uji sudah sangat mendekati hasil sebenarnya dari  $0,62\sqrt{(f_c')}$ . Pada grafik  $0,62\sqrt{(f_c')}$  memiliki standar deviasi sebesar 0,43, sementara pada pengujian didapatkan standar deviasi sebesar 0,58. Dengan membandingkan hasil standar deviasi yang ada, dapat diketahui bahwa penyebaran data yang didapatkan pada pengujian mendekati hasil penyebaran data  $0,62\sqrt{(f_c')}$ . Dapat disimpulkan hasil

pengujian kuat lentur beton geopolimer yang didapatkan setara dengan rasio kuat lentur beton berbasis semen yaitu  $0,62\sqrt{f'c}$ .

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Molaritas	Suhu (°C)	Durasi (Jam)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Lentur (MPa)
8	70	4	31,3	3,1
8	70	4	32,4	3,5
8	75	4	35,7	3,5
8	75	4	39,6	3,6
8	80	4	34,2	3,0
8	80	4	35,1	3,1
10	80	4	39,6	3,9
10	80	4	43,8	4,2
10	90	4	38,7	3,4
10	90	4	39,0	3,6
12	70	4	38,1	3,8
12	70	4	46,3	4,2
12	75	4	40,1	3,7
12	75	4	49,0	4,7
12	80	4	46,6	3,9
12	80	4	48,9	4,3
14	80	4	45,7	4,0
14	80	4	47,5	4,5
14	90	4	36,5	4,6
14	90	4	44,4	5,1
16	70	4	48,9	3,7
16	70	4	49,7	3,9
16	80	4	46,2	4,1
16	80	4	51,2	4,1
8	70	3	37,4	3,6
8	70	3	38,0	4,1
8	70	2	33,1	3,1
8	70	2	35,4	3,4
16	90	1	42,5	4,4
16	90	1	51,4	4,7
8	Ruangan	-	27,5	2,6
8	Ruangan	-	27,8	2,8

Dari penelitian ini, nilai kuat lentur beton geopolimer dengan penambahan *superplasticizer* yang didapatkan lebih baik atau lebih tinggi dibandingkan hasil beberapa penelitian yang tanpa menggunakan *superplasticizer*. Penggunaan *superplasticizer* yang terdapat pada beton geopolimer memiliki pengaruh besar dalam penambahan nilai kuat lentur. *Superplasticizer* yang digunakan bersifat memperlambat pengerasan pada beton. Jika dibandingkan dengan beton tanpa tambahan bahan kimia, maka beton dengan campuran *superplasticizer* memiliki pori yang lebih sedikit. Pori yang lebih sedikit membuat kepadatan pada beton mengalami peningkatan, sehingga nilai kuat lentur pada beton semakin meningkat.



Gambar 6. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur

#### 4. SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan penggunaan *superplasticizer* sebesar 2% pada beton geopolimer menghasilkan kuat tekan dan kuat lentur yang setara dengan rasio  $0,62\sqrt{(fc')}$  dengan Nilai  $R = 0,4697$  dan standar deviasi 0,58. *Superplasticizer* yang sifatnya memperlambat pengerasan pada beton membuat pori berkurang, sehingga dapat meningkatkan kuat lentur beton. Hasil pengujian menunjukkan nilai kuat lentur beton dengan tambahan *superplaticizer* lebih tinggi dari pada beton geopolimer tanpa tambahan kimia. Nilai rasio kuat lentur beton geopolimer yang dihasilkan setara dengan rasio kuat lentur beton berbasis semen pada SNI 2847:2013.

Selanjutnya dapat dilakukan pengembangan penelitian dengan menggunakan kadar *superplasticizer* yang berbeda atau dengan menambahkan bahan kimia yang lain dengan tujuan untuk meningkatkan kuat lentur pada beton geopolimer sehingga bisa berada diatas rasio  $0,62\sqrt{(fc')}$ .

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih pada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat - LPPM Universitas Kristen Krida Wacana yang turut berpartisipasi dalam segi dukungan maupun pendanaan pada penelitian ini sehingga dapat terselesaikan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, D., & Hidjan. (2012). Efek Perawatan Terhadap Karakteristik Beton Geopolymer. *Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta*, 11(1), 79–86.
- Badan Standar Nasional Indonesia, 2011. (2011). *SNI 4431-2011 Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan*. 1–16.
- Badan Standar Nasional Indonesia, 2013. (2013). *SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. 1–265.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011. (2011). *SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. 1–20.
- Eunike, F., Paat, S., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2014). Kuat Tarik Lentur Beton Geopolymer Berbasis Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*, 2(7), 337–343.
- Ginting, A. (2019). Perbandingan Peningkatan Kuat Tekan dengan Kuat Lentur pada Berbagai Umur Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 110–125. <https://doi.org/10.28932/jts.v7i2.1345>
- Hamidi, F., Aslani, F., & Valizadeh, A. (2020). Compressive and tensile strength fracture models for heavyweight geopolymer concrete. *Engineering Fracture Mechanics*, 231(January), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2020.107023>
- Herwani, H., Imran, I., Pane, I., Zulkifli, E., & Elvira, E. (2019). Efektivitas Superplasticizer Terhadap Workabilitas Dan Kuat Tekan Beton Geopolimer. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 12–18. <https://doi.org/10.30811/portal.v10i2.975>
- Memon, F. A., Nuruddin, M. F., Demie, S., & Shafiq, N. (2012). Effect of superplasticizer and extra water on workability and compressive strength of self-compacting geopolymer concrete. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4(5), 407–414.
- Rajamane, N. P., Jeyalaskhmi, N., & Nataraja, M. C. (2014). Quantities of Sodium Hydroxide Solids and Water to Prepare Sodium Hydroxide Solution of Given Molarity for Geopolymer Concrete Mixes. *ICI Technical Paper*, 1–6.
- Rumajar, R. J., Sumajouw, M. D. J., & Pandaleke, R. (2019). Kuat Tarik Lentur Beton Geopolymer Dengan Temperatur Ruang. *Jurnal Sipil Statik*, 7(1), 67–72.
- Santosa, B. (2019). Pemanfaatan Abu Serabut Kelapa (ASK) Sebagai Pengganti Sebagian Semen dengan Bahan Tambah Sikament-LN untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), 22–39. <https://doi.org/10.28932/jts.v5i1.1310>
- Shehab, H. K., Eisa, A. S., & Wahba, A. M. (2016). Mechanical properties of fly ash based geopolymer concrete with full and partial cement replacement. *Construction and Building Materials*, 126, 560–565. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.09.059>
- Sunarsih, E. S. (2017). Tinjauan Penambahan Aditif Mineral Abu Terbang Terhadap Ketahanan Beton Pada Lingkungan Agresi Sulfat. *Indonesian Journal Of Civil Engineering Education*, 1(2), 1–12. <https://doi.org/10.20961/ijcee.v1i2.19986>
- Yamali, F. R. (2003). Pengaruh Bahan Tambah Kimia Terhadap Mutu Kuat Lentur Beton. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 11(3), 1–10.