



## Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Berbasis *Fly ash* PLTU Tanjungjati B Jepara

Anik Kustirini<sup>1</sup>, Edy Susilo<sup>2</sup>, Trias Widorini<sup>3</sup>, Bambang Purnijanto<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Universitas Semarang, Indonesia

DOI: 10.26623/teknika.v19i1.8748

### Info Artikel

*Sejarah Artikel:*

Disubmit 2024-01-31

Direvisi 2024-03-04

Disetujui 2024-03-28

*Keywords:*

*Geopolymer concrete; elasticity modulus; compressive strength*

### Abstrak

Beton geopolimer adalah beton yang dibuat tanpa menggunakan semen. Sebaliknya, fly ash—bahan sisa pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga uap—dimanfaatkan (PLTU). Pada penelitian ini fly ash dari PLTU Tanjungjati B Jepara digunakan untuk menguji modulus elastisitas beton geopolimer sehingga diperoleh pemahaman yang jelas mengenai sifat-sifatnya. Tiga benda uji silinder 15/30 digunakan untuk menguji modulus elastisitas beton. Rata-rata modulus elastisitas beton geopolimer umur 28 hari sebesar 20.560,797 MPa. Model modulus elastisitas dan kuat tekan beton geopolimer dengan persamaan  $E_c = 12761 (f_c)^{0,4657}$  diperoleh dari hasil regresi daya. Validasi dilakukan dengan korelasi, angka  $R^2 = 0,9944$  mendekati satu, artinya hubungan kuat tekan dengan modulus elastisitas sangat kuat atau valid. Nilai modulus elastisitas hasil laboratorium berbeda 0,338% dengan nilai modulus elastisitas SNI dan selisih nilai modulus elastisitas Hukum Hooke sebesar 0,018%. Grafik hasil laboratorium dan Hooke berimpit.

### Abstract

*Concrete without using cement is known as geopolymer concrete. Instead, fly ash is used, which is the residue from burning coal in steam power plants (PLTU). In this research, the elastic modulus of geopolymer concrete with fly ash was tested originating from PLTU Tanjungjati B Jepara to get a good picture of the characteristics. Three specimen 15/30 cylinders are used to test concrete's modulus of elasticity. The average modulus of elasticity of geopolymer concrete at 28 days was 20,560.797 MPa. The model for modulus of elasticity and compressive strength of geopolymer concrete with the equation  $E_c = 12761 (f_c)^{0,4657}$  obtained from the results of power regression. Validation was carried out using correlation, the figure  $R^2 = 0.9944$  was close to one, meaning the relationship between compressive strength and elastic modulus was very strong or valid. The value of the elastic modulus from the laboratory results is 0.338% different from the SNI elastic modulus value, and the difference between the Hooke's Law modulus elasticity value is 0.018%. Image the laboratory and Hooke's coincide*

✉ Alamat Korespondensi:

E-mail: [anikkustirini@usm.ac.id](mailto:anikkustirini@usm.ac.id)

p-ISSN 1410-4202

e-ISSN 2580-8478

## PENDAHULUAN

Kekhawatiran mengenai dampak lingkungan dari pembuatan semen merupakan hal yang lazim saat ini. [1], Produksi semen global menyumbang 7% emisi gas rumah kaca ke lingkungan, dengan masing-masing produksi sebesar 1,6 juta ton. Sekitar satu ton karbon dioksida dilepaskan ke atmosfer selama produksi satu ton semen portland[2]. Tentu saja hal ini berdampak buruk terhadap lingkungan karena berkontribusi terhadap pemanasan global. Oleh karena itu, saat ini banyak penelitian yang dilakukan untuk mengurangi jumlah semen yang digunakan dalam beton [3]. Salah satu penelitian terbaru berfokus pada beton geopolimer. Alih-alih menggunakan pasta semen sebagai bahan pengikat, beton ini menggunakan geopolimer. Bahan dengan kandungan silikon dan aluminium yang tinggi merupakan komponen utama bahan geopolimer. Senyawa ini banyak ditemukan pada produk limbah industri berbahan dasar fly ash. Tentu saja hal ini lebih menguntungkan mengingat kini terdapat banyak pembangkit listrik tenaga uap di Indonesia. Fly ash merupakan bahan limbah yang jika tidak dimanfaatkan akan mencemari udara [4][5]. PLTU Tanjungjati B Jepara, merupakan PLTU yang limbahnya berupa *fly ash*[6]. Karena modulus elastisitas merupakan properti yang penting untuk persyaratan desain, maka modulus elastisitas beton akan diselidiki menggunakan abu terbang geopolimer dari PLTU. Melihat konteks di atas, para ilmuwan penasaran dengan nilai modulus elastisitas beton geopolimer berumur 28 hari yang terbuat dari abu terbang PLTU Tanjungjati B Jepara. Penelitian tentang modulus elastisitas sangat penting untuk tujuan desain karena ini mewakili hubungan antara tegangan dan regangan suatu material.

Beberapa penelitian Modulus Elastisitas Beton Geopolimer Berbasis *Fly ash* PLTU Tanjungjati B Jepara yang telah dilakukan antara lain: Hardjito, D.[5], melakukan penelitian terhadap beton geopolimer meliputi bahan dan proporsi campuran, proses pembuatan, dan pengaruhnya. berbagai parameter sifat beton segar dan beton keras. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa beton geopolimer mempunyai kuat tekan yang sangat baik dan cocok untuk aplikasi struktur. Beton geopolimer menunjukkan ketahanan yang sangat baik terhadap serangan sulfat, mulur yang rendah, dan penyusutan pengeringan yang sangat kecil. Kustirini et.al., mortar beton geopolimer dengan molaritas NaOH 8M mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 33,9% dari umur 7 hari ke 28 hari, dari 24,18 MPa menjadi 32,38 MPa [6].

Kontribusi penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Mendapatkan gambaran modulus elastisitas pada beton geopolimer dengan *fly ash* yang berasal dari PLTU Tanjungjati B Jepara, dimana modulus elastisitas beton merupakan sifat beton perlu diketahui persyaratan desain sehingga dapat dilihat kesesuaian beton yang diuji. sebuah konstruksi material.
2. Meningkatkan pengetahuan tentang ciri-ciri mekanika beton geopolimer, khususnya mengenai modulus elastisitas beton.
3. Sebagai bekal penelitian selanjutnya mengenai beton geopolimer.

## METODE

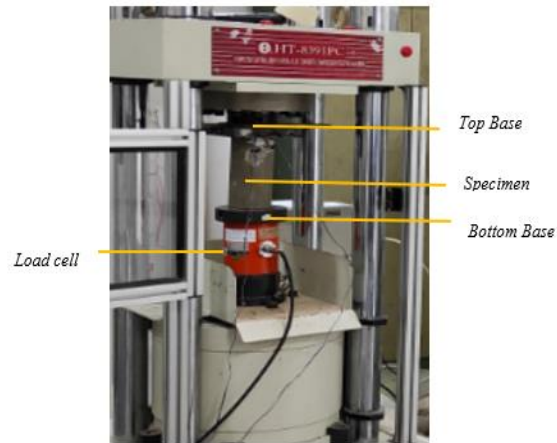
Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di Universitas Diponegoro dan diujikan di Laboratorium Material dan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Semarang. Penelitian meliputi langkah-langkah sebagai berikut: membaca literatur, menyiapkan alat dan bahan, menganalisis sifat-sifat bahan, melakukan percobaan pencampuran, membuat rencana proporsi campuran, membuat benda uji, merawat benda uji, mengukur kuat tekan dan modulus elastisitas, menganalisis data, menarik kesimpulan. , dan menawarkan rekomendasi. Tabel 1 menampilkan komposisi campuran.

**Tabel 1.** Desain Campuran Beton Geopolimer 1 m<sup>3</sup>

Material	Berat (kg)
Coarse aggregate	832.9
Fine aggregate	817
Fly ash	507
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	184
NaOH Activator 8M	92
Superplasticizer	2% dari FA

Sumber : Data Penelitian 2023

Uji Modulus Elastisitas beton dilakukan dengan menggunakan Mesin Uji Tekan Beton Hidraulik Servo Komputer seperti pada Gambar 1. Prosedur dan mekanisme pengujian mengacu pada ASTM C469 / C469M-14 (Metode Uji Standar Modulus Elastisitas Statis dan *Rasio Poisson* dari Kuat Tekan Beton). Pengujian ini menggunakan alat *LVDT* dan data dicatat melalui Data Logger.

**Gambar 1.** Mesin Uji Kuat Tekan Beton

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Rasio tekanan yang diterapkan terhadap perubahan bentuk per satuan panjang adalah modulus elastisitas beton [7]. Tidak ada modulus elastisitas yang ditetapkan untuk beton. Kekuatan beton, umurnya, jenis pembebanan, dan sifat serta perbandingan semen terhadap agregat semuanya mempengaruhi nilai. [8]

Hasil uji modulus elastisitas beton laboratorium dengan benda uji berbentuk silinder dapat dihitung menggunakan rumus sesuai ASTM C 469 - 02:[9]

$$E = \frac{(s_2 - s_1)}{(\epsilon_2 - 0,000050)} \quad (1)$$

Di mana :

$E_c$  = Modulus elastisitas beton ((kg/cm<sup>2</sup>)

$S_2$  = tegangan pada 40% tegangan runtuh (kg/cm<sup>2</sup>)

$S_1$  = tegangan pada saat nilai kurva regangan  $\epsilon_1 = 0,000050$  (kg/cm<sup>2</sup>)

$\epsilon_2$  = nilai kurva regangan yang terjadi pada saat  $S_2$

Sesuai SNI 2847-2019, rumus empiris juga dapat digunakan untuk menentukan modulus elastisitas beton [10] yaitu

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (2)$$

Di mana :

$E_c$  = Modulus elastisitas beton (MPa)  
 $f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

Perhitungan modulus elastisitas beton secara umum ditulis sebagai berikut [11] :

$$E = \frac{f}{\varepsilon} \quad (3)$$

$$f = \frac{P}{A_0} \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (5)$$

Di mana :

$E$  = Modulus elastisitas beton (MPa)  
 $f$  = Kuat Tekan (MPa)  
 $\varepsilon$  = Regangan  
 $P$  = Beban tekanan (N)  
 $A_0$  = Luas penampang beton (mm<sup>2</sup>)  
 $L$  = Panjang benda uji ketika *stress* (mm)  
 $l_0$  = Panjang awal benda uji (mm)  
 $\Delta l$  = Perubahan panjang benda uji (mm)

Selanjutnya modulus elastisitas (E) dapat dihitung dengan membuat grafik hubungan antara  $f$  dan  $\varepsilon$ . Rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan nilai modulus elastisitas beton berdasarkan hukum Hooke:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (6)$$

Di mana :

$\sigma$  = Tegangan (MPa)  
 $E$  = Modulus elastisitas (MPa)  
 $\varepsilon$  = Regangan

Salah satu sifat utama beton adalah kuat tekannya. Kemampuan beton dalam menahan gaya tekan per satuan luas disebut kuat tekan. Dipercayai bahwa beton mampu menahan semua gaya tekan meskipun beton tersebut mengandung tegangan tarik yang sangat kecil .[12]

Ukuran, bentuk, dan mekanisme pembebanan elemen uji mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap nilai kuat tekan beton yang ditentukan oleh hasil pengujian [8]. Persamaan ini dapat digunakan untuk menentukan kekuatan beton dengan contoh silinder [13]

$$f = \frac{P}{A} \quad (7)$$

Di mana :

$f_c$  = Kuat Tekan Beton (MPa)  
 $P$  = Gaya tekan aksial (N)  
 $A$  = luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

Berdasarkan data yang tercatat diperoleh hasil sebagai berikut :

**Tabel 2.** Modulus Elastisitas Beton Geopolimer

Benda Uji	Tegangan (MPa) $f_c$	Regangan $\epsilon$	Modulus Elastisitas $E_c$ (MPa)
ME1	32.169	0.0019	21,183.798
ME2	29.111	0.0015	15,127.792
ME3	33.958	0.0013	25,370.800

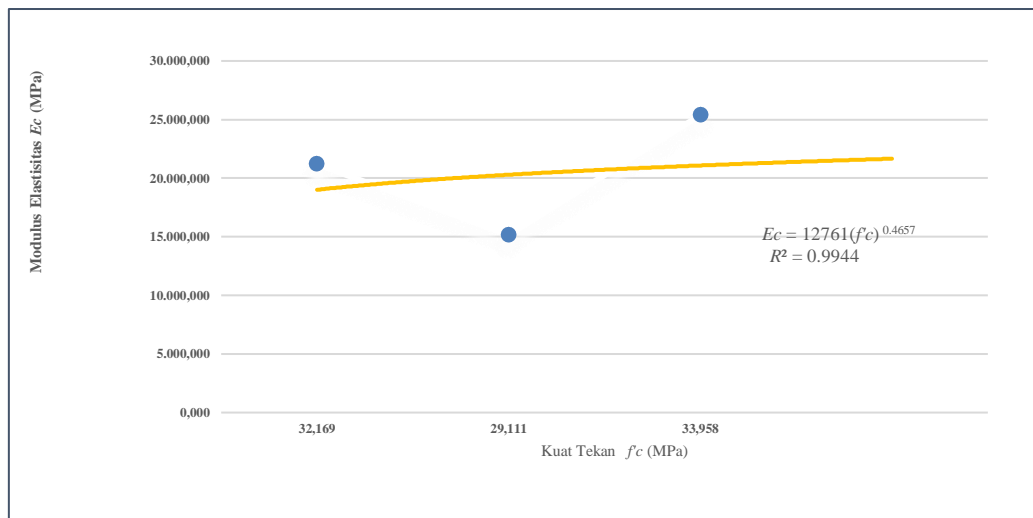
Sumber : Data Penelitian 2023

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan hasil modulus elastisitas beton geopolimer pada umur 28 hari. Modulus elastisitas beton geopolimer tertinggi diperoleh pada sampel beton ketiga sebesar 25.370,800 MPa. Rata-rata modulus elastisitas beton geopolimer umur 28 hari sebesar 20.560,797 MPa.

Model hubungan modulus elastisitas dan kuat tekan beton geopolimer disajikan pada tabel 2 dan gambar 2 dengan persamaan.

$$E_c = 12761 (f_c)^{0,4657} \quad (8)$$

Diperoleh dari hasil regresi daya. Validasi dilakukan dengan korelasi, angka  $R^2 = 0,9944$  mendekati satu, artinya hubungan kuat tekan dengan modulus elastisitas sangat kuat atau valid. Model hubungan kuat tekan beton geopolimer dan modulus elastisitas, seperti beton geopolimer pada umumnya, merupakan model hubungan eksponensial non linier dengan pangkat positif yang artinya semakin besar kuat tekan maka modulus elastisitasnya pun semakin besar. .



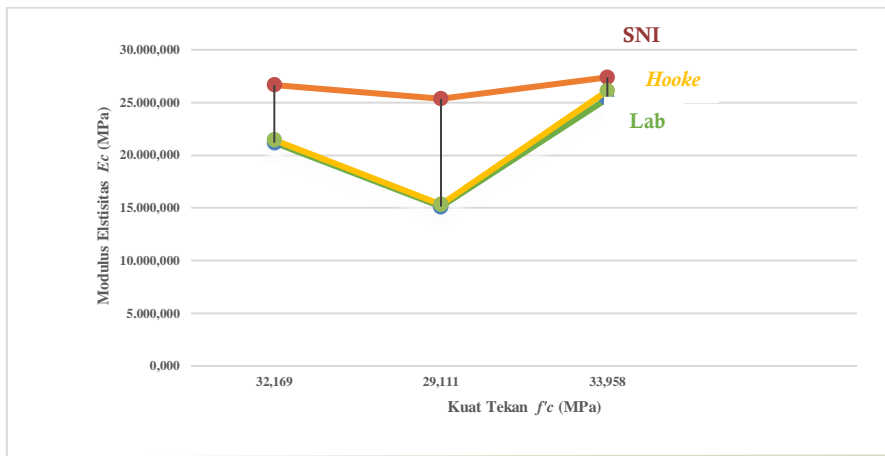
**Gambar 2.** Model hubungan antar Modulus Elastisitas dan Kekuatan Tekan

Nilai modulus elastisitas hasil laboratorium, SNI dan hukum Hooke disajikan pada tabel 3 dan gambar 3 berikut ini :

**Tabel 3.** Nilai Modulus Elastisitas Laboratorium Hasil, SNI dan Hukum Hooke

Benda Uji	Kuat Tekan $f_c$ (MPa)	$E_c$ Lab (MPa)	$E_c$ SNI (MPa)	$E_c$ Hooke's Law (MPa)
ME1	32.169	21,183.798	26,657.33	21,446.00
ME2	29.111	15,127.792	25,358.67	15,321.58
ME3	33.958	25,370.800	27,388.54	26,121.54

Sumber : Data Penelitian 2023

**Gambar 3.** Nilai Modulus Elastisitas Hail Laboratorium, SNI dan Hukum Hooke

Nilai modulus elastisitas hasil laboratorium berbeda 0,338% dengan nilai modulus elastisitas SNI, dan selisih nilai modulus elastisitas Hukum Hooke sebesar 0,018%. Grafik hasil laboratorium dan Hooke bertepatan.

## SIMPULAN

Model hubungan modulus elastisitas dan kuat tekan beton geopolimer dengan persamaan  $E_c = 12761 (f_c)^{0,4657}$  diperoleh dari hasil regresi daya. Validasi dilakukan dengan korelasi, angka  $R^2 = 0,9944$  mendekati satu, artinya hubungan kuat tekan dengan modulus elastisitas sangat kuat atau valid. Nilai modulus elastisitas hasil laboratorium berbeda 0,338% dengan nilai modulus elastisitas SNI, dan selisih nilai modulus elastisitas Hukum Hooke sebesar 0,018%. Grafik hasil laboratorium dan Hooke berimpitan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mehta, P. K., 'Reducing the Environmental Impact of Concrete', *Concr. Int. V.23 No.10, Oct.2001*, pp 61-66.
- [2] J. Davidovits, 'Global warming impact on the cement and aggregates industries', *World Resour. Rev.*, 1994.

- [3] J. Davidovits, 'Properties of Geopolymer Cements', First Int. Conf. Alkaline Cem. Concr., pp. 131–149, 1994.
- [4] J. Davidovits, 'Environmentally Driven Geopolymer Cement Applications', Geopolymer 2002 Conf., no. 6, pp. 1–9, 2002.
- [5] D. NHardjito, 'Fly ash -based geopolymer concrete', *Fly ash -based geopolymer Concr.*, 2005.
- [6] A. Kustirini, Antonius, and P. Setiyawan, 'Effect of sodium hydroxide concentration on the compressive strength of geopolymer mortar using fly ash PLTU Tanjungjati B Jepara', *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 955, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/955/1/012010
- [7] K. . Murdock, L. J., Brook, *Bahan dan Praktek Beton*. erlangga jakarta, 1991.
- [8] J. C. McCormac, *Desain Beton Bertulang*. erlangga jakarta, 2003.
- [9] ASTM, ASTM C469-02, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. ASTM International, West Conshohocken, Pa, 2019.
- [10] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 03-2847-2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Indonesia, 2019.
- [11] A. Antono, *Teknik Beton*. UGM, 1995.
- [12] T. Mulyono, *Teknologi Beton*. ANDI, Bandung.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, 'SNI 1974:2019 Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder', 2011