

**EFEKTIVITAS PENGARUH FAKTOR AIR SEMEN TERHADAP  
SIFAT FISIK DAN MEKANIK BETON GEOPOLIMER  
BERBASIS *FLY ASH* PLTU SURALAYA**

**TUGAS AKHIR**



**OLEH :**

ELIZA SITI SYARIFAH

NPM 21035010087

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”  
JAWA TIMUR**

**2025**

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**EFEKTIVITAS PENGARUH FAKTOR AIR SEMEN TERHADAP  
SIFAT FISIK DAN MEKANIK BETON GEOPOLIMER  
BERBASIS FLY ASH PLTU SURALAYA**

**Disusun oleh:**

**ELIZA SITI SYARIFAH**  
**NPM. 21035010087**

**Telah diuji, dipertahankan, dan diterima oleh Tim Penguji Tugas Akhir  
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Sains  
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur  
pada Hari Kamis, 4 September 2025**

**Dosen Pembimbing:  
Dosen Pembimbing Utama**

**Ir. Wahyu Kartini, M.T**  
**NIP. 196304202021212001**

**Dosen Pembimbing Pendamping**

**Sumaidi, S.T., M.T.**  
**NIP. 197909072021211004**

**Tim Penguji:  
1. Penguji I**

**Dr. Ir. Made Dharma Astawa, M.T.**

**2. Penguji II**

**Dr. Yerry Kahaditu Firmansyah, S.T., M.T**  
**NIP. 20119860129207**

**3. Penguji III**

**Nia Dwi Puspitasari, S.T., M.T.**  
**NIP. 21219881011307**

**Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik dan Sains**

**Prof. Dr. Dra. Jariyah, M. P.**  
**NIP. 196504031991032001**

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**EFEKTIVITAS PENGARUH FAKTOR AIR SEMEN TERHADAP  
SIFAT FISIK DAN MEKANIK BETON GEOPOLIMER  
BERBASIS FLY ASH PLTU SURALAYA**

**Disusun oleh:**

**ELIZA SITI SYARIFAH**  
**NPM. 21035010087**

**Telah diuji, dipertahankan, dan diterima oleh Tim Penguji Tugas Akhir  
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Sains  
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur  
pada Hari Kamis, 4 September 2025**

**Dosen Pembimbing Utama**

  
**Ir. Wahyu Kartini, M.T.**  
**NIP. 196304202021212001**

**Dosen Pembimbing Pendamping**

  
**Sumaidi, S.T., M.T.**  
**NIP. 197909072021211004**

**Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik dan Sains**

  
  
**Prof. Dr. Dra. Jariyah, M. P.**  
**NIP. 196504031991032001**

## SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Eliza Siti Syarifah

NPM : 21035010087

Fakultas / Program Studi : Fakultas Teknik dan Sains / Teknik Sipil

Judul Skripsi / Tugas Akhir : Efektivitas Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash* PLTU Suralaya

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Hasil karya yang saya serahkan ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik baik di UPN "Veteran" Jawa Timur maupun di institusi pendidikan lainnya.
2. Hasil karya saya ini merupakan gagasan, rumusan, dan hasil pelaksanaan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan pembimbing akademik.
3. Hasil karya saya ini merupakan hasil revisi terakhir setelah diujikan yang telah diketahui dan disetujui oleh pembimbing.
4. Dalam karya saya ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali yang digunakan sebagai acuan dalam naskah dengan menyebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari terbukti ada penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima konsekuensi apapun sesuai dengan ketentuan yang berlaku di UPN "Veteran" Jawa Timur.

Surabaya,      September 2025  
Yang Menyatakan,



(Eliza Siti Syarifah)  
NPM. 21035010087

## EFEKTIVITAS PENGARUH FAKTOR AIR SEMEN TERHADAP

### SIFAT FISIK DAN MEKANIK BETON GEOPOLIMER

#### BERBASIS *FLY ASH* PLTU SURALAYA

Eliza Siti Syarifah

21035010087

#### ABSTRAK

Salah satu alternatif pengganti beton konvensional adalah beton geopolimer yang menggunakan *fly ash* sebagai pengganti semen. Penelitian ini mengkaji efektivitas pengaruh faktor air semen terhadap sifat fisik dan mekanik beton geopolimer berbasis *fly ash* tipe F PLTU Suralaya dengan variasi faktor air semen 0,3, 0,4, dan 0,5. Aktivator yang digunakan adalah NaOH 10 M dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dengan perbandingan 1:1 metode pencampuran kering. Untuk mengetahui sifat fisik beton geopolimer dilakukan pengujian SEM EDX dengan benda uji berbentuk kubus berukuran 1 cm x 1 cm x 1 cm dan untuk mengetahui sifat mekanik beton geopolimer dilakukan pengujian kuat tekan dengan benda uji berbentuk silinder berukuran 15 cm x 30 cm, sifat fisik dan mekanik diuji pada umur 28 hari. Didapatkan beton konvensional FAS 0,3 menunjukkan morfologi padat dan rapat, porositas rendah, serta *interface* kuat dengan kuat tekan 32,38 MPa. FAS 0,4 memiliki morfologi cenderung membulat, porositas sedang, *interface* cukup baik, kuat tekan 31,82 MPa. FAS 0,5 menunjukkan morfologi kasar, porositas tinggi, *interface lemah*, kuat tekan 19,48 MPa. Pada beton geopolimer, seluruh variasi faktor air semen 0,3, 0,4 dan 0,5 menunjukkan morfologi longgar, banyak rongga, porositas tinggi, material tidak menyatu, dan *interface* lemah. Kuat tekan sangat rendah, yaitu FAS 0,3 sebesar 2,36 MPa, FAS 0,4 sebesar 1,32 MPa dan FAS 0,5 sebesar 1,32 MPa. Rata – rata penurunan kuat tekan beton geopolimer sebesar 93,93% dari kuat tekan beton konvensional. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi faktor air semen tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan sifat fisik maupun mekanik beton geopolimer. Rendahnya performa disebabkan oleh pembentukan gel N–A–S–H yang tidak sempurna, sehingga ikatan antar partikel *fly ash* tidak terbentuk secara optimal. Hal ini terjadi karena pada metode pencampuran kering, air tidak mampu melarutkan aktivator Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sehingga aktivator tidak bereaksi dengan *fly ash* tipe F membentuk gel N-A-S-H. Beton geopolimer *fly ash* tipe F metode kering tidak dapat dijadikan alternatif pengganti semen portland beton konvensional.

Kata Kunci : Sifat fisik, sifat mekanik, geopolimer, N-A-S-H, aktivator

# ***Effectiveness of the Water Cement Ration on the Physical and Mechanical***

## ***Properties of Geopolymer Concrete Based on***

### ***Fly Ash Suralaya Power Plant***

**Eliza Siti Syarifah**

**21035010087**

#### **ABSTRACT**

*Geopolymer concrete, utilizing fly ash as a cement substitute, has been proposed as an alternative to conventional concrete. This study investigates the effect of the water-to-cement (w/c) ratio on the physical and mechanical properties of geopolymer concrete produced from Type F fly ash sourced from the Suralaya power plant, with w/c ratios of 0.3, 0.4, and 0.5. The activators used were 10 M NaOH and Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> at a 1:1 ratio, applied through a dry mixing method. Physical properties were examined using SEM-EDX on cubic specimens 1 cm x 1 cm x 1 cm, while mechanical properties were assessed through compressive strength tests on cylindrical specimens 15 x 30 cm at 28 days. Conventional concrete exhibited dense morphology, low porosity, and strong interfacial bonding, achieving compressive strengths of 32.38 MPa w/c 0.3, 31.82 MPa w/c 0.4, and 19.48 MPa w/c 0.5. In contrast, all geopolymer concrete specimens, regardless of w/c ratio, showed loose morphology, high porosity, weak interfaces, and poor particle cohesion. Corresponding compressive strengths were markedly lower: 2.36 MPa w/c 0.3, 1.32 MPa w/c 0.4, and 1.32 MPa w/c 0.5, representing an average reduction of 93.93% compared with conventional concrete. The findings indicate that variations in w/c ratio do not significantly influence the physical or mechanical performance of geopolymer concrete produced via the dry mixing method. The poor performance is attributed to the incomplete formation of N-A-S-H gel, as water was unable to dissolve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> effectively, thereby preventing sufficient reaction with Type F fly ash. Consequently, geopolymer concrete prepared with Type F fly ash using the dry method is unsuitable as a substitute for Portland cement in conventional concrete.*

**Kata Kunci :** *physical properties, mechanical properties, geopolymer, N-A-S-H, activator*

## KATA PENGANTAR

Dengan segala puji syukur kehadiran Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Efektivitas Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash* PLTU Suralaya”. Tugas akhir ini disusun untuk melengkapi tugas akademik dan memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Fakultas Teknik dan Sains Program Studi Teknik Sipil Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini pula penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P. selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Bapak Dr. Ir. Hendrata Wibisana, M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Sipil Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur dan Dosen Penasehat Akademik.
3. Ibu Ir. Wahyu Kartini, M.T. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberi masukan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir.
4. Bapak Sumaidi, ST., MT. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberi masukan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir.

5. Kedua orang tua, abang, dan kakak penulis yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, doa, serta nasehat yang menyejukkan hati serta tak luput mendoakan untuk mewujudkan skripsi ini.
6. Adhimix RMC Serpong serta PLTU Suralaya yang sudah memberikan bantuan atas pemberian *fly ash* untuk tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Penulis menerima kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini agar bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, September 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                              |      |
|----------------------------------------------|------|
| ABSTRAK.....                                 | i    |
| KATA PENGANTAR .....                         | i    |
| DAFTAR ISI.....                              | iii  |
| DAFTAR TABEL .....                           | vi   |
| DAFTAR GAMBAR .....                          | viii |
| DAFTAR GRAFIK.....                           | ix   |
| BAB I.....                                   | 1    |
| PENDAHULUAN .....                            | 1    |
| 1.1    Latar Belakang.....                   | 1    |
| 1.2    Rumusan Masalah.....                  | 4    |
| 1.3    Tujuan Penelitian .....               | 5    |
| 1.4    Batasan Masalah .....                 | 5    |
| 1.5    Lokasi Penelitian.....                | 6    |
| BAB II.....                                  | 7    |
| TINJAUAN PUSTAKA.....                        | 7    |
| 2.1    Beton Geopolimer.....                 | 7    |
| 2.3 <i>Fly ash</i> .....                     | 8    |
| 2.3    Faktor Air Semen .....                | 10   |
| 2.4    Sifat Fisik Beton .....               | 11   |
| 2.5    Sifat Mekanik Beton .....             | 13   |
| 2.6    Aktivator .....                       | 14   |
| 2.6.1    Sodium Metasilikat Pentahidrat..... | 16   |

|                                  |                                     |    |
|----------------------------------|-------------------------------------|----|
| 2.6.2                            | Sodium Hidroksida .....             | 16 |
| 2.7                              | Agregat.....                        | 17 |
| 2.7.1                            | Agregat Kasar .....                 | 18 |
| 2.7.2                            | Agregat Halus .....                 | 18 |
| 2.8                              | SEM .....                           | 19 |
| BAB III .....                    |                                     | 20 |
| METODOLOGI PENELITIAN.....       |                                     | 20 |
| 3.1                              | Metodologi Penelitian.....          | 20 |
| 3.2                              | Analisa Karakteristik Material..... | 21 |
| 3.2.1                            | Agregat Kasar .....                 | 22 |
| 3.2.2                            | Agregat Halus .....                 | 22 |
| 3.3                              | Pembuatan Semen Geopolimer.....     | 22 |
| 3.3.1                            | <i>Fly Ash</i> .....                | 23 |
| 3.3.2                            | Aktivator .....                     | 23 |
| 3.4                              | <i>Mix Design</i> .....             | 24 |
| 3.5                              | Rencana Benda Uji .....             | 25 |
| 3.6                              | Pembuatan Benda Uji .....           | 26 |
| 3.7                              | Perawatan.....                      | 28 |
| 3.8                              | Uji Kuat Tekan .....                | 28 |
| 3.9                              | Uji SEM .....                       | 29 |
| 3.10                             | Intepretasi Data .....              | 30 |
| BAB IV .....                     |                                     | 31 |
| ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN..... |                                     | 31 |
| 4.1                              | Analisa Material.....               | 31 |

|                      |                                     |    |
|----------------------|-------------------------------------|----|
| 4.1.1                | Analisa Saringan .....              | 31 |
| 4.1.2                | Analisa Karakteristik Material..... | 34 |
| 4.2                  | <i>Mix Design</i> .....             | 35 |
| 4.2.1                | <i>Mix Design</i> FAS 0,3 .....     | 35 |
| 4.2.2                | <i>Mix Design</i> FAS 0,4 .....     | 36 |
| 4.2.3                | <i>Mix Design</i> FAS 0,5 .....     | 37 |
| 4.3                  | Analisis Hasil Uji Beton .....      | 37 |
| 4.3.1                | Analisis Sifat Mekanik Beton .....  | 38 |
| 4.3.2                | Analisis Sifat Fisik Beton .....    | 50 |
| 4.4.                 | Interpretasi Data.....              | 65 |
| BAB V                | .....                               | 71 |
| KESIMPULAN DAN SARAN | .....                               | 71 |
| 5.1                  | Kesimpulan .....                    | 71 |
| 5.2                  | Saran .....                         | 73 |
| DAFTAR PUSTAKA       | .....                               | 74 |
| LAMPIRAN             | .....                               | 78 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1.1 Perbandingan Susunan Unsur Semen dengan <i>Fly Ash</i> tipe F .....                   | 3  |
| Tabel 2.1 Perbandingan Metode Pencampuran Kering dengan Pencampuran Basah Beton Geopolimer..... | 16 |
| Tabel 3.1 Unsur Kimia <i>Fly Ash</i> .....                                                      | 23 |
| Tabel 3.2 Rencana Benda Uji.....                                                                | 25 |
| Tabel 4.1 Percobaan Analisa Saringan Batu Pecah (ASTM C 136 – 95a) .....                        | 31 |
| Tabel 4.2 Percobaan Analisa Saringan Pasir (ASTM C 1366 – 95a).....                             | 32 |
| Tabel 4.3 Analisa Saringan Gabungan Agregat .....                                               | 33 |
| Tabel 4.4 Penyelidikan Batu Pecah.....                                                          | 34 |
| Tabel 4.5 Penyelidikan Pasir.....                                                               | 34 |
| Tabel 4.6 <i>Mix Design</i> Beton Konvensional BN - 03 .....                                    | 35 |
| Tabel 4.7 <i>Mix Design</i> Beton Geopolimer BG - 0,3.....                                      | 35 |
| Tabel 4.8 <i>Mix Design</i> Beton Konvensional BN - 0,4 .....                                   | 36 |
| Tabel 4.9 <i>Mix Design</i> Beton Geopolimer BG - 0,4.....                                      | 36 |
| Tabel 4.10 <i>Mix Design</i> Beton Konvensional BN - 0,5 .....                                  | 37 |
| Tabel 4.11 <i>Mix Design</i> Beton Geopolimer BG - 0,5.....                                     | 37 |
| Tabel 4.12 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Konvensional.....                                         | 38 |
| Tabel 4.13 Hasil Uji Kuat Tekan Benda Uji Beton Geopolimer.....                                 | 41 |
| Tabel 4.14 Perbandingan Uji Kuat Tekan Beton BN - 0,3 dan BG - 0,3 .....                        | 44 |
| Tabel 4.15 Perbandingan Uji Kuat Tekan Beton BN - 0,4 dan BG - 0,4.....                         | 46 |
| Tabel 4.16 Perbandingan Uji Kuat Tekan Beton BN - 0,5 dan BG - 0,5 .....                        | 48 |

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 4.17 Unsur Senyawa Benda Uji Beton Konvensional berdasarkan Faktor Air Semen.....                                | 50 |
| Tabel 4.18 Hubungan Faktor Air Semen Terhadap Sifat Fisik Morfologi, Porositas, dan Interface Beton Konvensional ..... | 53 |
| Tabel 4.19 Unsur Senyawa Benda Uji Beton Geopolimer berdasarkan Faktor Air Semen.....                                  | 53 |
| Tabel 4.20 Hubungan Faktor Air Semen Terhadap Sifat Fisik Morfologi, Porositas, dan Interface Beton Geopolimer.....    | 56 |
| Tabel 4.21 Unsur Senyawa pada BN - 0,3 dan BG - 0,3 .....                                                              | 57 |
| Tabel 4.22 Unsur Senyawa pada BN - 0,4 dan BG - 0,4 .....                                                              | 60 |
| Tabel 4.23 Unsur Senyawa pada BN - 0,5 dan BG - 0,5 .....                                                              | 63 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Diagram alir pembuatan beton geopolimer kondisi basah (a) kondisi kering (b).....                                                                    | 15 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Sumber: Penulis) .....                                                                                                      | 21 |
| Gambar 4.1 Hubungan Kuat Tekan Rata – Rata dengan FAS Beton Konvensional .                                                                                      | 40 |
| Gambar 4.2 Hubungan Kuat Tekan Rata – Rata dengan FAS Beton Geopolimer.....                                                                                     | 43 |
| Gambar 4.3 Gambar Diagram Sebaran Unsur Beton Konvensional (a) BN - 0,3 (b) BN - 0,4 (c) BN - 0,5 (Sumber: Hasil Penelitian) .....                              | 50 |
| Gambar 4.4 Foto SEM BN - 0,3 Perbesaran 5000x (b) Foto SEM BN - 0,4 Perbesaran 5000x (c) Foto SEM BN - 0,5 Perbesaran 5000x (Sumber: Hasil Penelitian) .....    | 52 |
| Gambar 4.5 Gambar Diagram Sebaran Unsur Beton Geopolimer (a) BG - 0,3 (b) BG - 0,4 (c) BG - 0,5 (Sumber: Hasil Penelitian) .....                                | 54 |
| Gambar 4.6 Foto SEM BG - 0,3 Perbesaran 5.000x (b) Foto SEM BG - 0,4 Perbesaran 5.000x (c) Foto SEM BG - 0,5 Perbesaran 5.000x (Sumber: Hasil Penelitian) ..... | 55 |
| Gambar 4.7 Diagram Perbandingan Sebaran Unsur (a) Beton Konvensional BN - 0,3 (b) Beton Geopolimer BG - 0,3 (Sumber: Hasil Penelitian).....                     | 57 |
| Gambar 4.8 (a) Foto SEM BN – 0,3 Perbesaran 5.000x (b) Foto SEM BG – 0,3 Perbesaran 5.000x (Sumber: Hasil Penelitian) .....                                     | 59 |
| Gambar 4.9 Diagram Perbandingan Sebaran Unsur (a) Beton Konvensional BN - 0,4 (b) Beton Geopolimer BG - 0,4 (Sumber: Hasil Penelitian).....                     | 60 |
| Gambar 4.10 (a) Foto SEM BN - 0,4 Perbesaran 5.000x (b) Foto SEM BG - 0,4 Perbesaran 5.000x (Sumber: Hasil Penelitian) .....                                    | 62 |
| Gambar 4.11 (a) Foto SEM BN - 0,5 Perbesaran 5.000x (b) Foto SEM BG - 0,5 Perbesaran 5.000x (Sumber: Hasil Penelitian).....                                     | 65 |

## DAFTAR GRAFIK

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Grafik 4.1 Analisa Saringan Batu Pecah Sumber: Hasil Penelitian.....                                           | 31 |
| Grafik 4.2 Analisa Saringan Pasir.....                                                                         | 32 |
| Grafik 4.3 Analisa Saringan Agregat Gabungan.....                                                              | 33 |
| Grafik 4.4 Hubungan antara Nilai Slump dengan Faktor Air Semen pada Beton Konvensional .....                   | 39 |
| Grafik 4.5 Hubungan antara Nilai Slump dengan Faktor Air Semen pada Beton Konvensional .....                   | 41 |
| Grafik 4.6 Hubungan antara Faktor Air Semen 0,3 dengan Kuat Tekan Beton Konvensional dan Beton Geopolimer..... | 45 |
| Grafik 4.7 Hubungan antara Faktor Air Semen 0,4 dengan Kuat Tekan Beton Konvensional dan Beton Geopolimer..... | 47 |
| Grafik 4.8 Hubungan antara Faktor Air Semen 0,5 dengan Kuat Tekan Beton Konvensional dan Beton Geopolimer..... | 49 |