

TUGAS AKHIR

STUDI PENELITIAN FAKTOR AIR *CEMENTITIOUS* PADA BETON GEOPOLIMER BERBASIS *FLY ASH* (BATU BARA) BERDASARKAN KUAT TEKAN

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut
Teknologi Nasional Malang



Disusun Oleh:

FRIDOLIN A. M. A. SANI NAITKAKIN

21.21.096

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2025

**LEMBAR PERSETUJUAN
TUGAS AKHIR**

**STUDI PENELITIAN FAKTOR AIR CEMENTITIOUS
PADA BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH (BATU BARA)
BERDASARKAN KUAT TEKAN**

Disusun Oleh:

FRIDOLIN A. M. A. SANI NAITKAKIN
21.21.096

*Telah disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk diujikan
Pada Tanggal 21 Agustus 2025*

Menyetujui,
Dosen Pembimbing:

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Ester Priskasari, MT.
NIP. P. 1031500508

Nenny Roostrianawaty, ST., MT.
NIP. P. 1031700533

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1



Dr. Yosimson P. Manaha, S.T., M.T.
NIP. P. 1030300383

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**STUDI PENELITIAN FAKTOR AIR CEMENTITIOUS
PADA BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH (BATU BARA)
BERDASARKAN KUAT TEKAN**

*Tugas Akhir Ini Telah Dipertahankan di Hadapan Dosen Pembahas Tugas Akhir
Jenjang Strata (S-1) Pada Tanggal 21 Agustus 2025 Dan Diterima Untuk Memenuhi
Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana (S-1) Teknik Sipil.*

Disusun Oleh:

FRIDOLIN A. M. A. SANI NAITKAKIN

21.21.096

Dosen-Penguji:

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Ir. Sudirman Indra, M.Sc.

NIP. P. 1018300054

Vega Aditama, ST., MT.

NIP. P. 1031900559

Disahkan Oleh:

Ketua Program Studi

Sekretaris Program Studi

Teknik Sipil S-1

Teknik Sipil S-1



Dr. Yosimpon P. Manaha, S.T., M.T.

NIP. P. 1030300383

Nenny Roostrianawaty, ST., MT.

NIP. P. 1031700533

**LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fridolin A. M. A. Sani Naitkakin

NIM : 21.21.096

Program Studi : Teknik Sipil S-1

Fakultas : Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul:

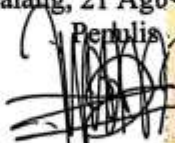
**STUDI PENELITIAN FAKTOR AIR *CEMENTITIOUS*
PADA BETON GEOPOLIMER BERBASIS *FLY ASH* (BATU BARA)
BERDASARKAN KUAT TEKAN**

Adalah sebenar-benarnya bahwa sepengetahuan saya, didalam naskah TUGAS AKHIR ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademiknya di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah TUGAS AKHIR ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU. No 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2).

Demikian surat pernyataan ini saya buat tulus dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Malang, 21 Agustus 2025

Penulis

FRIDOLIN A. M. A. S
21.21.096




ABSTRAK

STUDI PENELITIAN FAKTOR AIR CEMENTITIOUS PADA BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH (BATU BARA) BERDASARKAN KUAT TEKAN

Fridolin A. M. A. Sani Naitkakin; Dibimbing oleh Ir. Ester Priskasari, M.T. dan Nenny Roostrianawaty, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang

Beton geopolimer berbasis *fly ash* (abu terbang) merupakan alternatif ramah lingkungan yang dapat menggantikan beton konvensional berbasis semen portland. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh faktor air *cementitious* (W/C) terhadap kuat tekan beton geopolimer berbasis *fly ash* tipe C dari PLTU Paiton, serta menentukan korelasi antara faktor air *cementitious* dengan kuat tekan beton. Variasi faktor air *cementitious* yang digunakan adalah 0,35; 0,4; 0,45; 0,5; 0,55; 0,6; dan 0,65. Aktivator alkali yang digunakan terdiri dari potasium hidroksida (KOH) 8 M dan sodium silikat (Na_2SiO_3) dengan rasio 3:1. Benda uji berupa silinder beton ($\varnothing 15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$) diuji pada umur 3 dan 7 hari dengan metode curing suhu ruang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton geopolimer menurun seiring dengan peningkatan faktor air *cementitious* (W/C). Pada umur 3 hari, kuat tekan tertinggi sebesar 28,42 MPa dicapai pada W/C 0,35, sedangkan yang terendah sebesar 17,94 MPa pada W/C 0,65. Pada umur 7 hari, kuat tekan tertinggi mencapai 37,13 MPa (W/C 0,35) dan terendah 23,89 MPa (W/C 0,65). Nilai *slump* beton meningkat seiring dengan kenaikan W/C, dengan nilai tertinggi 18,4 cm pada W/C 0,65. Hasil pengujian diperoleh kesimpulan faktor air *cementitious* (W/C) 0,35; 0,4; 0,45; 0,5; 0,55; 0,6; dan 0,65 berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton geopolimer, di mana semakin tinggi nilai faktor air *cementitious* (W/C), semakin rendah kuat tekannya.

Kata kunci: Beton geopolimer, faktor air *cementitious*, alkali aktivator

ABSTRACT

A STUDY ON THE EFFECT OF WATER CEMENTITIOUS RATIO ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF FLY ASH BASED GEOPOLYMER CONCRETE

Fridolin A. M. A. Sani Naitkakin; Supervised by Ir. Ester Priskasari, M.T. and Nenny Roostrianawaty, S.T., M.T.

Civil Engineering Study Program, Faculty of Civil Engineering and Planning, National Institute of Technology of Malang.

Fly ash based geopolymer concrete is an environmentally friendly alternative that can replace conventional Portland cement based concrete. This study aims to analyze the effect of the water cementitious (W/C) ratio on the compressive strength of Type C fly ash based geopolymer concrete from the Paiton Power Plant, as well as to determine the correlation between the water cementitious ratio and the concrete's compressive strength. The variations of the water cementitious ratio used were 0,35, 0,4, 0,45, 0,5, 0,55, 0,6, and 0,65. The alkaline activator used consisted of 8 M potassium hydroxide (KOH) and sodium silicate (Na_2SiO_3) with a ratio of 3:1. The test specimens, in the form of concrete cylinders ($\text{Ø}15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$), were tested at the ages of 3 and 7 days using the room temperature curing method. The results show that the compressive strength of the geopolymer concrete decreases with the increase of the water cementitious (W/C) ratio. At 3 days, the highest compressive strength of 28,42 MPa was achieved at a W/C of 0,35, while the lowest was 17,94 MPa at a W/C of 0,65. At 7 days, the highest compressive strength reached 37,13 MPa (W/C 0,35) and the lowest was 23,89 MPa (W/C 0,65). The concrete slump value increased with the increase in the W/C ratio, with the highest value of 18,4 cm at a W/C of 0,65. The test results conclude that the water cementitious (W/C) ratios of 0,35, 0,4, 0,45, 0,5, 0,55, 0,6, and 0,65 have a significant effect on the compressive strength of geopolymer concrete, where a higher water cementitious (W/C) ratio results in lower compressive strength.

Keywords: Geopolymer concrete, water cementitious ratio (W/C), alkaline activator.

KATA PENGANTAR

Penulis memanjatkan puji Syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat, rahmat, kasih sayang, dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “ **Studi Penelitian Faktor Air *Cementitious* Pada Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash* (Batu Bara) Berdasarkan Kuat Tekan** ” dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Pada proses penyelesaian Tugas Akhir ini penulis mendapatkan banyak bantuan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih dan permohonan maaf yang besar kepada semua pihak yang terkait, yaitu:

1. **Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D**, selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. **Dr. Debby Budi Susanti, ST., MT**, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.
3. **Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT**, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.
4. **Nenny Roostrianawaty, ST., MT**, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang dan selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
5. **Ir. Ester Priskasari, MT**, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir
6. **Dr. Ir. Vega Aditama, ST., MT., IPM**, selaku Kepala Studio Tugas Akhir Teknik Sipil S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Akhir kata, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, 21 Agustus 2025

Penulis

FRIDOLIN A. M. A. SANI NAITKAKIN

21.21.096

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR GRAFIK	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Manfaat Penelitian	5
1.7 Hipotesis Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Landasan Teori.....	7
2.3 Material	9
2.3.1 Sumber Aluminisilikat	9
2.3.2 Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>).....	9
2.3.3 Agregat Halus.....	13
2.3.4 Agregat Kasar.....	14
2.3.5 Air	15

2.3.6 Alkali Aktivator	15
2.4 Reaksi Geopolimerisasi.....	17
2.5 Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>).....	19
2.6 Pengujian Mekanis Beton	20
2.6.1 Uji Kuat Tekan.....	20
2.7 Pengolahan Data.....	21
2.7.1 Definisi Hipotesis.....	21
2.7.2 Interval Kepercayaan	22
2.7.3 Analisa Regresi	23
2.7.4 Uji Korelasi	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.1.1 Tempat Penelitian.....	26
3.1.2 Waktu Penelitian	26
3.2 Metode Penelitian.....	27
3.3 Populasi dan Sampel	28
3.4 Alat dan Bahan	29
3.4.1 Alat Penelitian.....	29
3.4.2 Bahan Penelitian.....	29
3.5 Metode Pengumpulan Data	30
3.5.1 Uji Kuat Tekan.....	30
3.6 Diagram Alir Penelitian	32
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Hasil dan Pembahasan Pemeriksaan Material Campuran Beton	34
4.1.1 Hasil Pemeriksaan Berat Isi	34
4.1.2 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan	36
4.1.3 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus	39
4.1.4 Hasil Pemeriksaan Kadar Air.....	39
4.1.5 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat	40
4.1.6 Hasil Pemeriksaan Konsistensi Normal dan Waktu Ikat	42

4.2 Perancangan Campuran (<i>Mix Design</i>)	45
4.2.1 Perancangan Campuran Beton	45
4.2.2 Perhitungan Kebutuhan Larutan Alkali Aktivator	81
4.2.3 Komposisi Akhir Campuran Beton Geopolimer.....	89
4.3 Analisa Biaya Material Produksi Beton Geopolier	90
4.4 Komposisi Unsur Kimia Pada Prekursor	91
4.5 Pengujian <i>Slump</i> Beton Geopolimer	91
4.6 Analisa Data Kuat Tekan Beton Geopolimer.....	93
4.7 Pengujian Interval Kepercayaan	99
4.8 Analisa Regresi	104
4.8.1 Analisa Regresi Kuat Tekan Beton Geopolimer Faktor Air Cementitious (W/C) 0,35 Sampai 0,65	105
4.9 Pengujian Hipotesis.....	108
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	111
5.1 Kesimpulan	111
5.2 Saran.....	112
DAFTAR PUSTAKA	113
LAMPIRAN.....	116

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	6
Tabel 2. 2 Persyaratan Fisik <i>Fly Ash</i>	11
Tabel 2. 3 Persyaratan Kimia <i>Fly Ash</i>	11
Tabel 2. 4 Hasil Analisa Kimia Fly Ash Tipe C PLTU Paiton	11
Tabel 2. 5 Kriteria Korelasi	25
Tabel 3. 1 Rencana Jadwal Penelitian	27
Tabel 3. 2 Variasi Uji Kuat Tekan Beton	28
Tabel 4. 1 Berat Isi Lepas/Gembur Agregat Halus	34
Tabel 4. 2 Berat Isi Padat Agregat Halus	34
Tabel 4. 3 Berat Isi Lepas/ Gembur Agregat Kasar	35
Tabel 4. 4 Berat Isi Padat Agregat Kasar	35
Tabel 4. 5 Berat Isi Lepas/Gembur Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	35
Tabel 4. 6 Berat Isi Padat Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	36
Tabel 4. 7 Data Pemeriksaan Gradasi Agregat Halus	36
Tabel 4. 8 Data Pemeriksaan Gradasi Agregat Kasar	37
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus.....	39
Tabel 4. 10 Kadar Air Agregat Kasar.....	40
Tabel 4. 11 Kadar Air Agregat Halus.....	40
Tabel 4. 12 Berat Jenis dan Tingkat Penyerapan Agregat Kasar	41
Tabel 4. 13 Berat Jenis dan Tingkat Penyerapan Agregat Halus	41
Tabel 4. 14 Berat Jenis dan Tingkat Penyerapan Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	42
Tabel 4. 15 Konsistensi Normal Pasta Geopolimer.....	43
Tabel 4. 16 Waktu Ikut Pasta Geopolimer.....	44
Tabel 4. 17 Perkiraan Kadar Air Bebas.....	46
Tabel 4. 18 Komposisi Akhir Campuran Beton Geopolimer Kondisi Lapangan per m ³	89

Tabel 4. 19	Komposisi Akhir Campuran Beton Geopolimer Kondisi Lapangan	89
Tabel 4. 20	Analisa Harga Bahan Produksi Beton Geopolimer	90
Tabel 4. 21	Analisa Harga Bahan Produksi Beton Semen Portland.....	90
Tabel 4. 22	Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i> Tipe C (PLTU Paiton)	91
Tabel 4. 23	Tinggi Slump Beton Tiap Variasi Faktor Air <i>Cementitious</i> (W/C)	92
Tabel 4. 24	Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 3 Hari	96
Tabel 4. 25	Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 7 Hari	97
Tabel 4. 26	Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 3 Hari	100
Tabel 4. 27	Interval Kepercayaan Beton Geopolimer Umur 3 Hari.....	100
Tabel 4. 28	Hasil Pengujian Interval Kepercayaan Pada Beton Geopolimer Umur 3 Hari.....	101
Tabel 4. 29	Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 7 Hari	101
Tabel 4. 30	Interval Kepercayaan Beton Geopolimer Umur 7 Hari.....	102
Tabel 4. 31	Hasil Pengujian Interval Kepercayaan Pada Beton Geopolimer Umur 7 Hari.....	103
Tabel 4. 32	Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-Rata Umur 3 Dan 7 Hari.....	105
Tabel 4. 33	Kriteria Penginterpretasian Hubungan Korelasi.....	108
Tabel 4. 34	Titik Persentase Distribusi t (df = 1-35).....	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Penggolongan Polisialate.....	8
Gambar 2. 2 Micrograph <i>Fly Ash</i> Particles	10
Gambar 2. 3 Skema Reaksi geopolimerisasi (Duxson, Provis, et al., 2007)	18
Gambar 2. 4 Uji Kuat Tekan Beton.....	20
Gambar 3. 1 Alat Uji Kuat Tekan.....	30
Gambar 3. 2 Uji Kuat Tekan Beton.....	31
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian.....	33
Gambar 4. 1 Skema Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer	93

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Gradasi Agregat Halus.....	37
Grafik 4. 2 Gradasi Agregat Kasar.....	38
Grafik 4. 3 Konsistensi Normal Pasta Geopolimer.....	43
Grafik 4. 4 Waktu Ikat Pasta Geopolimer.....	44
Grafik 4. 5 Persentase Agregat Halus W/C 0,35.....	47
Grafik 4. 6 Hubungan Berat Jenis Beton Segar dan Kadar Air Bebas W/C 0,35	48
Grafik 4. 7 Persentase Agregat Halus W/C 0,4.....	52
Grafik 4. 8 Hubungan Berat Jenis Beton Segar dan Kadar Air Bebas W/C 0,4	53
Grafik 4. 9 Persentase Agregat Halus W/C 0,45.....	57
Grafik 4. 10 Hubungan Berat Jenis Beton Segar dan Kadar Air Bebas W/C 0,45	58
Grafik 4. 11 Persentase Agregat Halus W/C 0,5.....	62
Grafik 4. 12 Hubungan Berat Jenis Beton Segar dan Kadar Air Bebas W/C 0,5	63
Grafik 4. 13 Persentase Agregat Halus W/C 0,55.....	67
Grafik 4. 14 Hubungan Berat Jenis Beton Segar dan Kadar Air Bebas W/C 0,55	68
Grafik 4. 15 Persentase Agregat Halus W/C 0,6.....	72
Grafik 4. 16 Hubungan Berat Jenis Beton Segar dan Kadar Air Bebas W/C 0,6	73
Grafik 4. 17 Persentase Agregat Halus W/C 0,65.....	77
Grafik 4. 18 Hubungan Berat Jenis Beton Segar dan Kadar Air Bebas W/C 0,65	78
Grafik 4. 19 Hubungan Nilai Slump Dengan Faktor Air <i>Cementitious</i> (W/C)	92
Grafik 4. 20 Kuat Tekan Rata-Rata Beton Geopolimer Umur 3 Hari Dengan Faktor Air <i>Cementitious</i> (W/C) 0,35 Sampai 0,65.....	98
Grafik 4. 21 Kuat Tekan Rata-Rata Beton Geopolimer Umur 7 Hari Dengan Faktor Air <i>Cementitious</i> (W/C) 0,35 Sampai 0,65	98
Grafik 4. 22 Kuat Tekan Rata-Rata Beton Geopolimer Dengan Faktor Air Cementitious (W/C) 0,35 Sampai 0,65 Umur 3 Hari Dan 7 Hari.....	99
Grafik 4. 23 Hasil Analisa Regresi Umur 3 Hari (Minitab 19 <i>Statistical Software</i>)	107
Grafik 4. 24 Hasil Analisa Regresi Umur 7 Hari (Minitab 19 <i>Statistical Software</i>)	107

DAFTAR NOTASI

f'_c	= Kuat tekan beton (N/mm ²)
P	= Beban maksimum (N)
A	= Luas permukaan benda uji (mm ²)
d	= Diameter (mm)
L	= Panjang (cm)
CI	= Selang kepercayaan
a	= Koefisien korelasi
n	= Jumlah data
R	= Koefisien korelasi
k	= Jumlah variabel (bebas dan terikat)
$\bar{x}$	= Nilai rata-rata dari data yang di uji
s	= Simpangan baku sampel
μ	= Rata-rata populasi
v	= Derajat kebebasan
Y	= Variabel dependen
X	= Variabel independen
b, c	= Koefisien regresi
Σ	= Operator penjumlahan
r	= Koefisien korelasi Pearson
W/C	= Faktor air <i>cementitious</i>
ΣX	= Total nilai variabel X
ΣY	= Total nilai variabel Y
ΣXY	= Jumlah produk X dan Y
ΣX^2	= Jumlah kuadrat variabel X
ΣY^2	= Jumlah kuadrat variabel Y