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

Fridolin A. M. A. Sani Naitkakin[1], Ester Priskasari[2], dan Nenny Roostrianawaty[3]

[1]Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Candi 2A No. 454
Email: saniarthur05@gmail.com
[2] Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang,Jl. Parikesit 45 Malang
Email: esterpriskasari@gmail.com
[3]Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Perum Joyo Grand Kav. A-22 Malang
Email: nennyroos.nr@lecturer.itn.ac.id

ABSTRACT

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 (Ø15 cm × 30 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

ABSTRAK

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 potassium hidroksida (KOH) 8 M dan sodium silikat (Na_2SiO_3) dengan rasio 3:1. Benda uji berupa silinder beton (Ø15 cm × 30 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* (W/C), alkali aktivator

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia, karena daya tahannya yang tinggi dan kemampuannya dalam menopang beban berat. Namun, produksi beton konvensional yang berbasis semen portland ternyata memiliki dampak lingkungan yang cukup besar. Semen, sebagai bahan pengikat, berperan penting

dalam proses pengerasan beton melalui reaksi hidrasi. Namun, produksi semen menyumbangkan emisi gas karbondioksida (CO_2) yang signifikan ke atmosfer, yang memperparah masalah pemanasan global. Salah satu cara untuk mereduksi risiko pemanasan global adalah dengan memanfaatkan beton geopolimer. Berbeda dengan beton konvensional yang menggunakan semen portland sebagai pengikat, beton geopolimer mengandalkan material alternatif seperti *fly ash* sebagai bahan pengikatnya. *Fly ash* menghasilkan karbon dioksida 80 - 90% lebih sedikit dibandingkan semen portland, penggunaannya diyakini dapat memitigasi perubahan iklim (Davidovits, 1994). *Fly ash* tidak memiliki kapasitas pengikatan semen portland, sehingga diperlukan aktivator alkali larutan sodium hidroksida (NaOH) atau potassium hidroksida (KOH) dan larutan sodium silikat (Na_2SiO_3) atau potassium silikat (K_2SiO_3) (Lloyd & Rangan, 2010). Dalam penelitian kali ini aktivator alkali yang digunakan adalah potassium hidroksida (KOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3). Dalam desain campuran beton, komposisi campuran (*mix design*) memiliki pengaruh yang signifikan, terutama pada faktor air *cementitious*. Faktor air *cementitious* adalah parameter penting dalam perhitungan desain campuran beton, karena digunakan untuk menentukan kekuatan rencana beton. Penelitian tentang beton geopolimer telah banyak dilakukan, namun umumnya masih mengacu pada faktor air *cementitious* konvensional. Padahal, beton geopolimer memiliki karakteristik yang berbeda dan seharusnya tidak menggunakan faktor air semen biasa karena dapat memicu keretakan. Retak pada beton sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang digunakan saat mix design, yang menentukan potensi terjadinya keretakan. Pengujian kuat tekan dapat dilakukan untuk mengetahui tingkat keretakan yang terjadi. Seiring dengan meningkatnya penggunaan beton geopolimer, penelitian mengenai pengaruh faktor air *cementitious* terhadap sifat dan karakteristik beton, seperti kuat tekan, dan juga kebutuhan untuk mencari alternatif yang lebih ramah lingkungan dalam pembuatan beton menjadi sangat penting.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Geopolimer

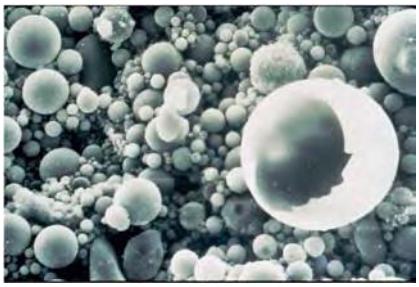
Geopolimer adalah bahan anorganik yang kaya akan Silikon (Si) dan Aluminium (Al) yang bereaksi dengan alkali menjadi material bersifat *cementitious.* Beton *Geopolymer* adalah beton yang dibuat tanpa semen namun digantikan dengan bahan sumber Silika (Si) dan Aluminium (Al) dengan alkali yang fungsinya sama seperti semen sebagai bahan pengikat atau *binder* (Turner & Collins, 2013). Proses pembentukan beton geopolimer disebut dengan proses polimerisasi kondensasi, yaitu reaksi gugus fungsi banyak (molekul yang mengandung dua gugus fungsi atau lebih yang dapat bereaksi) yang menghasilkan satu molekul besar bergugus fungsi banyak pula dan diikuti oleh pelepasan molekul kecil (Davidovits, 2011).

Alkali Aktivator (Potassium Hidroksida dan Sodium Silikat)

Alkali aktivator memiliki fungsi dalam menghasilkan geopolimerisasi dan meningkatkan laju reaksi. Alkali sebagai aktifator yang biasanya digunakan untuk membuat geopolimer diantaranya adalah kombinasi antara sodium hidroksida (NaOH) dengan sodium silikat (Na_2SiO_3) atau potassium hidroksida (KOH) dengan potassium silikat (K_2SiO_3) (Davidovits, 1999). Dalam pembuatan beton ini, aktivator yang digunakan adalah unsur alkali yang terhidrasi yaitu potassium hidroksida (KOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3), Alkali Silikat harus dikombinasikan dengan alkali hidroksida, dikarenakan sifat reaksinya yang perlahan, sehingga kekuatan bahan pengikat geopolimer menjadi lebih rendah (Criado dkk., 2005); (Palomo dkk 1999).

Fly Ash

Abu terbang (*fly ash*) merupakan partikel halus sisa pembakaran batubara yang terbentuk dan kemudian diangkut oleh aliran udara panas selama proses tersebut berlangsung.. Karakteristik fisik *fly ash* tergantung dari kerapatan, kehalusan area permukaan, dan distribusi partikel untuk mengidentifikasi reaktivitas *fly ash* dengan semen sedangkan karakteristik kimia *fly ash* tergantung dari komposisi kimia, jenis mineral, dan fasa amorf di dalam *fly ash* (Ekaputri & Triwulan, 2013). *Fly Ash* adalah produk yang lebih murah daripada semen *portland*. *Fly Ash* juga dikenal meningkatkan *workability* dan mengurangi suhu internal. Peningkatan kemampuan kerja adalah hasil dari *"ball bearing"* aksi bola partikel *Fly Ash*. *Fly Ash* meningkatkan gradasi dalam campuran dengan merapikan distribusi ukuran partikel halus (Crouch, 2006).



Gambar 1. Micrograph *Fly Ash* Particles
Sumber : Optimizing the Using of Fly Ash in Concrete oleh Michael Thomas, Ph.D., P.Eng., Professor of Civil Engineering, University of New Brunswick.

Fly ash membutuhkan air dimana air berfungsi untuk mengoksidasi silika yang dikandung di dalam *fly ash* sehingga dapat bereaksi secara kimia. Dengan demikian, *fly ash* difungsikan dengan menggunakan

bahan Alkali Potassium Hidroksida (KOH) serta Sodium Silikat (Na_2SiO_3) sebagai aktivator sehingga terjadi proses polimerisasi yang kemudian mengikat agregat.

Air

Peranan air dalam pembuatan beton yaitu bereaksi dengan semen sehingga membentuk suatu pasta pengikat untuk menggabungkan agregat halus, agregat kasar, dan admixtures. Air secara langsung mempengaruhi daya kuat tekan beton, sifat kinerja adukan beton, besar kecilnya nilai susut beton, kelangsungan reaksi dengan semen, dan mendukung perawatan adukan beton untuk menjamin pengerasan yang sempurna. Syarat-syarat air yang bagus digunakan sebagai bahan pembuatan beton seperti tidak berlumpur lebih dari 2 gram/liter, tingkat keasamaanya diambang setandar dengan kadar garam kurang dari 15 gram/liter, dan tidak mengandung kloririda yang melebihi 0,5 gram/liter

Agregat Halus

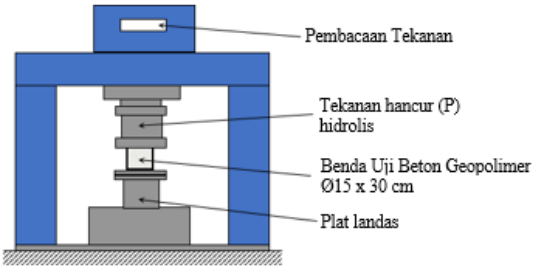
Agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan memiliki ukuran butir terbesar 5,0 mm. (SNI 03-2834: 2000)

Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan memiliki ukuran butir antara 5 mm – 40 mm. (SNI 03-2834: 2000)

Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut.penentuan kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder atau kubus.



Gambar 2 Skema Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer

Nilai kuat tekan beton dapat di hitung dengan persamaan berikut:

$$f'c = \frac{P}{A}$$

dimana :

$f'c$: Kuat tekan betin (N/mm^2)

P : Beban Maksimum (N)

A : Luas permukaan benda uji (mm^2)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Institut Teknologi Nasional Malang. Penelitian ini dimulai dari pengujian bahan, perancanaan campuran beton, pelaksanaan campuran beton, perawatan benda uji, dan pengujian benda uji. Jenis penelitian ini adalalah penelitian eksperimental.

Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan suatu tahapan yang digunakan dalam penelitian untuk mencapai hasil yang diinginkan. Studi penelitian ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

1. Studi pustaka, bertujuan untuk mengkaji hubungan antara variabel yang akan diteliti dengan mempelajari teori-teori yang ada untuk merumuskan hipotesis penelitian.
2. Studi eksperimen dilakukan di laboratorium bertujuan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan kemudian dianalisa sehingga didapatkan hasil akhir.
3. Pengujian kandungan silika fly ash di ambil dari (Mathofani, 2023) yang dilaksanakan di Laboratorium Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang

Populasi Dan Sampel

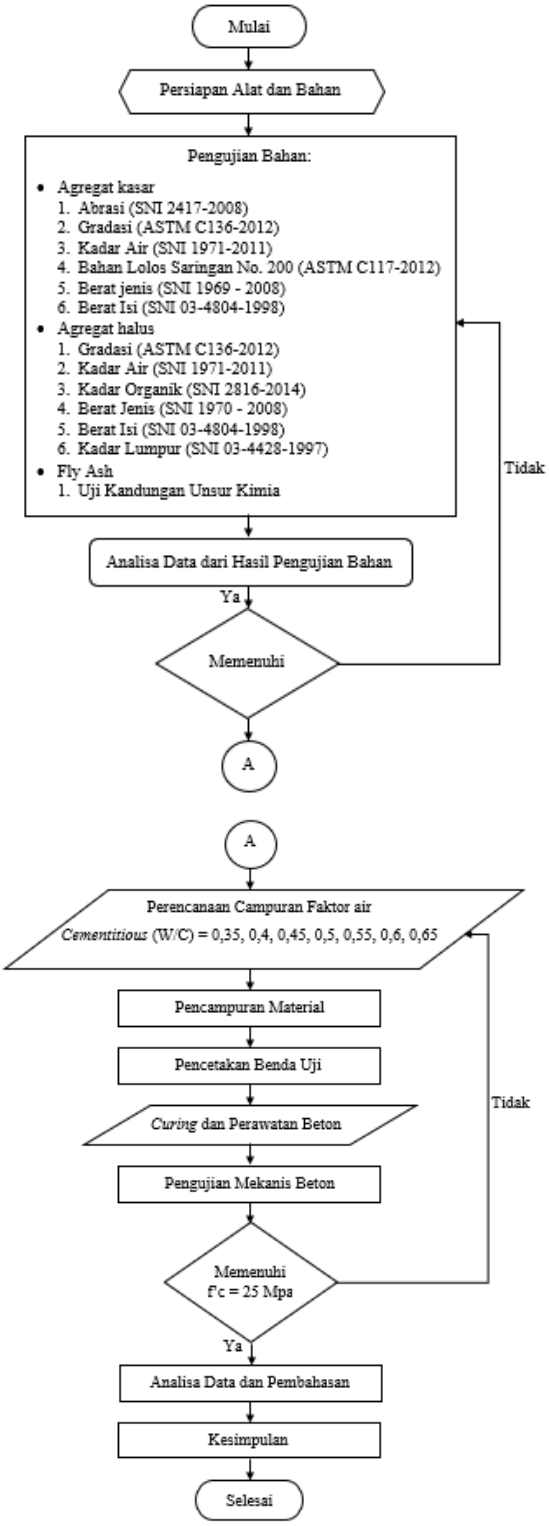
Pada penelitian ini populasi adalah keseluruhan benda uji yang akan diteliti,sedangkan sampel adalah benda uji yang mewakili sebagian dari anggota populasi. Ditentukan jumlah sampel dan variasi campuran benda uji sebagai berikut:

Tabel 1. Variasi Uji Kuat Tekan Beton

Jenis Pengujian	Faktor Air *Cementitious* (W/C)	Umur Pengujian		Jumlah Benda Uji
		3 Hari	7 Hari	
Kuat Tekan	0,35	2	3	5
Kuat Tekan	0,4	2	3	5
Kuat Tekan	0,45	2	3	5
Kuat Tekan	0,5	2	3	5
Kuat Tekan	0,55	2	3	5
Kuat Tekan	0,6	2	3	5
Kuat Tekan	0,65	2	3	5
Total				35

Sumber : Hasil Studi Eksperimen

Bagan Alir



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengujian dan perhitungan data kuat tekan rata rata pada umur 3 hari dan 7 hari dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 3 Hari

No	Faktor Air Cementitious (W/C)	Umur (Hari)	Kode	Berat (Kg)	Tekanan Hancur (KN)	Tekan Hancur Rill (Mpa)	Tekan Rata-Rata (MPa)
1	0,35	3	S1	13,22	497	29,37	28,42
2			S2	13,18	486	27,48	
3	0,4	3	S1	13,05	484	28,30	27,40
4			S2	13,52	478	26,51	
5	0,45	3	S1	13,42	423	23,66	25,62
6			S2	13,18	487	27,58	
7	0,5	3	S1	13,26	391	22,13	24,27
8			S2	13,41	472	26,42	
9	0,55	3	S1	13,33	405	22,67	22,19
10			S2	13,20	387	21,71	
11	0,6	3	S1	13,06	377	21,32	21,57
12			S2	13,34	391	21,82	
13	0,65	3	S1	13,17	307	17,28	17,94
14			S2	13,19	331	18,59	

Sumber : Hasil Penelitian

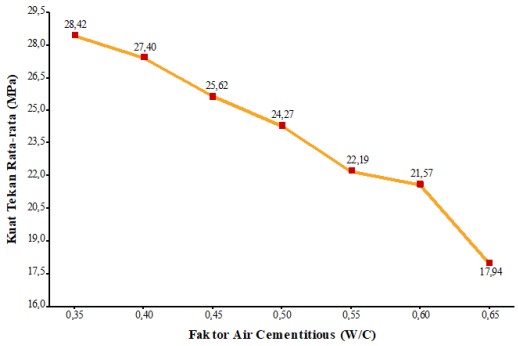
Tabel 3. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 7 Hari

No	Faktor Air Cementitious (W/C)	Umur (Hari)	Kode	Berat (Kg)	Tekanan Hancur (KN)	Tekan Hancur Rill (Mpa)	Tekan Rata-Rata (MPa)
1			S1	13,27	641	35,62	
2	0,35	7	S2	13,24	698	39,43	37,13
3			S3	13,55	648	36,33	
4			S1	13,25	620	34,38	
5	0,4	7	S2	13,14	553	30,41	32,67
6			S3	13,18	605	33,23	
7			S1	13,36	562	31,69	
8	0,45	7	S2	13,25	571	31,48	32,64
9			S3	13,18	619	34,75	
10			S1	13,08	574	32,30	
11	0,5	7	S2	13,10	520	29,14	32,54
12			S3	13,16	642	36,19	
13			S1	13,13	630	35,39	
14	0,55	7	S2	13,54	401	22,13	26,31
15			S3	13,12	380	21,41	
16			S1	13,13	480	27,06	
17	0,6	7	S2	13,06	418	23,68	25,47
18			S3	13,28	459	25,69	
19			S1	13,09	326	18,33	
20	0,65	7	S2	13,12	508	28,95	23,89
21			S3	13,29	434	24,40	

Sumber : Hasil Penelitian

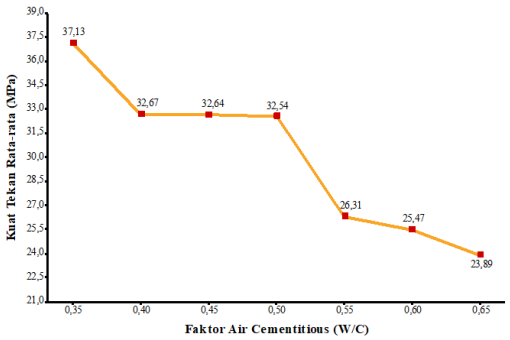
Grafik 1. Kuat Tekan Rata-Rata Beton Geopolimer Umur 3 Hari Dengan Faktor Air *Cementitious* (W/C) 0,35 Sampai 0,65

$$I = \frac{R_{24}}{24}\left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}}$$



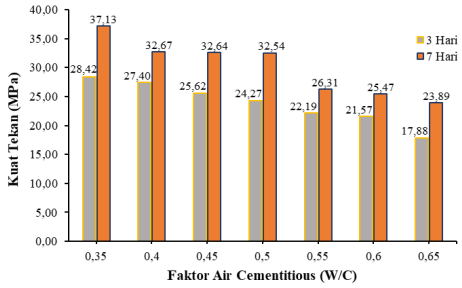
Sumber: Hasil Analisa

Grafik 2. Kuat Tekan Rata-Rata Beton Geopolimer Umur 7 Hari Dengan Faktor Air *Cementitious* (W/C) 0,35 Sampai 0,65



Sumber: Hasil Analisa

Grafik 3. Kuat Tekan Rata-Rata Beton Geopolimer Dengan Faktor Air *Cementitious* (W/C) 0,35 Sampai 0,65 Umur 3 Dan 7 Hari



Berdasarkan Grafik 2 dan 3, mengikuti hasil dari pengujian kuat tekan beton geopolimer. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa variasi faktor air *cementitious* (W/C) 0,35-0,65 mempengaruhi kuat tekan beton geopolimer. Penelitian ini mempelajari beton geopolimer berbasis *fly ash* dengan mengubah dua faktor utama: jumlah air (x) yang adalah campuran aktivator alkali berupa KOH dan Na_2SiO_3 (a+b). *Fly ash* dan agregat yang jumlahnya tidak diubah berfungsi sebagai bahan dasar yang stabil, sehingga hasil penelitian benar-benar menunjukkan efek dari variasi faktor air *cementitious* (W/C) dan aktivator alkali saja. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan faktor air *cementitious* (W/C) dan kebutuhan aktivator alkali menurunkan kuat tekan, seperti terlihat pada Grafik 4.22, dimana umur beton juga memengaruhi nilai kuat tekannya.

Pengujian Interval Kepercayaan

Pengujian interval kepercayaan dilaksanakan guna memberikan jaminan statistik terhadap validitas data kuat tekan beton yang telah dikumpulkan. Pengujian ini menggunakan selang kepercayaan 95%. Artinya data yang reliabel sebesar 95%, sedangkan sisanya (5%) merupakan toleransi kesalahan yang diizinkan. Pada Tabel 4 dan Tabel 6 menunjukkan data uji kuat tekan umur 3 dan 7 hari yang diuji interval kepercayaannya.

Tabel 4. Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 3 Hari

Faktor Air Cementitious (W/C)	Kuat Tekan (MPa)		Umur (Hari)	$\bar{x}_{Tekan}$
	S1	S2		
0,35	29,37	27,48	3	28,42
0,4	28,30	26,51	3	27,40
0,45	23,66	27,58	3	25,62
0,5	22,13	26,42	3	24,27
0,55	22,67	21,71	3	22,19
0,6	21,32	21,82	3	21,57
0,65	17,28	18,59	3	17,94

Sumber : Hasil Penelitian

Nilai rentang interval kepercayaan untuk kuat tekan beton geopolimer berumur 3 hari pada setiap variasi faktor air *cementitious* (W/C) dihitung dengan memanfaatkan program bantu Minitab. Hasil perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Interval Kepercayaan Beton Geopolimer Umur 3 Hari

Sample	*N*	*Mean*	*StDev*	*SE Mean*	*95% CI for μ*
KT 3 Hari 0.35	2	28.422	1.334	0.943	(16.44 < μ < 40.41)
KT 3 Hari 0.4	2	27.404	1.269	0.897	(16.00 < μ < 38.81)
KT 3 Hari 0.45	2	25.625	2.772	1.960	(0.72 < μ < 50.53)
KT 3 Hari 0.5	2	24.272	3.033	2.145	(2.98 < μ < 51.53)
KT 3 Hari 0.55	2	22.187	0.678	0.480	(16.09 < μ < 28.28)
KT 3 Hari 0.6	2	21.566	0.354	0.250	(18.39 < μ < 24.74)
KT 3 Hari 0.65	2	17.936	0.926	0.655	(9.62 < μ < 26.26)

Sumber: Minitab 19 Statistical Software

Tabel 6. Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 7 Hari

Faktor Air Cementitious (W/C)	Kuat Tekan (MPa)			Umur (Hari)	$\bar{x}_{Tekan}$
	S1	S2	S3		
0,35	35,62	39,43	36,33	7	37,13
0,4	34,38	30,41	33,23	7	32,67
0,45	31,69	31,48	34,75	7	32,64
0,5	32,30	29,14	36,19	7	32,54
0,55	35,39	22,13	21,41	7	26,31
0,6	27,06	23,68	25,69	7	25,47
0,65	18,33	28,95	24,40	7	23,89

Sumber : Hasil Penelitian

Nilai rentang interval kepercayaan untuk kuat tekan beton geopolimer berumur 7 hari pada setiap variasi faktor air *cementitious* (W/C) dihitung dengan memanfaatkan program bantu Minitab. Hasil perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Interval Kepercayaan Beton Geopolimer Umur 7 Hari

Sample	*N*	*Mean*	*StDev*	*SE Mean*	*95% CI for μ*
KT 7 Hari 0.35	3	37.129	2.025	1.169	(32.10 < μ < 42.16)
KT 7 Hari 0.4	3	32.673	2.042	1.179	(27.60 < μ < 37.75)
KT 7 Hari 0.45	3	32.642	1.830	1.056	(28.10 < μ < 37.19)
KT 7 Hari 0.5	3	32.542	3.529	2.037	(23.78 < μ < 41.31)
KT 7 Hari 0.55	3	26.308	7.869	4.543	(6.76 < μ < 45.86)
KT 7 Hari 0.6	3	25.474	1.700	0.981	(21.25 < μ < 29.70)
KT 7 Hari 0.65	3	23.893	5.332	3.078	(10.65 < μ < 37.14)

Sumber: Minitab 19 Statistical Software

Data yang diterima dan ditolak disortir menurut range interval kepercayaan yang disebutkan sebelumnya, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 8 dan 9.

Tabel 9. Hasil Pengujian Interval Kepercayaan Pada Beton Geopolimer Umur 7 Hari

Kode	Faktor Air Cementitious (W/C)	Kuat Tekan (MPa)	Interval Kepercayaan	Keterangan	$\bar{x}_{Tekan}$ (MPa)
S1	0,35	29,37	(16.44 < μ < 40.41)	Memenuhi	28,42
S2		27,48		Memenuhi	
S1	0,4	28,30	(16.00 < μ < 38.81)	Memenuhi	27,40
S2		26,51		Memenuhi	
S1	0,45	23,66	(0.72 < μ < 50.53)	Memenuhi	25,62
S2		27,58		Memenuhi	
S1	0,5	22,13	(2.98 < μ < 51.53)	Memenuhi	24,27
S2		26,42		Memenuhi	
S1	0,55	22,67	(16.09 < μ < 28.28)	Memenuhi	22,19
S2		21,71		Memenuhi	
S1	0,6	21,32	(18.39 < μ < 24.74)	Memenuhi	21,57
S2		21,82		Memenuhi	
S1	0,65	17,28	(9.62 < μ < 26.26)	Memenuhi	17,94
S2		18,59		Memenuhi	

Sumber : Hasil Penelitian

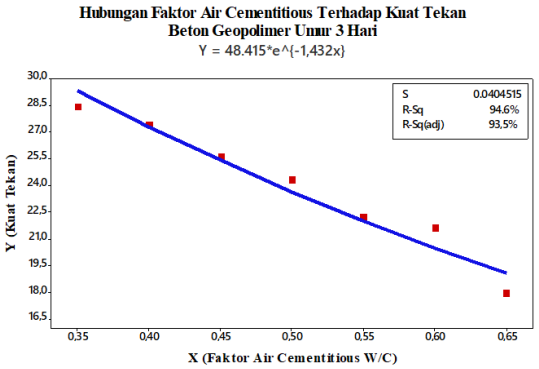
Tabel 9. Hasil Pengujian Interval Kepercayaan Pada Beton Geopolimer Umur 7 Hari

Kode	Faktor Air Cementitious (W/C)	Kuat Tekan (MPa)	Interval Kepercayaan	Keterangan	$\bar{x}_{Tekan}$ (MPa)
S1	0,35	35,62	(32.10 < μ < 42.16)	Memenuhi	37,13
S2		39,43		Memenuhi	
S3		36,33		Memenuhi	
S1	0,4	34,38	(27.60 < μ < 37.75)	Memenuhi	32,67
S2		30,41		Memenuhi	
S3		33,23		Memenuhi	
S1	0,45	31,69	(28.10 < μ < 37.19)	Memenuhi	32,64
S2		31,48		Memenuhi	
S3		34,75		Memenuhi	
S1	0,5	32,30	(23.78 < μ < 41.31)	Memenuhi	32,54
S2		29,14		Memenuhi	
S3		36,19		Memenuhi	
S1	0,55	35,39	(6.76 < μ < 45.86)	Memenuhi	26,31
S2		22,13		Memenuhi	
S3		21,41		Memenuhi	
S1	0,6	27,06	(21.25 < μ < 29.70)	Memenuhi	25,47
S2		23,68		Memenuhi	
S3		25,69		Memenuhi	
S1	0,65	18,33	(10.65 < μ < 37.14)	Memenuhi	23,89
S2		28,95		Memenuhi	
S3		24,40		Memenuhi	

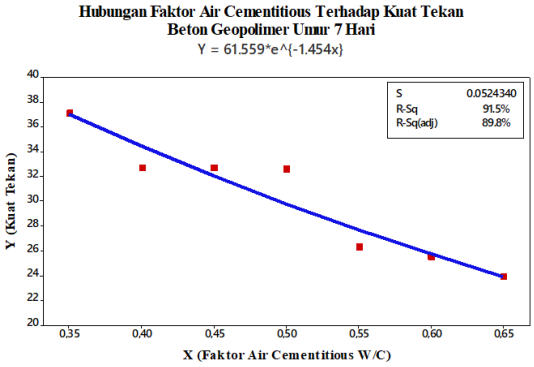
Sumber : Hasil Penelitian

Analisa Regresi

Setelah data kuat tekan beton geopolimer disortir melalui uji interval kepercayaan, analisis dilakukan untuk menentukan hubungan antara variasi faktor air *cementitious* (W/C) dan nilai kuat tekan beton geopolimer. Analisa regresi adalah analisis yang mengkaji hubungan antara data yang terdiri dari dua variabel atau lebih. Data kuat tekan rata-rata beton geopolimer dimasukkan ke dalam program minitab, dan kemudian diproses. Pengolahan data kuat tekan pada minitab menghasilkan nilai R^2 dan persamaan y dengan menggunakan opsi regresi non-linear untuk memunculkan grafik eksponensial, dimana *axis* y merupakan nilai dari kekuatan tekan rata-rata dan *axis* x merupakan variasi faktor air *cementitious* (W/C) pada beton geopolimer.



Grafik 4. Hasil Analisa Regresi Umur 3 Hari (Minitab 19 *Statistical Software*)



Grafik 5. Hasil Analisa Regresi Umur 7 Hari (Minitab 19 *Statistical Software*)

Berdasarkan Grafik 4, didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) pada analisa regresi umur 3 hari sebesar 94,60% atau 0,9460 dengan nilai persamaan y = $48{,}415e^{-1{,}432x}$. Sedangkan pada Grafik 5, didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) pada analisa regresi umur 7 hari sebesar 91,51% atau 0,9151 dengan nilai persamaan y = $61{,}559e^{-1{,}454x}$.

5. KESIMPULAN

1. Penggunaan *fly ash* dapat digunakan sebagai alternatif pengganti semen, dengan

menggunakan aktivator potassium hidroksida (KOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3) karena senyawa kimia tersebut dapat mengaktifkan kandungan silika dan alumina sehingga memiliki kemampuan mengikat seperti semen.

2. Penelitian ini mempelajari beton geopolimer berbasis *fly ash* dengan mengubah dua faktor utama: jumlah air (x) yang adalah campuran aktivator alkali berupa KOH dan Na_2SiO_3 (a+b). *Fly ash* dan agregat yang jumlahnya tidak diubah berfungsi sebagai bahan dasar yang stabil, sehingga hasil penelitian benar-benar menunjukkan efek dari variasi faktor air *cementitious* (W/C) dan aktivator alkali saja.
3. Pengguanaan fly ash dengan variasi faktor air *cementitious* (W/C) 0,35 sampai 0,65 berpengaruh terhadap kuat tekan beton geopolimer yang dihasilkan, hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer pada umur 3 hari pada faktor air *cementitious* (W/C) 0,35 sebesar 28,42 MPa, (W/C) 0,4 sebesar 27,40 MPa, (W/C) 0,45 sebesar 25,62 MPa, (W/C) 0,5 sebesar 24,27 MPa, (W/C) 0,55 sebesar 22,19 MPa, (W/C) 0,6 sebesar 21,57 MPa, (W/C) 0,65 sebesar 17,88 MPa, dan pada umur beton 7 hari pada faktor air *cementitious* (W/C) 0,35 sebesar 37,13 MPa, (W/C) 0,4 sebesar 32,67 MPa, (W/C) 0,45 sebesar 32,64 MPa, (W/C) 0,5 sebesar 32,54 MPa, (W/C) 0,55 sebesar 26,31 MPa, (W/C) 0,6 sebesar 25,47 MPa, (W/C) 0,65 sebesar 23,89 MPa. Berdasarkan hasil pengujian hipotesis dan analisis regresi, ditemukan bahwa t_{hitung} lebih besar $t_{tabel(0,025;5)}$ (6,525 > 2,571) dengan koefisien determinasi (R^2) = 94,60%. Koefisien determinasi menunjukkan bahwa variasi faktor air *cementitious* (W/C) mempengaruhi 94,60% kuat tekan beton geopolimer.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim SNI 03-2847-2002, A. S. (2002). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002. *Bandung: Badan Standardisasi Nasional*, 251.

Anonim SNI 1969:2008, A. S. (2008). SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 20.

Anonim SNI 1970:2008. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 7–18.

Anonim SNI 1971:2011. (2011). "Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan." *Badan Standarisasi Nasional*, 1–11.

Anonim SNI 2417 - 2008. (2008). Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–20.

Ash, F. (2024). *Studi Penelitian Faktor Air Cementitious (W / C) 0 , 35 – 0 , 65 Pada Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash (Batu Bara) Berdasarkan*. *X*(X), 1–10.

Cheng, T. W., & Chiu, J. P. (2003). Fire-resistant geopolymer produced by granulated blast furnace slag. *Minerals Engineering*, *16*(3), 205–210.

Cioffi, R., Maffucci, L., & Santoro, L. (2003). Optimization of geopolymer synthesis by calcination and polycondensation of a kaolinitic residue. *Resources, Conservation and Recycling*, *40*(1), 27–38.

Cioffi, R., Maffucci, L., & Santoro, L. (2003). Optimization of geopolymer synthesis by calcination and polycondensation of a kaolinitic residue. *Resources, Conservation and Recycling*, *40*(1), 27–38.

Criado, M., Palomo, A., & Fernández-Jiménez, A. (2005). Alkali activation of fly ashes. Part 1: Effect of curing conditions on the carbonation of the reaction products. *Fuel*, *84*(16), 2048–2054.

Davidovits, J. (1994). Properties of Geopolymer Cements. *First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*, 131–149.

Davidovits, J. (2011). Application of Ca-based geopolymer with blast furnace slag , a review. *Proceeding of the Second International Slag Valorisation Symposium, April 2011*, 33–49.

Duxson, P., Fernández-Jiménez, A., Provis, J. L., Lukey, G. C., Palomo, A., & Van Deventer, J. S. J. (2007). Geopolymer technology: The current state of the art. *Journal of Materials Science*, *42*(9), 2917–2933.

Ekaputri, J. J., & Triwulan, T. (2013). Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer. *Jurnal Teknik Sipil*, *20*(1), 1.

Fajri, F. M., & Sumabrata, R. J. (2017). Pemanfaatan Abu Terbang (Fly-Ash) Dan Silica Fume Sebagai Bahan Utama Geopolimer Alternatif Pengganti Semen Tradisional (Opc). *Prosiding Simposium II -UNIID 2017*, *1978*(September), 450–456.

Joseph, D. (2008). Geopolymer CHemistry and Applications, 5th edition. In *J. Davidovits.– Saint-Quentin, France* (Vol. 1, Issue January 2008).

Kong, D. L. Y., Sanjayan, J. G., & Sagoe-Crentsil, K. (2007). Comparative performance of geopolymers made with metakaolin and fly ash after exposure to elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*, *37*(12), 1583–1589.

Lloyd, N. A., & Rangan, B. V. (2010). Geopolymer concrete with fly ash. *2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, *January 2010*, 1493–1504.

Mathofani, A., Priskasari, I. E., & Aditama, V. (2019). Pengaruh Penggunaan Abu Ampas Tebu Dan Silica Fume Terhadap Kekuatan Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash. *Student Journal GELAGAR*, *X*(X), 1–8.

Olivia, M. (2015). Geopolimer Sebagai Material Infrastruktur Berkelanjutan Di Lingkungan Gambut. *Annual Civil Engineering Seminar*, *1*(1), 6.

Phair, J. W., & Van Deventer, J. S. J. (2001). Effect of silicate activator pH on the leaching and material characteristics of waste-based inorganic polymers. *Minerals Engineering*, *14*(3), 289–304.

Phair, J. W., & Van Deventer, J. S. J. (2002). Effect of the silicate activator pH on the microstructural characteristics of waste-based geopolymers. *International Journal of Mineral Processing*, *66*(1–4), 121–143.

Provis, J. L., & van Deventer, J. S. J. (2007). Geopolymerisation kinetics. 2. Reaction kinetic modelling. *Chemical Engineering Science*, *62*(9), 2318–2329.

Setiawati, M. (2018). Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2018* , 1–8.

Siyal, A. A., Azizli, K. A., Man, Z., Ismail, L., & Khan, M. I. (2016). Geopolymerization kinetics of fly ash based geopolymers using JMAK model. *Ceramics International*, *42*(14), 15575–15584.

Szecsy, R. (2006). Using high-volume fly ash concrete. *Concrete Construction - World of Concrete*, *51*(1), 73–82.

Turner, L. K., & Collins, F. G. (2013). Carbon dioxide equivalent (CO2-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete. *Construction and Building Materials*, *43*, 125–130.

Yuanda, D., Fadli, A., Program, M., Teknik, S., Jurusan, D., Kimia, T., Teknik, F., & Riau, U. (2013). *Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (Fly Ash) Batubara Sebagai Bahan Pembuatan Beton Geopolimer*. 1–7.