STUDI PENELITIAN FAKTOR AIR *CEMENTITIOUS* (W/C) PADA BETON GEOPOLIMER BERBASIS *FLY ASH* TERHADAP KUAT TEKAN

Said Ubaidillah Awad[1], Mohammad Erfan[2], dan Hadi Surya Wibawanto Sunarwadi[3]

[1]Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Bendungan Sengguruh No. 15
Email: ubaidillahbamualim@gmail.com
[2] Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang,Jl. Parikesit 45 Malang
Email: mohammaderfan@gmail.com
[3] Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang,Jl. Parikesit 45 Malang
Email: hadisuryawibawantosunarwadi@gmail.com

ABSTRACT

Geopolymer concrete is concrete that does not use portland cement, but a material rich in silica (SiO_2) and alumina (Al_2O_3) that reacts with alkaline solutions such as potassium hydroxide (KOH) and sodium silicate (Na_2SiO_3) to form alternative cement binders. Various studies on geopolymer concrete have been conducted, but some still use the concept of the cementitious water factor (W/C) of normal concrete. Even though geopolymer concrete has different characteristics so that the use of the W/C factor of normal concrete is not appropriate. The W/C factor greatly affects the quality of concrete, especially in mix design. This study aims to provide further information on the effect of W/C variation on geopolymer concrete with a value of 0.70; 0,75; 0,80; 0,85; 0,90; 0,95; and 1. Compressive strength testing was performed at 3 and 7 days of age. The results on 3 days showed a decrease in compressive strength as the W/C increased, from 17.88 MPa (W/C 0.70) to 5.54 MPa (W/C 1). At 7 days of age, a similar pattern occurred, from 23.74 MPa (W/C 0.70) to 9.42 MPa (W/C 1). This proves that the greater the W/C value, the lower the compressive strength of the concrete, but as it ages, the strength of the concrete increases.

Keywords: Geopolymer concrete, fly ash, cementitious water factor (W/C)

ABSTRAK

Beton geopolimer merupakan beton yang tidak menggunakan semen portland, melainkan bahan kaya akan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) yang bereaksi dengan larutan alkali seperti kalium hidroksida (KOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) untuk membentuk pengikat alternatif semen. Berbagai penelitian tentang beton geopolimer telah dilakukan, namun sebagian masih memakai konsep faktor air cementitious (W/C) beton normal. Padahal beton geopolimer memiliki karakteristik berbeda sehingga penggunaan faktor W/C beton normal kurang tepat. Faktor W/C sangat memengaruhi mutu beton, khususnya dalam perancangan campuran (mix design). Penelitian ini bertujuan memberikan informasi lebih lanjut mengenai pengaruh variasi W/C pada beton geopolimer dengan nilai 0,70; 0,75; 0,80; 0,85; 0,90; 0,95; dan 1. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3 dan 7 hari. Hasil pada 3 hari menunjukkan penurunan kuat tekan seiring meningkatnya W/C, yakni dari 17,88 MPa (W/C 0,70) hingga 5,54 MPa (W/C 1). Pada umur 7 hari, pola serupa terjadi, dari 23,74 MPa (W/C 0,70) menjadi 9,42 MPa (W/C 1). Hal ini membuktikan bahwa semakin besar nilai W/C, semakin rendah kuat tekan beton, namun seiring bertambahnya umur, kekuatan beton meningkat.

Kata kunci: Beton geopolimer, fly ash, faktor air cementitious (W/C)

1. PENDAHULUAN

Beton adalah salah satu bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam berbagai proyek pembangunan, mulai dari konstruksi gedung, jalan, hingga infrastruktur lainnya. Seiring dengan peningkatan permintaan beton di seluruh dunia, muncul pula perhatian terhadap dampak lingkungan dari bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan beton, terutama semen *portland*, yang menjadi bahan utama dalam pembuatan beton konvensional. Proses pembuatan semen *portland* menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2) yang tinggi dan berkontribusi pada perubahan iklim global, dalam upaya mengurangi dampak lingkungan tersebut, beton geopolimer menjadi alternatif yang menjanjikan.

Beton geopolimer adalah beton yang tidak menggunakan semen *portland* dalam produksinya. Beton geopolimer terbuat dari bahan-bahan yang

bersifat alamiah atau limbah industri. *Fly ash* atau abu terbang merupakan hasil sisa pembakaran batu bara yang pada umumnya dihasilkan dari PLTU namun memiliki potensi yang besar untuk digunakan dalam pembuatan beton geopolimer, karena mengandung silika (SiO_2) dan alumina (AI_2O_3) yang dapat bereaksi dengan cairan alkali untuk membentuk bahan pengikat pengganti semen.

Dalam pembuatan beton geopolimer, larutan alkali yang terdiri dari kalium hidroksida (KOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) berfungsi sebagai aktivator. Larutan ini berperan penting dalam memicu proses polimerisasi, sehingga terbentuk ikatan yang memberikan kekuatan pada beton. Namun demikian, kualitas beton geopolimer dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah faktor air *cementitious* (W/C).

Faktor air *cementitious* (W/C) adalah rasio antara jumlah air dan jumlah pengikat dalam campuran beton. Nilai W/C yang tepat sangat menentukan keluwesan, kepadatan, dan kekuatan tekan beton. Pada beton konvensional nilai W/C yang rendah umumnya menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang lebih tinggi, sementara nilai yang terlalu tinggi dapat menyebabkan beton menjadi lebih poros dan mengurangi kekuatannya. Pada beton geopolimer pengaruh variasi W/C juga sangat penting, terutama dalam menentukan laju polimerisasi dan kekuatan akhir beton.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Beton Geopolimer

Beton geopolimer merupakan bahan ramah lingkungan yang dikembangkan sebagai alternatif pengganti beton semen di masa depan. Geopolimer merupakan campuran beton dimana penggunaan semen *portland* sebagai pengikat digantikan oleh bahan lain yang mengandung aluminium dan silika seperti *fly ash*, abu bekatul, AV (abu vulkanik). (Davidovits, 1997).

Pembentukan beton geopolimer membutuhkan cairan alkalin untuk mereaksikan unsur silikat dan aluminat dalam *fly ash*. Davidovits (1999) menyatakan proses polimerisasi dalam beton geopolimer meliputi reaksi kimia antara larutan alkalin dengan mineral Si – Al, sehingga menghasilkan rantai polimer 3 dimensi dan ikatan struktur Si – O – Al – O yang konsisten. Pengikat semen alternatif yang disebut "geopolimer", terdiri dari *fly ash* yang diaktifkan alkali, telah dianggap sebagai pengganti OPC (*ordinary portland cement*). geopolimer pertama kali dijelaskan oleh davidovits sebagai bahan nonnorganik yang mengandung banyak silika (Si) dan aluminium (Al) yang bereaksi dengan basa alkali-aktivator sehingga membentuk semen. (Turner & Collins, 2013)

Perbedaaan beton biasa dengan beton geopolimer dalam proses pembuatannya adalah terletak pada bahan pengikat (binder). Pada beton biasa air dan semen *portland* adalah bahan utama yang dijadikan bahan pengikat agregat kasar dan agregat halus pada proses pembuatannya. Untuk beton geopolimer aluminium dan silika yang terdapat pada *fly ash* bereaksi dengan cairan alkali membentuk pasta geopolimer sebagai pengikat antara agregat halus, agregat kasar dan bahan pembentuk beton geopolimer lainnya. Proses polimerisasi akan terjadi pada binder dan mengeras. (Lloyd & Rangan, 2010)

Material yang digunakan sebagai penyusun beton geopolimer pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan material penyusun beton pada umumnya. Material dasar beton geopolimer yaitu agregat kasar, agregat halus, abu terbang (*fly ash*), air, dan alkali aktivator.

Agregat Kasar

Agregat kasar dapat berupa kerikil alam ataupun batu pecah, hasil pemecahan batu gunung dengan alat pemecah batu.

Agregat Halus

Menurut (SNI 03-2834-2002), agregat halus merupakan pasir alam hasil desintegrasi alami dari batu maupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm.

Abu Terbang (*Fly Ash*)

Menurut (SNI 2460-2014), abu terbang (*fly ash*) adalah residu halus yang tercipta akibat adanya pembakaran atau penggilingan batu bara yang di transportasikan melalui aliran udara panas. *Fly ash* merupakan salah satu limbah yang dihasilkan pada pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). *Fly ash* memiliki partikel yang berbentuk bulat, sehingga dapat membantu meningkatkan kelecakan atau mempermudah proses pembuatannya.

Penggunaan dari *fly ash* memiliki kelebihan dimana memiliki mutu yang berkualitas sehingga dapat meningkatkan ketahan beton pada lingkungan yang bersifat asam dengan senyawa sulfat yang tinggi. *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 KOH serta Natrium Silikat (Na2SiO3) sebagai aktivator sehingga terjadi proses polimerisasi yang kemudian mengikat agregat. *Fly ash* memiliki persyaratan kimia dan persyaratan fisik yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2

Tabel 2.1 Persyaratan Kimia *Fly Ash*

Uraian	Kelas		
	N (%)	F (%)	C (%)
SiO_2 +Al_2O_3 + Fe_2O_3, min	70	70	50
SO_3, maks	4	5	5
Kadar air, maks	3	3	3
Hilang pijar, maks	10	6	6

Sumber: (SNI 2460-2014)

Tabel 2.2 Persyaratan Fisik *Fly Ash*

Uraian	Kelas		
	N (%)	F (%)	C (%)
Kehalusan: Jumlah yang tertinggal diatas ayakan 45 µm (No. 325), diayak secara basah, maks	34	34	34
Indeks aktifitas kekuatan: Dengan semen *portland*, pada umur 7 hari, min, persen kontrol	75	75	75
Dengan semen *portland*, pada 28 hari, min, persen kontrol	75	75	75
Kebutuhan air, maks, persen kontrol	115	105	105
Kekekalan bentuk (*Soundness*): Ekspansi atau penyusutan dengan autoclave, maks	0,8	0,8	0,8

Sumber: (SNI 2460-2014)

Fly ash yang digunakan untuk membuat beton geopolymer umunya menggunakan tipe F dan tipe C karena keduanya terdapat kandungan CaO yang rendah serta kandungan Si dan Al lebih dari 50% karena kandungan tersebut merupakan unsur utama dalam proses terjadinya geopolimerisasi.

Air

Dalam proses pembuatan beton diperlukan hal yang utama yaitu air, air yang digunakan harus memenuhi persyaratan SNI 03-2847-2002, air yang dapat digunakan adalah air yang bersih, dapat diminum, tidak berasa, tidak berbau, tidak menggandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, dan bahan lainnya yang dapat merugikan beton.

Alkali Aktivator

Aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Alkali aktivator yang digunakan dalam beton geopolimer biasanya dari hidroksil, biasanya natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dan silikat kaca yang terdiri dari natrium silikat (Na_2SiO_3) atau kalium silikat (K_2SiO_3) yang paling utama biaya dan ketersediaan. (Turner & Collins, 2013)

Faktor Air Semen

Faktor air semen (FAS) atau *water cement ratio* (WCR) adalah indikator yang penting dalam perancangan campuran beton karena FAS merupakan perbandingan jumlah air terhadap jumlah semen dalam suatu campuran beton.

Perawatan Benda Uji (*Curing*)

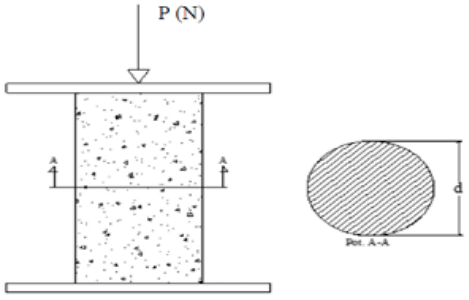
Perawatan merupakan suatu pekerjaan untuk mempertahankan kualitas yang dihasilkan setelah proses pengecoran dengan cara menjaga kadar air dan mengurangi penyusutan volume (*shrinkage*).

Uji Kuat Tekan

Kuat Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur apabila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah (SNI 1974-2011) dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{kuat\ tekan\ beton} = \frac{\boldsymbol{P}}{\boldsymbol{A}} (\boldsymbol{N/mm^2})$$

Keterangan:
P = Beban (N)
A = Luas permukaan (mm^2)



Gambar 2.1 Uji Kuat Tekan Beton
Sumber: (Suwarjo, C. D. N, 2024)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Studi penelitian ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu:

1. Studi pustaka, bertujuan untuk menelaah hubungan antara variabel yang akan diteliti dengan mempelajari teori-teori yang ada, guna merumuskan hipotesis penelitian.
2. Studi Eksperimen, dilakukan di laboratorium untuk mengumpulkan data yang dibutuhkan. Data tersebut kemudian dianalisis secara statistik untuk menguji hipotesis, sehingga dapat diperoleh kesimpulan akhir. Adapun langkah-langkah penelitian pada studi eksperimen adalah sebagai berikut:
   a. Pemeriksaan kandungan kimia pada *fly ash*

Tabel 3.1 Komposisi Kimia *Fly Ash* Tipe C (PLTU Paiton)

No	Coumpound	Hasil Uji
1	Al_2O_3	11,00 %
2	SiO_2	25,30%
3	SO_3	0,60%
4	K_2O	1,40%
5	CaO	30,06%
6	TiO_2	1,46%
7	V_2O_5	0,05%
8	Cr_2O_3	0,077%
9	MnO	0,49%
10	Fe_2O_3	25,60%
11	NiO_2	0,05%
12	CuO	0,062%
13	ZnO	0,02%
14	SrO	0,94%
15	ZrO_2	0,10%
16	MoO_3	0,80%
17	In_2O_3	0,10%
18	BaO	0,55%
19	Eu_2O_3	0,20%
20	Yb_2O_3	0,02%

*Sumbe*r: (Hasil Analisa Pada Lab. FMIPA UM Mathofani, 2023)

   b. Pemeriksaan berat isi agregat halus dan agregat kasar
   c. Analisa saringan agregat halus dan agregat kasar
   d. Pemeriksaan bahan lewat saringan No. 200 agregat halus
   e. Pemeriksaan kadar organik agregat halus
   f. Pemeriksaan kadar lumpur dalam agregat halus
   g. Pemeriksaan kadar air agregat halus dan agregat kasar
   h. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus dan agregat kasar
   i. Pemeriksaan berat jenis *fly ash*
   j. Pengujian keausan agregat kasar (abrasi test) dengan menggunakan alat *Los Angeles*
   k. Pengujian Pemeriksaan Konsistensi Normal *Fly Ash*
   l. Pengujian Penentuan Waktu Pengikatan *Fly Ash*
   m. Perencanaan campuran beton
   n. Pembuatan larutan alkali aktivator
   o. Pencampuran larutan aktivator dengan material pengikat
   p. Pengujian *Slump*
   q. Perawatan benda uji
   r. Pengujian benda uji
   s. Analisa data

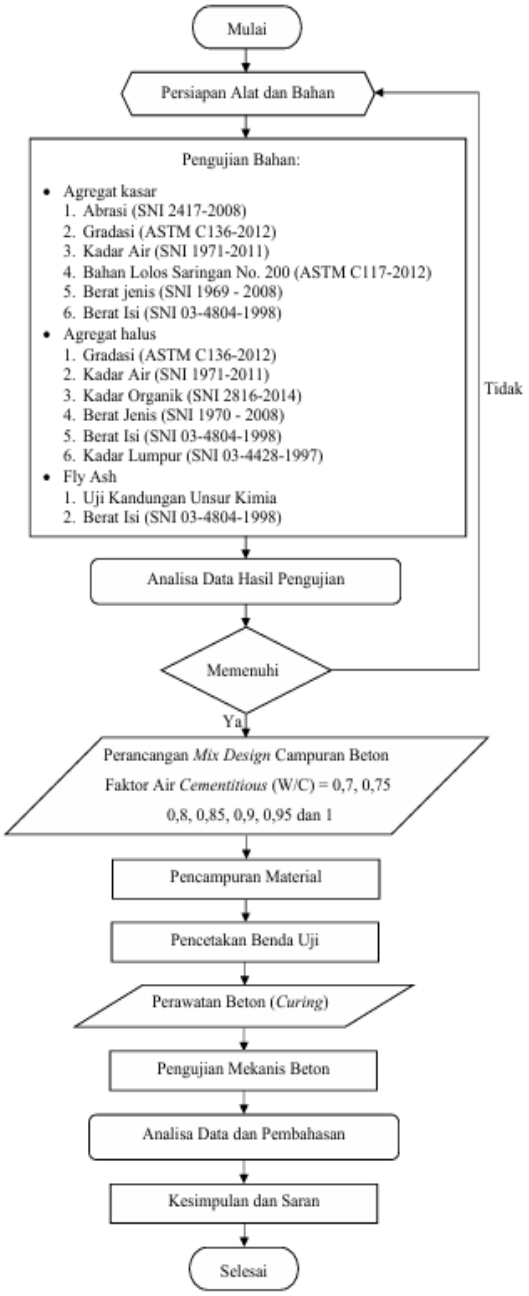
Populasi dan Sampel

Tabel 3.1 Variasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian	Umur (hari)	Faktor Air *Cementitious* (W/C)	Dimensi Sampel (cm)	Jumlah Sampel (buah)
Kuat Tekan	3	0,7	Silinder 15x30	2
Kuat Tekan	3	0,75	Silinder 15x30	2
Kuat Tekan	3	0,8	Silinder 15x30	2
Kuat Tekan	3	0,85	Silinder 15x30	2
Kuat Tekan	3	0,9	Silinder 15x30	2
Kuat Tekan	3	0,95	Silinder 15x30	2
Kuat Tekan	3	1,0	Silinder 15x30	2
Kuat Tekan	7	0,7	Silinder 15x30	3
Kuat Tekan	7	0,75	Silinder 15x30	3
Kuat Tekan	7	0,8	Silinder 15x30	3
Kuat Tekan	7	0,85	Silinder 15x30	3
Kuat Tekan	7	0,9	Silinder 15x30	3
Kuat Tekan	7	0,95	Silinder 15x30	3
Kuat Tekan	7	1,0	Silinder 15x30	3
Total				35

Sumber: Analisis Penulis

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian
Sumber:Hasil Analisa

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Campuran Beton

Penelitian ini menggunakan metode perancangan campuran berdasarkan SNI 03-2834-2000.
Data Perencanaan:

- F'c rencana: 25 MPa
- Ukuran agregat kasar maksimum: 25 mm
- Zona agregat halus: Zona II
- Volume campuran beton: < 1000 m^3
- Jenis agregat kasar Dipecah
- Bj agregat halus kondisi SSD: 2,72
- Bj agregat kasar kondisi SSD: 2,70
- Faktor Air *Cementitious* (W/C): 0,7, 0,75, 0,8, 0,85, 0,9, 0,95, dan 1

Komposisi Akhir Campuran Beton Geopolimer

Hasil komposisi akhir campuran beton geopolimer dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.1 Komposisi Akhir Campuran Beton Geopolimer Kondisi Lapangan per m^3

No	Variasi Faktor Air *Cementitious* (W/C)	Bahan				
		Fly Ash (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	KOH (kg)	Na_2SiO_3 (kg)
1	0,7	285,71	856,29	1099,02	56,51	169,52
2	0,75	266,67	879,92	1095,33	56,73	170,19
3	0,8	250,00	897,64	1094,93	56,89	170,67
4	0,85	235,29	919,78	1088,35	57,10	171,31
5	0,9	222,22	941,37	1080,66	57,31	171,93
6	0,95	210,53	957,30	1077,03	57,46	172,39
7	1	200,00	972,79	1072,66	57,67	173,03
Total		1670,42	6425,09	7607,98	399,67	1199,04

Sumber: Hasil Analisa

Tabel 4.2 Komposisi Akhir Campuran Beton Geopolimer Kondisi Lapangan Untuk Benda Uji 5 Silinder 15 x 30 cm

No	Variasi Faktor Air *Cementitious* (W/C)	Bahan				
		Fly Ash (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	KOH (kg)	Na_2SiO_3 (kg)
1	0,7	9,24	27,69	35,54	1,83	5,48
2	0,75	8,62	28,46	35,42	1,83	5,50
3	0,8	8,08	29,03	35,41	1,84	5,52
4	0,85	7,61	29,74	35,20	1,85	5,54
5	0,9	7,19	30,44	34,95	1,85	5,56
6	0,95	6,81	30,96	34,83	1,86	5,57
7	1	6,47	31,46	34,69	1,87	5,60
Total		54,02	207,78	246,04	12,93	38,77

Sumber: Hasil Analisa

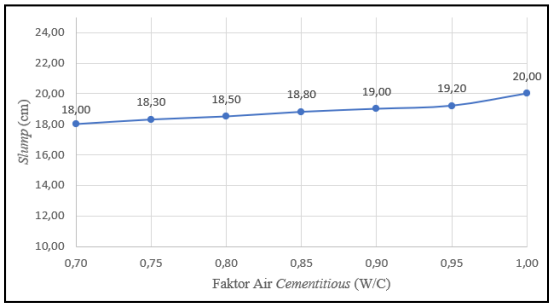
Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* beton digunakan untuk mengetahui ukuran derajat kemudahan dalam pengecoran adukan beton segar. Hasil pengujian *slump* yang dilakukan pada masing – masing variasi faktor air *cementitious* (W/C) campuran beton geopolimer dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Slump*

Variasi Faktor Air *Cementitious* (W/C)	*Slump* (cm)
0,7	18,0
0,75	18,3
0,8	18,5
0,85	18,8
0,9	19,0
0,95	19,2
1,0	20,0

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Nilai *Slump* dan Faktor Air *Cementitious* (W/C) Beton Geopolimer
Sumber: Hasil Analisa

Berdasarkan Gambar 4.1 menunjukkan hasil pengujian *slump* yang dilakukan pada masing-masing variasi faktor air *cementitious* (W/C) menunjukan bahwa terjadi peningkatan nilai *slump* pada setiap faktor air *cementitious* (W/C) dimulai dari W/C 0,70 hingga W/C 1.

Analisa Data Hasil Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton (*compressive strength*) dengan benda uji silinder 15 x 30 cm. Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan alat *Compression testing machine* (mesin uji kuat tekan) sehingga akan diperoleh besar beban yang dibutuhkan untuk mengakibatkan benda uji hancur dan tidak dapat menahan beban lagi. Hal yang harus diperhatikan dalam melakukan pengujian adalah permukaan beton harus rata sehingga gaya yang diberikan dapat terdistribusi dengan sempurna ke seluruh permukaan beton. Oleh karena itu benda uji terlebih dahulu di *capping* menggunakan belerang agar permukaannya rata. Untuk pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilakukan pada saat beton telah mencapai umur rencana yaitu 3 dan 7 hari. Rumus perhitungan nilai kuat tekan (SNI 1974-2011):

$$\boldsymbol{kuat\ tekan\ beton} = \frac{\boldsymbol{P}}{\boldsymbol{A}}\ (\boldsymbol{N/mm^2})$$

Keterangan:
P = Beban (N)
A = Luas permukaan (mm^2)

Perhitungan nilai kuat tekan beton geopolimer adalah sebagai berikut:

a) Faktor Air *Cementitious* (W/C) 0,70 (S1)
P = 294 KN = 294000 N
A = 17851,40 mm^2
f'c = $\frac{P}{A}$
= $\frac{294000}{17851,40}$
= 16,47 MPa

b) Faktor Air *Cementitious* (W/C) 0,70 (S2)
P = 343 KN = 343000N
A = 17788,32 mm^2
f'c = $\frac{P}{A}$
= $\frac{343000}{17788,32}$
= 19,28 MPa

Dimana:
f'c = Kuat tekan benda uji (MPa)
P = Beban (N)
A = Luas penampang (mm^2)
Dengan cara yang sama, selanjutnya akan ditabelkan:

Tabel 4.4 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer Pada Umur 3 Hari

Kode	W/C	Tanggal Buat	Tanggal Test	Umur (Hari)	Berat (Kg)	Tekanan Hancur (KN)	Tekan Hancur ril (MPa)	Tekan Rata-rata (MPa)
S1	0,70	20/06/2025	23/06/2025	3	13,10	294	16,47	17,88
S2		20/06/2025	23/06/2025		13,27	343	19,28	
S3	0,75	20/06/2025	23/06/2025	3	13,35	317	17,71	16,42
S4		20/06/2025	23/06/2025		13,15	271	15,13	
S5	0,80	20/06/2025	23/06/2025	3	13,23	259	14,50	14,66
S6		20/06/2025	23/06/2025		13,15	265	14,82	
S7	0,85	20/06/2025	23/06/2025	3	13,25	201	11,21	9,90
S8		21/06/2025	24/06/2025		13,16	153	8,58	
S9	0,90	21/06/2025	24/06/2025	3	12,90	131	7,43	7,68
S10		21/06/2025	24/06/2025		13,07	142	7,94	
S11	0,95	21/06/2025	24/06/2025	3	12,87	110	6,24	6,43
S12		21/06/2025	24/06/2025		12,74	116	6,62	
S13	1,0	21/06/2025	24/06/2025	3	12,80	102	5,81	5,54
S14		21/06/2025	24/06/2025		13,02	94	5,27	

Sumber: Hasil Analisa

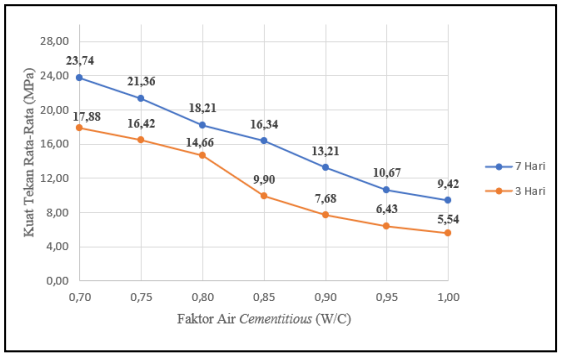
Berdasarkan tabel 4.21 menyajikan hasil uji kuat tekan beton geopolimer masing-masing variasi faktor air *cementitious* (W/C) pada umur 3 hari, mulai dari W/C 0,70 hingga W/C 1. Hasil menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata beton geopolimer cendrung menurun seiring dengan meningkatnya faktor air *cementitious* (W/C). Beton geopolimer dengan W/C 0,70 menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 17,88 MPa, sedangkan W/C 1 menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata terendah sebesar 5,54 MPa.

Tabel 4.5 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer Pada Umur 7 Hari

Kode	W/C	Tanggal Buat	Tanggal Test	Umur (Hari)	Berat (Kg)	Tekanan Hancur (KN)	Tekan Hancur ril (MPa)	Tekan Rata-rata (MPa)
S1	0,70	20/06/2025	27/06/2025	7	13,20	498	27,92	23,74
S2		20/06/2025	27/06/2025		13,19	323	18,26	
S3		20/06/2025	27/06/2025		13,25	441	25,05	
S4	0,75	20/06/2025	27/06/2025	7	13,28	347	19,19	21,36
S5		20/06/2025	27/06/2025		13,31	306	16,89	
S6		20/06/2025	27/06/2025		13,07	501	28,00	
S7	0,80	20/06/2025	27/06/2025	7	13,08	326	18,21	18,21
S8		20/06/2025	27/06/2025		13,34	315	17,54	
S9		20/06/2025	27/06/2025		13,16	334	18,89	
S10	0,85	20/06/2025	27/06/2025	7	13,07	282	16,02	16,34
S11		20/06/2025	27/06/2025		13,25	297	16,79	
S12		22/06/2025	29/06/2025		12,99	288	16,20	
S13	0,90	21/06/2025	28/06/2025	7	12,98	238	13,50	13,21
S14		21/06/2025	28/06/2025		13,07	236	13,26	
S15		21/06/2025	28/06/2025		13,10	231	12,88	
S16	0,95	21/06/2025	28/06/2025	7	12,80	185	10,46	10,67
S17		21/06/2025	28/06/2025		12,92	184	10,40	
S18		21/06/2025	28/06/2025		13,00	199	11,14	
S19	1,0	21/06/2025	28/06/2025	7	12,98	185	10,40	9,42
S20		22/06/2025	29/06/2025		13,04	163	9,12	
S21		22/06/2025	29/06/2025		13,09	156	8,73	

Sumber: Hasil Analisa

Berdasarkan tabel 4.5 menyajikan hasil uji kuat tekan beton geopolimer masing-masing variasi faktor air *cementitious* (W/C) pada umur 7 hari, mulai dari W/C 0,70 hingga W/C 1. Hasil menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata beton geopolimer cendrung menurun seiring dengan meningkatnya faktor air *cementitious* (W/C). Beton geopolimer dengan W/C 0,70 menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 23,74 MPa, sedangkan W/C 1 menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata terendah sebesar 9,42 MPa.

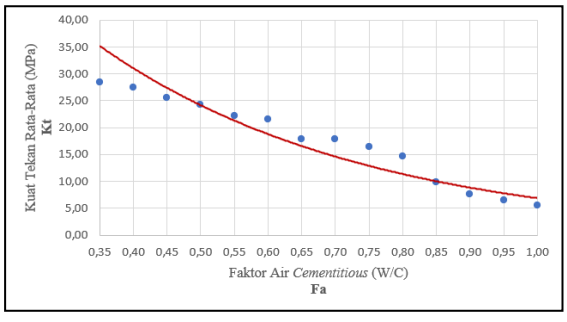


Gambar 4.2 Grafik Hubungan Faktor Air *Cementitious* (W/C) 0,70 – 1 Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata Beton Geopolimer Umur 3 Dan 7 Hari
Sumber: Hasil Analisa

Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa data hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer pada umur 3 dan 7 hari cendrung menurun seiring dengan meningkatnya faktor air *cementitious* (W/C). Nilai kuat tekan beton naik seiring dengan bertambahnya umur beton geopolimer.

Analisa Regresi

Setelah itu dilakukan penelitian terhadap hubungan antara parameter dan faktor air *cementitious* (W/C) dalam campuran beton geopolimer.Untuk mengetahui hubungan tersebut digunakan metode regresi fungsi eksponensial.

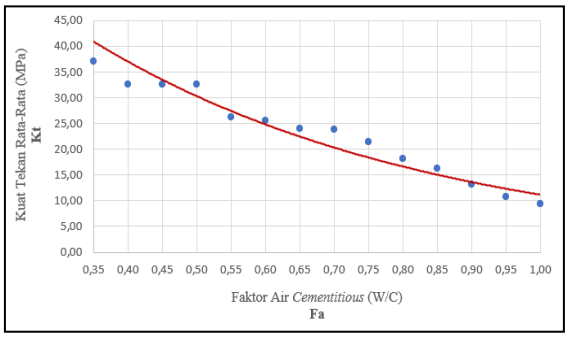


Gambar 4.3 Grafik Analisa Regresi Hubungan Faktor Air *Cementitious* (W/C) 0,35 – 1 Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata Beton Geopolimer Pada Umur 3 Hari
Sumber: Hasil Analisa

Berdasarkan Gambar 4.3 perhitungan analisa regresi pada kuat tekan beton geopolimer diperoleh sebuah persamaan yaitu Kt = $84{,}928e^{-2{,}515Fa}$. Koefisien determinasi (R^2) sebesar = 0,9013. Koefisien tersebut menunjukan bila faktor air *cementitious* (W/C) pada beton geopolimer mempengaruhi 90,13% perubahan nilai kuat tekan beton geopolimer. Kemudian dapat dicari koefisien korelasi dengan rumus sebagai berikut:

Koefien korelasi (R) = $\sqrt{R^2}$
= $\sqrt{0{,}9013}$
= 0,9493

Berdasarkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,9493 menunjukan bahwa hubungan antara faktor air *cementitious* (W/C) dan kuat tekan beton pada umur 3 hari sangat kuat.

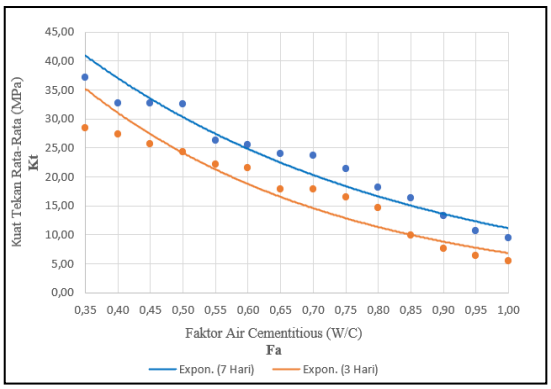


Gambar 4.4 Grafik Analisa Regresi Hubungan Faktor Air *Cementitious* (W/C) 0,35 – 1 Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata Beton Geopolimer Pada Umur 7 Hari
Sumber: Hasil Analisa

Berdasarkan Gambar 4.4 perhitungan analisa regresi pada kuat tekan beton geopolimer diperoleh sebuah persamaan yaitu Kt = $82{,}394e^{-1{,}999Fa}$. Koefisien determinasi (R^2) sebesar = 0,9401. Koefisien tersebut menunjukan bila faktor air *cementitious* (W/C) pada beton geopolimer mempengaruhi 94,01% perubahan nilai kuat tekan beton geopolimer. Kemudian dapat dicari koefisien korelasi dengan rumus sebagai berikut:

Koefien korelasi (R) = $\sqrt{R^2}$
= $\sqrt{0{,}9401}$
= 0,9695

Berdasarkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,9695 menunjukan bahwa hubungan antara faktor air *cementitious* (W/C) dan kuat tekan beton pada umur 7 hari sangat kuat.



Gambar 4.5 Grafik Analisa Regresi Hubungan Faktor Air *Cementitious* (W/C) 0,35 – 1 Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata Beton Geopolimer Pada Umur 3 Dan 7 Hari
Sumber: Hasil Analisa

Berdasarkan Gambar 4.5 diatas menunjukkan grafik analisa regresi hubungan faktor air *cementitious* (W/C) 0,35 – 1 terhadap kuat tekan rata-rata beton geopolimer menggunakan metode fungsi eksponensial. Kelengkungan dari kurva grafik diatas mengikuti pola eksponensial menurun. Dimana semakin tinggi faktor air *cementitious* (W/C) maka akan semakin rendah nilai kuat tekan yang dihasilkan. Nilai kuat tekan naik seiring dengan umur beton geopolimer.

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan analisis dari hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan mengenai faktor air *cementitious* (W/C) 0,70 – 1 pada beton geopolimer berbasis *fly ash* terhadap kuat tekan yaitu:

1. Hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer umur 3 hari pada W/C 0,70 sebesar 17,88 MPa, W/C 1 sebesar 5,54 MPa dan pada umur 7 hari W/C 0,70 sebesar 23,74 MPa, W/C 1 sebesar 9,42 MPa. Berdasarkan data tersebut menunjukan bahwa faktor air *cementitious* (W/C) sangat mempengaruhi nilai kuat tekan beton geopolimer.
2. Hubungan antara faktor air *cementitious* (W/C) 0,70 – 1 terhadap kuat tekan rata-rata beton geopolimer umur 3 dan 7 hari menunjukan pola menurun. Hal tersebut menunjukan bahwa terdapat kemiripan dari lengkung grafik faktor air *cementitious* (W/C) antara beton geopolimer dan beton normal. Dimana semakin tinggi faktor air *cementitious* (W/C) maka akan semakin rendah nilai kuat tekan yang dihasilkan. Nilai kuat tekan naik seiring dengan umur beton geopolimer.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim SNI 03 - 2834 - 2000. (2000). *Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standardisasi Nasional.

Anonim SNI 1974 -2011. (1974). *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Anonim SNI 2460 - 2014. (2014). *Spesifikasi abu terbang batubara dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton*. Badan Standardisasi Nasional, 16.

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

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

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

Suwarjo, C. D. N. (2024). Studi Penelitian Faktor Air Cementitious (W/C) (0,35-0,65) Pada Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash* (Batu Bara) Berdasarkan Kuat Tekan. *Student Journal GELAGAR*. X(X): 1–10.

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.