

PROPOSAL TUGAS AKHIR
STUDI PENELITIAN KADAR AIR CEMENTITIOUS(W/C) (0,7-1) PADA BETON GEOPOLIMER
BERBASIS FLY ASH (BATU BARA) BERDASARKAN KUAT TEKAN

Ahmad Andre Setiawan¹, Mohammad Erfan², Hadi Surya Wibawanto³

^{1,2,3}) Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang

Email : Andredansetiawan30@gmail.com ¹

ABSTRACT

Geopolymer concrete is concrete that does not use Portland cement as a binding material, but to replace cement an alternative material is used in the form of fly ash. Fly ash functions as a binder because it contains a lot of silica (SiO₂) and alumina (Al₂O₃). Meanwhile, much research has been carried out on geopolymer concrete, but in general it uses the water content of normal concrete. Water content is an important part of concrete design calculations, because this water content value is used to determine the design strength of concrete. The research method used in this research has two stages, namely: Literature study is carried out to examine the relationship between the variables to be studied by studying existing theories to formulate research hypotheses. Experimental studies are carried out to obtain the required data, research is carried out in the laboratory. , the compressive strength test results obtained, W/C 0.7 are 22.01MPa, W /C 0.75 is 17.12 MPa, W/C 0.8 is 15.60 MPa, W/C 0.85 is 15.11 MPa, W/C 0.9 is 14.74 MPa, W/C 0.95 is 10.41 MPa, W/C 1 is 6.15 MPa.

Keywords: Geopolymer Concrete, Fly Ash, Cementitious Water Content, Cement.

ABSTRAK

Beton geopolimer merupakan beton yang tidak menggunakan semen portland sebagai bahan pengikat, namun untuk menggantikan semen digunakan material alternatif berupa fly ash. Fly ash berfungsi sebagai pengikat karena banyak mengandung unsur silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃), Sementara itu penelitian mengenai beton geopolimer sudah banyak dilakukan akan tetapi pada umumnya menggunakan kadar air pada beton normal. Kadar air merupakan salah satu bagian penting dalam perhitungan rancang beton, karena nilai kadar air ini digunakan untuk menentukan kekuatan rencana beton. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dua tahapan yaitu: Studi pustaka dilakukan untuk mengkaji hubungan antara variabel yang akan diteliti dengan mempelajari teori-teori yang ada untuk merumuskan hipotesis penelitian. Studi eksperimen dilakukan untuk memperoleh data - data yang dibutuhkan, penelitian dilaksanakan di laboratorium. , didapat hasil pengujian kuat tekan, W/C 0,7 sebesar 22,01MPa, W/C 0,75 sebesar 17,12 MPa, W/C 0,8 sebesar 15,60 MPa, W/C 0,85 sebesar 15,11 MPa, W/C 0,9 sebesar 14,74 MPa, W/C 0,95 sebesar 10,41 MPa, W/C 1 sebesar 6,15 MPa.

Kata kunci : Beton Geopolimer, Fly Ash, Kadar Air *Cementitious*, Semen.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu komponen yang penting dalam bidang konstruksi, beton pada umumnya terdiri dari beberapa bahan material penyusun berupa agregat kasar, agregat halus, air dan semen. Semen merupakan material yang memiliki fungsi sebagai pengikat dalam campuran beton, material semen secara kimiawi akan aktif setelah bereaksi dengan air. Namun semen memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, karena dalam proses produksi semen menghasilkan banyak gas karbondioksida (CO_2) gas ini dilepaskan ke atmosfer dan kemudian menyebabkan pemanasan global.

Beberapa upaya yang mungkin dilakukan untuk mengurangi resiko pemanasan global adalah dengan menggunakan beton geopolimer, beton geopolimer merupakan beton yang tidak menggunakan semen portland sebagai bahan pengikat, namun untuk menggantikan semen digunakan material alternatif berupa *fly ash*.

Fly ash atau abu terbang merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara yang pada umumnya dihasilkan dari PLTU. *Fly ash* berfungsi sebagai pengikat karena banyak mengandung unsur silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), yang diaktifkan dengan campuran larutan alkali *activator* berupa natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) untuk mempercepat proses polimerisasi. Sementara itu penelitian mengenai beton geopolimer sudah banyak dilakukan akan tetapi pada umumnya menggunakan kadar air pada beton normal. Pada dasarnya beton geopolimer tidak dapat menggunakan kadar air normal karena akan menyebabkan retak pada beton. Retak pada beton dipengaruhi karena jumlah kadar air yang berlebihan.

Kadar air merupakan salah satu bagian penting dalam perhitungan rancang beton, karena nilai kadar air ini digunakan untuk menentukan kekuatan rencana beton.

2. KAJIAN PUSTAKA

Pengikat semen alternatif yang disebut sebagai “geopolimer”, terdiri dari *fly ash* yang diaktifkan dengan tambahan alkali, telah dianggap sebagai pengganti OPC (*Ordinary Portland Cement*). Geopolimer pertama kali dijelaskan oleh Davidovits sebagai bahan non-organik yang mengandung banyak silika (SiO_2) dan Aluminium (Al_2O_3) yang bereaksi dengan basa alkali-aktivator sehingga membentuk semen. (Turner & Collins, 2013)

Semen geopolimer dapat mengeras dengan cepat pada suhu kamar dan memberikan kuat tekan dalam kisaran 15 – 20 MPa, setelah berlangsung 4 jam pada suhu 20°C , saat diuji sesuai dengan standar yang diterapkan pada mortar pengikat hidrolik.

Kekuatan kompresi pada 28 hari di kisaran 70 – 100 Mpa. (Davidovits, 1994)

Davidovits memberikan penggunaan istilah “poli(sialate)” sebagai istilah kimia dari ikatan geopolimer yang terbentuk melalui proses polimerisasi Silika (Si) dan Aluminium (Al). Davidovits menggolongkan geopolimer menjadi tiga polimer anorganik yaitu, Poly(sialate) tipe (-Si-O-Al-O), Poly(sialate-siloxo) tipe (-Si-O-Al-O-Si-O-) dan Poly(sialate-disiloxo) tipe (-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O). (Davidovits, 1994)

Pada penelitian ini berikut bahan pembedaan beton geopolimer adalah alkali aktivator, *fly ash*, agregat halus, agregat kasar, air.

Alkali Aktivator

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)

Molaritas aktivator NaOH memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan mekanik beton pengikat dan geopolimer. Semakin tinggi molaritas NaOH , maka semakin tinggi juga kekuatan mekanik pengikat beton dan geopolimer. Selain itu, rasio aktivator $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ juga mempengaruhi pengikat beton dan geopolimer. Namun, rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ yang lebih tinggi tidak serta merta menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. (Januarti Ekaputri, 2013)

Satuan konsentrasi larutan terlarut-pelarut dari konsentrasi alkali adalah ukuran jumlah mol yang terlarut dalam larutan. Dengan kata lain, molaritas zat terlarut dinyatakan dalam liter volume, seperti yang diberikan dalam pernyataan di bawah ini. (Nodehi & Taghvaei, 2022):

$$M = \frac{n}{v} = \frac{\text{Mol}}{\text{Liter}}$$

Dengan :

M = Molaritas

n = Massa relatif molekul

v = Volume larutan

Fly Ash

Pada saat proses pembakaran batu bara menghasilkan dua material sisa pembakaran yaitu,

satu material yang keluar dari cerobong asap tungku pembakaran berupa debu yang sangat halus ini disebut *fly ash*. Sedangkan material sisa kedua berupa debu kasar yang terdapat pada dasar tungku ini disebut *bottom ash*.

Fly ash merupakan material yang memiliki kadar semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolan. (SNI - 2460, 2014)

Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina. Kandungan yang terdapat pada *fly ash* Silica (SiO_2), Besi Oksida (Fe_2O_3), Aluminium Oksida (Al_2O_3), Kalium Oksida (CaO), Magnesium Oksida (MgO), dan Sulfat (SO_4).

Senyawa	Kelas N	Kelas F	Kelas C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, 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 hal.3)

Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegasi alami batuan ataupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran kurang dari 5 mm atau lolos saringan no.4 dan tertahan pada saringan no. 200. (SNI 03-2834-2000).

Agregat Kasar

Agregat kasar berupa kerikil alam atau batu pecah buatan, hasil pemecahan batu gunung dengan bantuan alat pemecah batu/*stone crusher*. Ukuran besar butir berukuran antara 5 – 80 mm.

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 mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, dan bahan lainnya yang dapat merugikan beton.

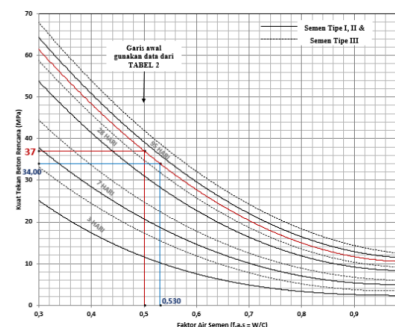
Faktor Air Semen

Faktor air semen adalah indikator yang penting dalam perancangan campuran beton karena merupakan perbandingan jumlah air terhadap jumlah semen dalam suatu campuran beton. Faktor air semen memiliki peran penting pada kualitas beton.

Semakin tinggi nilai faktor air semen, mengakibatkan penurunan mutu kekuatan beton. Namun nilai faktor air semen yang semakin rendah

tidak terlalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Jika faktor air semen semakin rendah, maka beton akan semakin sulit untuk dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai faktor air semen yang optimal yang dapat menghasilkan kuat tekan beton maksimal. Pada umumnya nilai faktor air semen yang digunakan minimum 0,4 dan maksimum 0,65 pada beton normal.

Namun pada penelitian ini faktor air *cementitious* yang digunakan adalah 0,7, 0,75, 0,8, 0,85, 0,9, 0,95 1.



Gambar Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan Dan Faktor Air Semen.

Pengujian Beton Geopolimer

Ujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton adalah penggunaan beban tekan aksial terhadap benda uji beton berbentuk silinder yang dicetak baik di laboratorium maupun di lapangan, pada proses pembebanan yang berada dalam batas yang ditentukan hingga terjadi kehancuran. (SNI-1974, 2011)

Nilai kuat tekan beton dihasilkan dari pemeriksaan kuat tekan pada benda uji silinder beton (diameter 150mm, tinggi 300mm) sampai terjadi kehancuran. Tata cara pemeriksaan yang dipakai adalah SNI 1974-2011, dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

Dengan :

f_c' = Kuat tekan beton (N/mm^2).

P = Beban yang mampu ditahan beton (N).

A = Luas penampang beton (mm^2).

3. METODE PENELITIAN

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor air *cementitious* optimum (0,7-1) terhadap beton geopolimer berbasis *fly ash* berdasarkan uji kuat tekan dan kuat tarik belah.

Tempat Dan Waktu Penelitian

Tempat Penelitian

Pada saat proses penelitian dibutuhkan tempat penelitian untuk memperoleh data-data yang akan mendukung tercapainya tujuan penelitian. Adapun yang menjadi tempat untuk penelitian yaitu :

1. Pengujian bahan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Pembuatan benda uji Ø15 x 30 dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Pengujian mekanis beton dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Pengujian kandungan silika *fly ash* dilaksanakan di Laboratorium Mineral dan Material Maju Universitas Negri Malang.

Waktu Penelitian

Waktu yang digunakan untuk penelitian dan analisis data hasil penelitian dimulai pada bulan Desember 2023 sampai dengan bulan Maret 2024, dengan tahapan penelitian sebagai berikut:

1. Persiapan penelitian.
2. Pelaksanaan penelitian.
3. Analisa data dan pelaporan.
4. Dokumentasi.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dua tahapan yaitu:

1. Studi pustaka dilakukan untuk mengkaji hubungan antara variabel yang akan diteliti dengan mempelajari teori-teori yang ada untuk merumuskan hipotesis penelitian.
2. Studi eksperimen dilakukan untuk memperoleh data - data yang dibutuhkan, penelitian dilaksanakan di laboratorium. Data - data tersebut dianalisa secara statistik untuk menguji hipotesis sehingga didapat hasil akhir. Adapun

langkah – langkah penelitian pada uji eksperimen secara garis besar adalah sebagai berikut:

- a) Pemeriksaan kandungan kimia pada *fly ash* .

Tabel 3. 1 Tabel Komposisi Kimia *Fly Ash* Tipe C (PLTU Paiton)

No	Compound	Hasil uji
1.	Al ₂ O ₃	11,00 %
2.	SiO ₂	25,30 %
3.	SO ₃	0,60 %
4.	K ₂ O	1,40 %
5.	CaO	30,06 %
6.	TiO ₂	1,46 %
7.	V ₂ O ₅	0,05 %
8.	Cr ₂ O ₃	0,077 %
9.	MnO	0,49 %
10.	Fe ₂ O 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 ₂ O ₃	0,10 %
18.	BaO	0,55 %
19.	Eu ₂ O ₃	0,20 %
20.	Yb ₂ O ₃	0,02 %
21.	Re ₂ O ₇	0,20 %

22.	HgO	0,16 %
-----	-----	--------

Sumber: (Aziz Mathofani, 2023)-Hasil Analisa Pada Lab. FMPA UM, 2022

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

Alat Dan Bahan

Alat penelitian

Pada penelitian ini digunakan peralatan sebagai berikut:

1. Timbangan.
2. Mesin Los Angeles.
3. Piknometer dan gelas ukur.
4. Saringan dengan ukuran 19 mm (3/4"); 9,6 mm (3/8"); 4,75 mm (No. 4); 2,36 mm (No.8); 1,18

mm (No. 16); 0,6 mm (No. 30); 0,3 mm (No. 50); 0,15 mm (No. 100); 0,075 mm (No. 200).

5. Oven.
6. Cetakan silinder (diameter 15 cm; tinggi 30 cm).
7. Kerucut Abrams (diameter bawah 200 mm; diameter atas 100 mm; tinggi 300 mm) beserta talam dan tongkat besi, digunakan untuk pengujian keenceran campuran beton (slump test).
8. Mesin pengaduk material (mixer).
9. Compression testing machine (mesin uji tekan).
10. Peralatan-peralatan tambahan seperti loyang, ember, kuas, sendok semen, mistar, spidol dan alat-alat penunjang lainnya.

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk menunjang penelitian ini, sebagai berikut:

1. Agregat kasar (Kerikil) : Batu pecah pasuruan.
2. Agregat halus (Pasir) : Pasir lumajang.
3. Air : Air sumur Lab. Bahan Konstruksi ITN Malang.
4. Fly ash : PLTU Paiton.
5. NaOH & Na₂SiO₃ : Toko Bahan Kimia.

Populasi Dan Sampel

Jumlah sampel benda uji dan variasi kadar air cementitious adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Variasi Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer

Jenis Pengujian	Umur (Hari)	Faktor Air Cementitious	Dimensi Sampel (cm)	Jumlah Sampel (buah)
Kuat Tekan	1 x 24 jam	0,7	Silinder 10x20	5
Kuat Tekan	1 x 24 jam	0,75	Silinder 10x20	5
Kuat Tekan	1 x 24 jam	0,8	Silinder 10x20	5
Kuat Tekan	1 x 24 jam	0,85	Silinder 10x20	5
Kuat Tekan	1 x 24 jam	0,9	Silinder 10x20	5
Kuat Tekan	1 x 24 jam	0,95	Silinder 10x20	5
Kuat Tekan	1 x 24 jam	1	Silinder 10x20	5

Metode Pengumpulan Data

Uji Kuat Tekan

1. Bahan uji kuat tekan

Bahan uji berupa beton silinder Ø10x20 cm.

2. Alat uji kuat tekan



Gambar 3. 1 Alat Uji Kuat Tekan

3. Prosedur uji kuat tekan

- Ambil benda uji dari tempat perawatan.
- Timbang dan catat berat benda uji.
- Letakkan benda uji pada compression testing machine.
- Jalankan mesin tersebut.
- Lakukan pembebanan sampai uji menjadi hancur dan catat angka beban yang keluar dari mesin.
- Catat nilai kuat tekan maksimal yang tertera pada mesin.
- Ulangi proses diatas sejumlah benda uji yang ada.

4. Rumus perhitungan nilai kuat tekan (SNI 1974-2011)

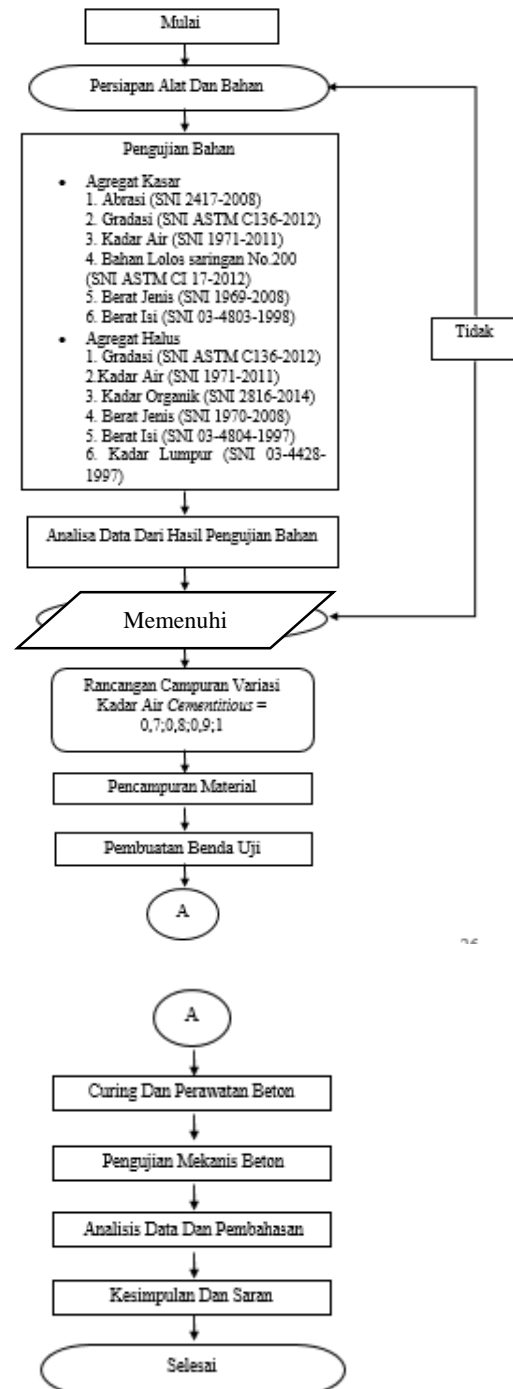
$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \cdot (\text{N/mm}^2)$$

Dengan :

P = Beban maksimum (N).

A = Luas penampang (mm²).

Diagram Alir Penelitian



4. METODE PENELITIAN

Metode desain campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah (SNI 03-2834-2000),

DATA PERENCANAAN

- f'_c rencana : 20 MPa
- Ukuran agregat kasar max : 20 mm
- Zona agregat halus : Zona II
- Volume Campuran beton : $< 1000\text{m}^3$
- Jenis agregat : dipecah
- Bj agregat halus SSD : 2,84
- Bj agregat kasar SSD : 2,73
- Faktor air *cementitious*(W/C): 0,7, 0,75, 0,8, 0,85, 0,9, 0,95, 1.

FAKTOR AIR CEMENTITIOUS (W/C)

Faktor Air *Cementitious* (W/C) ditentukan dengan menyesuaikan variasi yang digunakan yaitu 0,7, 0,75, 0,8, 0,85, 0,9, 0,95, 1.

- Faktor Air *Cementitious* (W/C) 0,7
 - a) Menentukan Komposisi Campuran Beton Geopolimer Kondisi Lapangan per m^3

- *Fly Ash*

$$= \frac{\text{Kadar Air Bebas}}{\text{Faktor Air Semen (0,7)}}$$

$$= \frac{215,00}{0,700}$$

$$= 307,14 \text{ kg/m}^3$$

- Agregat kasar (asli)

$$= \frac{100+wc \text{ asli}}{100+wc \text{ SSD}} \times \text{agregat kasar SSD}$$

$$= \frac{100+1,49}{100+2,46} \times 1065,25$$

$$= 1054,87 \text{ kg/m}^3$$

- Agregat halus (asli)

$$= \frac{100+wc \text{ asli}}{100+wc \text{ SSD}} \times \text{agregat kasar SSD}$$

$$= \frac{100+2,26}{100+2,46} \times 803,61$$

$$= 802,00 \text{ kg/m}^3$$

- Kebutuhan air lapangan

Air = W + kelebihan air agregat halus +
Kelebihan air agregat kasar

➤ Kelebihan air agregat halus

$$= \text{Berat agregat halus SSD} -$$

$$\text{Berat agregat halus asli}$$

$$= 803,61 - 802,00$$

$$= 1,61 \text{ kg/m}^3$$

➤ Kelebihan air agregat kasar

$$= \text{Berat agregat kasar SSD} -$$

$$\text{Berat agregat kasar asli}$$

$$= 1065,25 - 1054,87$$

$$= 10,38 \text{ kg/m}^3$$

➤ Kebutuhan Air

$$= W + (W_{\text{C SSD halus}} - W_{\text{Casli halus}}) + (W_{\text{C SSD kasar}} -$$

$$W_{\text{C SSD kasar}})$$

$$= 210,00 + (1,61) + (10,38)$$

$$= 222,99 \text{ kg/m}^3$$

➤ Kebutuhan larutan NaOH

$$= \text{Kebutuhan air} \times 0,4$$

$$= 222,99 \times 0,4$$

$$= 89,20 \text{ kg/m}^3$$

$$= 89,20 \text{ L}$$

$$= 89200 \text{ ml}$$

➤ Molar

$$= (W/Mr) \times (1000/V \text{ (ml)})$$

$$= (\text{Molar} \times Mr \times V \text{ (ml)})/1000$$

$$= (10 \times 40 \times 89200)/1000$$

$$= 35680 \text{ gr}$$

$$= 35,68 \text{ kg}$$

➤ Kebutuhan Na_2SiO_3

$$= \text{Kebutuhan air} \times 0,6$$

$$= 222,99 \times 0,6$$

$$= 312,19 \text{ L}$$

b) Menentukan Komposisi Campuran Beton Geopolimer Kondisi Lapangan Untuk Benda Uji 5 Silinder

- Volume silinder 10 x 20 cm

$$= (\pi) (r)^2 (t)$$

$$= (3,14) (0,05)^2 (0,2)$$

$$= 0,0016 \text{ m}^3$$

- Faktor Kehilangan = 1,22

- *Fly Ash*

$$= \text{Jumlah fly ash} \times \text{volume total} \times \text{faktor}$$

$$\text{kehilangan}$$

$$= 307,14 \times 0,0079 \times 1,22$$

- = 2,94 kg
- Agregat Halus
- = Jumlah agregat halus x volume total x faktor kehilangan
= 802,00 x 0,0079 x 1,22
= 7,68 kg
- Agregat Kasar
- = Jumlah agregat kasar x volume total x faktor kehilangan
= 1054,87 x 0,0079 x 1,22
= 10,11 kg
- Kebutuhan Air per 5 silinder
- = Jumlah air x volume total x faktor kehilangan
= 222,99 x 0,0079 x 1,22
= 2,14
- Kebutuhan larutan NaOH
- = Kebutuhan air x 0,4
= 2,14 x 0,4
= 0,856 L
- Kebutuhan Na₂SiO₃
- = Kebutuhan air x 0,6
= 2,14 x 0,6
= 1,284 L

Gambar 4. 1 Komposisi akhir campuran kondisi lapangan per m³

Jumlah Bahan	Variasi Kadar Air <i>Cementitious</i>							Total
	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	
Fly Ash (Kg)	307,14	286,67	270,00	254,59	240,56	228,11	217,00	1804,06
Agregat Halus (Kg)	802,00	827,55	847,17	865,48	875,16	893,00	906,33	6016,69
Agregat Kasar (Kg)	1054,87	1055,74	1048,81	1047,49	1044,75	1040,17	1038,63	7330,46
NaOH (L)	90,80	90,82	91,21	91,38	91,41	91,49	91,61	638,72
Na ₂ SiO ₃ (L)	136,19	136,23	136,81	137,07	137,12	137,24	137,42	958,08

Gambar 4. 2 Komposisi akhir campuran kondisi lapangan per 5 silinder

Jumlah Bahan	Variasi Kadar Air <i>Cementitious</i>							Total
	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	
Fly Ash (Kg)	2,943	2,747	2,587	2,439	2,305	2,186	2,079	17,29
Agregat Halus (Kg)	7,685	7,929	8,117	8,293	8,386	8,557	8,684	57,65
Agregat Kasar (Kg)	10,108	10,116	10,050	10,037	10,011	9,967	9,952	70,24
NaOH (L)	0,870	0,870	0,874	0,876	0,876	0,877	0,878	6,12
Na ₂ SiO ₃ (L)	1,305	1,305	1,311	1,313	1,314	1,315	1,317	9,18
Jumlah Silinder	5	5	5	5	5	5	5	35

HASIL PENGUJIAN

Hasil uji kuat tekan benda uji silinder diperoleh dari sampel benda uji dengan bentuk silinder 10 x 20 cm yang diuji. Adapun pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilakukan pada umur ± 24 jam dalam oven dan ± 3 jam suhu ruang, dengan variasi faktor air cementitious 0,7, 0,75, 0,8, 0,85, 0,9, 0,95, 1.

Berikut merupakan contoh dari pengolahan hasil uji kuat tekan beton geopolimer :

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

Dimana:

P = Beban maksimum (Kg)

A = Luas penampang benda uji (cm²)

Karena pada pengujian ini menggunakan silinder ukuran 10 x 20 cm, sehingga untuk mendapatkan nilai kuat tekan harus dilakukan pengecekan faktor koreksi sesuai dengan peraturan yang ada yaitu SNI 1974:2011. Faktor koreksi pada silinder 10 x 20 cm adalah 1,04.

a. Perhitungan nilai kuat tekan beton geopolimer, kode 0,7 I:

$$P = 177 \text{ KN} = 177000 \text{ N}$$

A = 7853,9816 (Luas penampang silinder 10 x 20cm)

$$f'_c = \frac{P}{A \times 1,04} = \frac{177000}{1853,9816 \times 1,04} = 21,67 \text{ MPa}$$

b. Perhitungan nilai kuat tekan beton geopolimer, kode 0,7 II:

$$P = 177 \text{ KN} = 177000 \text{ N}$$

A = 7853,9816 (Luas penampang silinder 10 x 20cm)

$$f'_c = \frac{P}{A \times 1,04} = \frac{177000}{1853,9816 \times 1,04} = 21,67 \text{ MPa}$$

c. Perhitungan nilai kuat tekan beton geopolimer, kode 0,7 III:

$$P = 179 \text{ KN} = 179000 \text{ N}$$

A = 7853,9816 (Luas penampang silinder 10 x 20cm)

$$f'_c = \frac{P}{A \times 1,04} = \frac{179000}{1853,9816 \times 1,04} = 21,91 \text{ MPa}$$

d. Perhitungan nilai kuat tekan beton geopolimer, kode 0,7 IV:

$$P = 182 \text{ KN} = 182000 \text{ N}$$

$$A = 7853,9816 \text{ (Luas penampang silinder } 10 \times 20\text{cm)}$$

$$f'c = \frac{P}{A \times 1,04}$$

$$= \frac{182000}{1853,9816 \times 1,04}$$

$$= 22,28 \text{ MPa}$$

e. Perhitungan nilai kuat tekan beton geopolimer, kode 0,7 V:

$$P = 184 \text{ KN} = 184000 \text{ N}$$

$$A = 7853,9816 \text{ (Luas penampang silinder } 10 \times 20\text{cm)}$$

$$f'c = \frac{P}{A \times 1,04}$$

$$= \frac{184000}{1853,9816 \times 1,04}$$

$$= 22,53 \text{ MPa}$$

Berikut adalah hasil dari pengujian kuat tekan beton geopolimer :

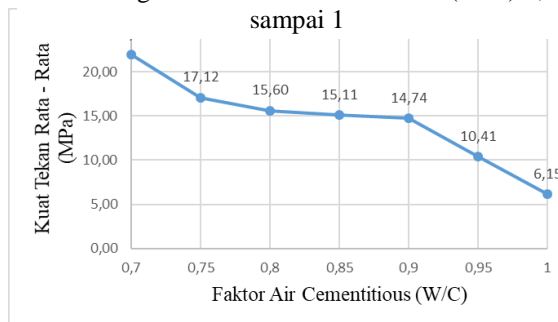
Tabel 4. 1 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer

No.	Kode	Tanggal Buat	Tanggal Test	Umur (hari)	Berat (kg)	Tekanan hancur (KN)	Tekanan hancur nil (MPa)	Tekanan hancur 1 hari (MPa)	Tekanan Rata-Rata (MPa)
1	0,7 I	30/06/2024	01/07/2024	1	3,86	177	22,54	21,67	22,01
2	0,7 II	30/06/2024	01/07/2024	1	3,84	177	22,54	21,67	
3	0,7 III	30/06/2024	01/07/2024	1	3,90	179	22,79	21,91	
4	0,7 IV	30/06/2024	01/07/2024	1	3,84	182	23,17	22,28	
5	0,7 V	30/06/2024	01/07/2024	1	3,91	184	23,43	22,53	
1	0,75 I	30/06/2024	01/07/2024	1	3,78	139	17,70	17,02	17,12
2	0,75 II	30/06/2024	01/07/2024	1	3,01	138	17,57	16,89	
3	0,75 III	30/06/2024	01/07/2024	1	3,81	138	17,57	16,89	
4	0,75 IV	30/06/2024	01/07/2024	1	3,93	141	17,95	17,26	
5	0,75 V	30/06/2024	01/07/2024	1	3,85	143	18,21	17,51	
1	0,8 I	01/07/2024	02/07/2024	1	3,86	124	15,79	15,18	15,60
2	0,8 II	01/07/2024	02/07/2024	1	3,88	128	16,30	15,67	
3	0,8 III	01/07/2024	02/07/2024	1	3,91	129	16,42	15,79	
4	0,8 IV	01/07/2024	02/07/2024	1	3,88	127	16,17	15,55	
5	0,8 V	01/07/2024	02/07/2024	1	3,87	129	16,42	15,79	
1	0,85 I	01/07/2024	02/07/2024	1	3,87	124	15,79	15,18	15,11
2	0,85 II	01/07/2024	02/07/2024	1	3,93	125	15,92	15,30	
3	0,85 III	01/07/2024	02/07/2024	1	3,90	123	15,66	15,06	
4	0,85 IV	01/07/2024	02/07/2024	1	3,98	120	15,28	14,69	
5	0,85 V	01/07/2024	02/07/2024	1	3,89	125	15,92	15,30	

No.	Kode	Tanggal Buat	Tanggal Test	Umur (hari)	Berat (kg)	Tekanan hancur (KN)	Tekanan hancur 1 hari (MPa)	Tekanan Rata-Rata (MPa)
1	0,9 I	04/07/2024	05/07/2024	1	3,94	122	14,94	14,74
2	0,9 II	04/07/2024	05/07/2024	1	3,82	118	14,45	
3	0,9 III	04/07/2024	05/07/2024	1	3,79	122	14,94	
4	0,9 IV	04/07/2024	05/07/2024	1	3,86	121	14,81	
5	0,9 V	04/07/2024	05/07/2024	1	3,88	119	14,57	
1	0,95 I	04/07/2024	05/07/2024	1	3,99	84	10,28	10,41
2	0,95 II	04/07/2024	05/07/2024	1	3,84	87	10,65	
3	0,95 III	04/07/2024	05/07/2024	1	3,90	85	10,41	
4	0,95 IV	04/07/2024	05/07/2024	1	3,94	84	10,28	
5	0,95 V	04/07/2024	05/07/2024	1	3,87	85	10,41	
1	1 I	05/07/2024	06/07/2024	1	3,63	50	6,12	6,15
2	1 II	05/07/2024	06/07/2024	1	3,78	50	6,12	
3	1 III	05/07/2024	06/07/2024	1	3,64	51	6,24	
4	1 IV	05/07/2024	06/07/2024	1	3,59	51	6,24	
5	1 V	05/07/2024	06/07/2024	1	3,74	49	6,00	

PEMBAHASAN

Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Kuat Tekan Rata - Rata Dengan Faktor Air Cementitious (W/C) 0,7 sampai 1



Berdasarkan Gambar 4.3 diatas menunjukkan grafik hasil dari pengujian kuat tekan beton geopolimer. Hasil nilai tertinggi pada grafik diatas titik W/C 0,7 bernilai 22,01 MPa, dan nilai terendah pada titik W/C 1 bernilai 6,15 Mpa.

Analisa Regresi

Uji interval kepercayaan telah digunakan untuk memilah data kuat tekan beton. Selanjutnya, dilakukan penelitian terhadap hubungan antara parameter dan faktor air cementitious (W/C) dalam campuran beton geopolimer. Untuk mengetahui korelasi tersebut, diolah menggunakan metode regresi fungsi kuadratik. Persamaannya adalah $\hat{Y} = a + bX + cX^2$. Menggunakan persamaan perhitungan yang diberikan dibawah ini:

$$\Sigma Y = na + b\Sigma X + c\Sigma X^2$$

$$\Sigma XY = a\Sigma X + b\Sigma X^2 + c\Sigma X^3$$

$$\Sigma X^2 Y = a\Sigma X^2 + b\Sigma X^3 + c\Sigma X^4$$

Berikut perhitungan regresi dilakukan pada data kekuatan tekan beton geopolimer (W/C) 0,7 sampai 1:

Tabel 4. 2 Data Faktor Air *Cementitious* (W/C) 0,7 - 1 dan Rata - Rata Kuat Tekan Beton Geopolimer

No	X	Y	Y ²	X ²	X ³	X ⁴	XY	X ² Y
1	0,70	22,01235	484,54368	0,49000	0,34300	0,24010	15,40865	10,78605
2	0,75	17,11528	292,93273	0,56250	0,42188	0,31641	12,83646	9,62734
3	0,80	15,59718	243,27216	0,64000	0,51200	0,40960	12,47775	9,98220
4	0,85	15,10748	228,23586	0,72250	0,61413	0,52201	12,84136	10,91515
5	0,90	14,74020	217,27339	0,81000	0,72900	0,65610	13,26618	11,93956
6	0,95	10,40628	108,29076	0,90250	0,85738	0,81451	9,88597	9,39167
7	1,00	6,14583	37,77122	1,00000	1,00000	1,00000	6,14583	6,14583
Total (Σ)	5,95	101,1246	1612,32	5,12750	4,47738	3,95872	82,86218	68,78781

Berdasarkan tabel diatas, didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$101,12 = 7a + 5,95b + 1612,32c$$

$$82,86 = 5,95a + 1612,32b + 5,13c$$

$$68,79 = 1612,32a + 5,13b + 3,96c$$

Maka dari persamaan diatas diperoleh:

$$a = 8,6795$$

$$b = -64,627$$

$$c = 63,209$$

Diperoleh persamaan:

$$\hat{Y} = 8,6795x^2 - 64,627x + 63,209$$

Mengidentifikasi koefisien (R²):

$$JK(b|a) = \left(b \left\{ \sum XY - \frac{\{\sum X\}\{\sum Y\}}{n} \right\} + \left(c \left\{ \sum X^2 Y - \frac{\{\sum X^2\}\{\sum Y\}}{n} \right\} \right) \right)$$

$$= \left(-64,627 \left\{ 82,86 - \frac{\{5,95\}\{101,12\}}{7} \right\} + \left(63,209 \left\{ 68,79 - \frac{\{5,13\}\{101,12\}}{7} \right\} \right) \right)$$

$$= -130,021 + 268,103$$

$$= 138,081$$

$$JK(E) = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}$$

$$= 1612,32 - \frac{(101,12)^2}{7}$$

$$R^2 = \frac{JK(b|a)}{JK(E)}$$

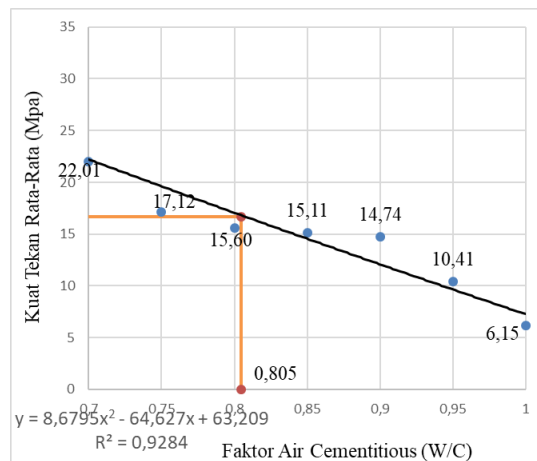
$$= \frac{138,081}{151,436}$$

$$= 0,9118$$

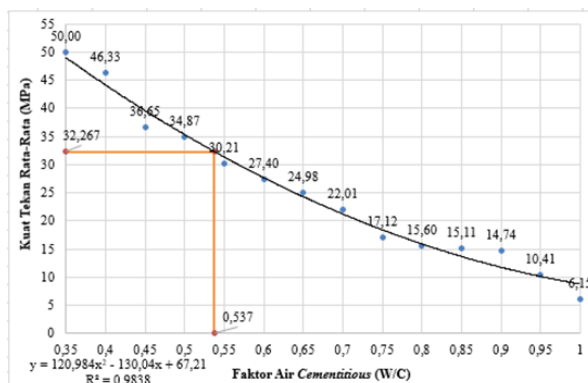
$$R = \sqrt{0,9118}$$

$$= 0,9549$$

Dari hasil perhitungan diatas kemudian diplot ke dalam grafik kuadratik yang menunjukkan hubungan antara faktor air *cementitious* (W/C) terhadap kuat tekan.



Gambar 4. 4 Analisis Grafik Regresi Hubungan Faktor Air *Cementitious* (W/C) Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer



Gambar 4. 5 Analisis Grafik Regresi Hubungan Faktor Air *Cementitious* (W/C) 0,35 sampai 1 Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer

KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa dari hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan dari faktor air *cementitious* (W/C) 0,7 sampai 1 pada beton geopolimer berbasis fly ash (batu bara) berdasarkan kuat tekaan, sebanding dengan rumusan masalah yaitu:

1. Pada faktor air *cementitious* (W/C) 0,7 sampai 1, didapat hasil pengujian kuat tekan, W/C 0,7 sebesar 22,01MPa, W/C 0,75 sebesar 17,12 MPa, W/C 0,8 sebesar 15,60 MPa, W/C 0,85 sebesar 15,11 MPa, W/C 0,9

sebesar 14,74 MPa, W/C 0,95 sebesar 10,41 MPa, W/C 1 sebesar 6,15 MPa. Kemudian dilakukan analisis non-linear atau kurva regresi.

2. Berdasarkan Hubungan kuat tekan rata-rata faktor air cementitious (W/C) 0,7 sampai 1, menunjukkan kurva penurunan nilai kuat tekan, hal itu terjadi karena semakin tinggi faktor air cementitious dapat menyebabkan bertambahnya jumlah larutan aktifator yang menyebabkan nilai kuat beton mengalami penurunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2000). SNI 03-2834-2000 *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (2002b). SNI 03-2847-2002 *Perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (2011). *Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (2014). SNI - 2460-2014 - *Spesifikasi Abu Terbang Batu Bara Dan Pozolan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional. <https://id.scribd.com/document/396332629/SNI-2460-2014-Spesifikasi-Abu-Terbang-Batu-Bara-Dan-Pozolan#>
- Aziz Mathofani, 2023. (2023). *Pengaruh penggunaan abu ampas tebu dan silica fume terhadap kekuatan beton geopolimer berbasis fly ash*.
- Davidovits. (1994). Properties of Geopolymer Cements. *First International Conference on Alkaline Cements and Concretes., October 1994*, 131–149.
- Fadhil Muhammad Fajri, R. Jachrizal Sumabrata, 2019. (2019). *Pemanfaatan Abu Terbang (Fly-Ash) Dan Silica Fume Sebagai Bahan Utama Geopolimer Alternatif Pengganti Semen Tradisional (Opc)*. *Prosiding Simposium II -UNIID 2019, 1978(September)*, 450–456.
- Januarti Ekaputri. (2013). Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer. *Jurnal Teknik Sipil*, 20(1), 1. <https://doi.org/10.5614/jts.2013.20.1.1>
- Mira Setiawati, 2019. (2019). Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2019*, 1–8.
- Muhammad Pradata Achlam, 2023. (2023). *Metodologi Penelitian: Metodologi penelitian Skripsi*. Rake Sarasin, 1–67.
- Turner, L. K., & Collins, F. G. (2013). *Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete*. *Turner & Collins*, 43, 125–130. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.023>
- Wardhono. (2019). *Pengaruh Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang Kelas C*. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v1n1.p1-7>