

Perbandingan Metode Pembuatan Beton *Geopolymer* Terhadap Sifat Mekanik dan Porositas

Miftahul Rizky*¹, Ketut Aswatama Wiswamitra², Dwi Nurtanto³

^{1,2,3} Program Study Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jl. Kalimantan 37 Kampus Tegalboto Kotak Pos 159 Jember 68121

Submitted : 29, Januari, 2022;

Accepted: 17, April, 2022

Abstrak

Penggunaan semen sebagai bahan konstruksi dinilai kurang ramah lingkungan karena pada proses pembuatan semen menghasilkan karbon dioksida CO₂. Untuk mengurangi pencemaran lingkungan maka dibutuhkan alternatif bahan pengganti semen yakni beton *geopolymer*. Beton *geopolymer* tersusun atas prekursor *fly ash* dan alkali aktivator (NaOH dan Na₂SiO₃). Selain prekursor dan alkali aktivator bahan campuran dalam beton *geopolymer* adalah zeolit. *Geopolymer* memiliki struktur yang mirip dengan zeolit. Penggunaan zeolit dapat mempercepat reaksi pengerasan beton dan meningkatkan kuat tekan. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan metode pembuatan beton *geopolymer* terhadap sifat mekanik dan porositas. prosedur yang digunakan adalah metode pembuatan langsung, metode pembuatan terpisah dan metode penuangan langsung. Hasil yang diperoleh kuat tekan dan kuat tarik belah beton *geopolymer* tertinggi pada metode pembuatan terpisah yakni 40,89 MPa untuk kuat tekan dan 3,30 MPa untuk kuat tarik belah beton, sedangkan pada metode pembuatan langsung diperoleh kuat tekan sebesar 37,76 MPa dan kuat tarik belah sebesar 3,18 MPa, lalu untuk metode penuangan langsung diperoleh kuat tekan sebesar 36,08 MPa dan kuat tarik belah sebesar 2,62 MPa. Selain itu pada pengujian porositas metode pembuatan terpisah memiliki persentase porositas terkecil yakni 9,37%, dan untuk metode pembuatan langsung dan penuangan langsung berturut-turut sebesar 10,73% dan 11,79%.

Kata Kunci : Beton *geopolymer*; prosedur beton *geopolymer*; sifat mekanik beton; porositas.

Abstract

The use of semen as a construction material is eco-unfriendly because of higher production of carbon dioxide (CO₂) in its manufacturing. To reduce environmental pollution, an alternative cement replacement material is needed, it call geopolymer concrete. Geopolymer concrete is composed of fly ash as precursors and alkali activators (NaOH and Na₂SiO₃). In addition to the precursor and alkali activator of the mixed material in geopolymer concrete is zeolite. Geopolymers have a structure similar to zeolite. The use of zeolites can speed up the reaction of hardening of concrete and increase the compressive strength. In this study a comparison was made between the

geopolymers concrete procedures to mechanical properties and porosity. The procedures used are direct mixing methods, separate mixing methods and direct pouring methods. The results obtained were the highest compressive strength and split cylinder test of geopolymer concrete in the separate mixing method, there is 40.89 MPa for the compressive strength and 3.30 MPa for the split cylinder test, while the direct mixing method obtained a compressive strength of 37.76 MPa and split cylinder test of 3.18 MPa, then for the direct pouring method obtained compressive strength of 36.08 MPa and split cylinder test of 2.62 MPa. In addition, in the porosity test, the separate mixing method has the smallest porosity percentage, which is 9.37%, and for the direct mixing methods and direct pouring methods, respectively, 10.73% and 11.79%.

Keywords : *Geopolymer concrete; geopolymer concrete procedures; concrete mechanical properties; porosity.*

A. PENDAHULUAN

Penggunaan beton sebagai material konstruksi sering sekali dijumpai. Baik dalam pembangunan gedung, jembatan, jalan, bedung dll. Semen sebagai bahan perekat pada beton memiliki dampak yang buruk bagi lingkungan. Karena pada proses pabrikasi semen menghasilkan banyak gas CO₂ yang jumlahnya sebanding dengan semen yang dihasilkan. CO₂ yang dihasilkan dapat menjadi pemicu utama pemanasan global. Untuk mengurangi dampaknya maka dibutuhkan alternatif pengganti semen, yakni penggunaan beton *geopolymer*.

Beton *geopolymer* adalah inovasi dalam bidang konstruksi beton, dimana dalam proses pembuatannya menggunakan semen. Penggunaan semen dapat digantikan dengan prekursor *fly ash*. Penggunaan *fly ash* sebagai material pengganti semen karena *fly ash* memiliki kandungan silika dan alumina yang cukup tinggi. Terdapat 3 jenis *fly ash* yakni *fly ash* kelas C, *fly ash* kelas N, *fly ash* kelas F. pada penelitian ini menggunakan *fly ash* F yang berasal dari PLTU Paiton. Berdasarkan penelitian (Takim et al., 2016) PLTU Paiton menghasilkan limbah *fly ash* hingga 1.000.000 ton tiap tahunnya. Selain prekursor pembuatan beton *geopolymer* memerlukan alkali *activator* berupa NaOH dan Na₂SiO₃.

Selain penggunaan prekursor dan alkali *activator*. Bahan campuran lainnya

yang bisa digunakan sebagai campuran beton *geopolymer* adalah zeolit. Penggunaan zeolit karena menurut Davidovits (1999) zeolit memiliki struktur yang hampir sama dengan beton *geopolymer* namun struktur dari zeolit adalah mikrostruktur amorphous. Berdasarkan penelitian (Amini et al., 2020) zeolit dapat mempercepat proses pengerasan dan kuat tekan beton *geopolymer*. Penggunaan zeolit dikhawatirkan dapat membuat beton mengeras sebelum di dituangkan kedalam cetakan.

Dengan menggunakan metode pembuatan langsung, metode pembuatan terpisah dan metode penuangan langsung Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perbandingan terhadap beberapa metode pembuatan beton *geopolymer* terhadap sifat mekanik beton *geopolymer* dan porositasnya.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Beton Geopolymer

Beton *geopolymer* adalah beton yang dalam pembuatannya 100% penggunaan semen digantikan dengan bahan alternatif lain. Dimana bahan yang digunakan untuk menggantikan semen adalah bahan mengandung banyak alumina dan oksida silika yang dapat bereaksi dengan larutan alkali *activator*. Secara keseluruhan beton *geopolymer* menggantikan semen dengan

material prekursor yang mengandung senyawa Alumina (Al) dan Silika (Si). Material prekursor tersebut terbentuk melalui reaksi kimia tidak melalui reaksi hidrasi seperti semen. Reaksi kimia yang terjadi pada beton *geopolymer* adalah reaksi polimerisasi dengan membentuk satu molekul besar bergugus fungsi banyak (Davidovits, 2013)

Penyusunan beton *geopolymer* berbeda dengan beton pada umumnya karena pada beton *geopolymer* memerlukan larutan alkali aktivator dimana larutan alkali *activator* tersebut berfungsi untuk penyusunan pasta *geopolymer*. Dari hasil penelitian laboratorium *fly ash* dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen yang ramah lingkungan selain itu konsentrasi atau molaritas dari larutan *activator* dapat mempengaruhi kuat tekan beton *geopolymer*. (Setiati & Irawan, 2018)

2. Zeolit

Penelitian tentang penambahan zeolit sebagai substitusi parsial mortar *geopolymer* yang dilakukan oleh (Radham Hidayat & Wardhono, 2019) penelitian ini menggunakan campuran zeolit sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan diperoleh persentase campuran 5% sebagai campuran zeolit paling optimum dari segi kuat tekan mortar dan mengalami penurunan pada pencampuran dengan kadar yang semakin tinggi. Selain itu mengenai penggunaan zeolit sebagai substitusi parsial pada *activator* Na_2SiO_3 yang dilakukan oleh (Amini et al., 2020) dengan menggunakan persentase campuran zeolit sebagai *activator* berturut turut 0%, 2,5%, 5%, 7,5% menunjukkan bahwa penggunaan zeolit dapat mempercepat proses pengikatan antara prekursor dan *activator* dan dari segi kuat tekan diperoleh persentase paling optimum pada campuran 7,5%.

3. Molaritas NaOH

Penelitian (Setiati & Irawan, 2018) Dimana penelitian tersebut membahas

tentang karakteristik dan sifat beton *geopolymer* terhadap semen portland untuk digunakan sebagai kekuatan struktur balok. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan larutan alkali *activator* sebagai bahan pereaksi dalam pembuatan pasta *geopolymer*. dengan menggunakan prekursor *fly ash* sebagai pengganti 100% semen menjadikan beton *geopolymer* ini sebagai beton yang ramah lingkungan. Karena menggunakan abu sisa pembakaran. Berdasarkan penelitian tersebut semakin tinggi konsentrasi NaOH maka sifat mekanik beton semakin tinggi pula. Variasi alkali *activator* yang digunakan adalah 8 Molar, 10 Molar dan, 14 Molar. Hasil penelitian laboratorium nilai kuat tekan beton *geopolymer* tertinggi terdapat pada molaritas NaOH 14 M. sehingga dapat disimpulkan konsentrasi NaOH dan Kuat tekan beton *geopolymer* berbanding lurus, semakin tinggi molaritas maka kuat tekan semakin tinggi pula.

4. Perbandingan Na_2SiO_3 dan Metode Pembuatan Beton *Geopolymer*

Mengenai metode pembuatan dan perbandingan campuran Na_2SiO_3 dan NaOH Berdasarkan hasil penelitian penelitian (Honny & Thiofilus, 2019) memperoleh hasil yang berbeda dimana penelitian ini menggunakan tipe *fly ash* kelas C dengan variasi *activator* 1:0.66, 1:1.5 dan 1:2,5 memperoleh nilai kuat tekan terbesar pada perbandingan 1:2.5. sedangkan prosedur pembuatan yang dilakukan adalah metode pembuatan langsung dan metode pembuatan terpisah. Namun pada penelitian ini metode pembuatan langsung hanya dilakukan pengujian initial setting time, sedangkan pada pembuatan terpisah pengujian dilakukan antara lain initial setting time, workability, dan kuat tekan. Selain itu pengaruh metode pembuatan terhadap beton *geopolymer* juga telah diteliti oleh (Wibowo, 2019) penelitian ini menggunakan prekursor high calcium *fly ash*. Dengan menggunakan 2 metode yakni metode normal (metode pembuatan campur) dan metode terpisah memperoleh

hasil penelitian bahwa metode pembuatan terpisah dinilai lebih baik dari segi kuat tekan daripada metode normal.

C. METODE PENELITIAN

2. Material Penelitian

1) Aquades

1. Rancangan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan zeolit 7,5% sebagai substitusi parsial *fly ash*. Dan pada penelitian ini menggunakan perbandingan NaOH padat dan Na₂SiO₃

- 2) NaOH
- 3) Na₂SiO₃
- 4) *fly ash* Tipe F dari PLTU Paiton
- 5) Zeolit
- 6) Pasir Lumajang
- 7) Agregat batu pecah

sebesar 1:2,5. Dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Rancangan kebutuhan benda uji pada tabel 1.

Tabel 1 Rincian kebutuhan benda uji

No	Metode	Jenis Beton	NaOH	Na ₂ SiO ₃	Kuat Tekan				Kuat Tarik Belah
					7	14	21	28	28
1	Pembuatan Langsung	Geo 1 + 7,5% Zeolit	1	2,5	3	3	3	3	3
2	Pembuatan terpisah	Geo 1 + 7,5% Zeolit	1	2,5	3	3	3	3	3
3	Penuangan langsung	Geo 1 + 7,5% Zeolit	1	2,5	3	3	3	3	3
Jumlah					9	9	9	9	9

a. Metode Pembuatan Langsung

- 1) Menyiapkan Natrium Hidroksida (NaOH) padat kemudian dilarutkan, dengan molaritas sebesar 14M.
- 2) Menyiapkan cairan Na₂SiO₃, kemudian ukur sesuai kebutuhan pengujian.
- 3) Mencampurkan NaOH dan Na₂SiO₃ untuk membentuk campuran alkali.
- 4) Mencampurkan *fly ash*, zeolit, agregat kasar, agregat halus pada molen.
- 5) Mencampurkan hasil campuran larutan alkali
- 6) Setelah semua bahan tercampur, aduk seluruh campuran hingga campuran menjadi homogen.

b. Metode Pembuatan Terpisah

- 1) Menyiapkan Natrium Hidroksida (NaOH) padat kemudian

dilarutkan, dengan molaritas sebesar 14M.

- 2) Menyiapkan cairan Na₂SiO₃, kemudian ukur sesuai kebutuhan pengujian.
- 3) Mencampurkan Larutan NaOH dengan *fly ash*, zeolit pada molen.
- 4) Menambahkan larutan Na₂SiO₃ dan di aduk selama 10 menit.
- 5) Mencampurkan agregat kasar, agregat halus.
- 6) Setelah semua bahan tercampur, aduk seluruh campuran hingga campuran menjadi homogen.

c. Metode Penuangan Langsung

- 1) Menyiapkan Natrium Hidroksida (NaOH) padat kemudian dilarutkan, dengan molaritas sebesar 14M.

- 2) Menyiapkan cairan Na_2SiO_3 , kemudian ukur sesuai kebutuhan pengujian.
- 3) Mencampurkan NaOH dan Na_2SiO_3 untuk membentuk campuran alkali.
- 4) Mencampurkan *fly ash*, zeolit agregat halus dan agregat kasar dengan proporsi sesuai dengan *mix design* rencana.
- 5) Memasukkan campuran *fly ash*, zeolit agregat halus dan agregat kasar kedalam cetakan sebanyak 1/3 bagian.
- 6) Menuangkan larutan alkali pada cetakan dan di lakukan perojokan selama 30 detik hingga tercampur merata.
- 7) Melakukan proses e dan f hingga cetakan penuh

2. Pengujian Sifat Mekanik Beton

a. Pengujian Kuat Tekan

Uji Kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui nilai batas kekuatan beton ketika di bebani dengan beban tertentu. Sebagai sumber referensi SNI 1974 : 2011 digunakan sebagai acuan dalam menguji kuat tekan beton pada benda uji dengan bentuk silinder. Berikut adalah rumus kuat tekan beton:

$$(F'c) = \frac{P}{A}$$

Dengan keterangan :

$F'c$ = Nilai kuat tekan (MPa)

A = Luas penampang (mm)

P = Gaya tekan aksial (N)

b. Pengujian Kuat Tarik Belah

Uji kuat tarik belah beton di lakukan dengan tujuan untuk mengetahui tahanan geser dari komponen struktur beton. Dengan menggunakan SNI 03-2491-2002 sebagai acuan untuk pengujian kuat tarik belah. Berikut adalah rumus kuat tarik belah beton :

$$(Fct) = \frac{2P}{LD}$$

Dengan keterangan :

Fct = Nilai kuat Tarik belah (MPa)

D = Diameter benda uji silinder (mm)

L = Panjang benda uji silinder (mm)

P = Beban uji maksimum (N)

3. Pengujian Porositas

Porositas beton adalah perbandingan antara volume pori atau volume yang ditempati oleh fluida terhadap volume benda uji (volume total dari beton). Tujuan di lakukan pengujian porositas untuk mengetahui persentase dari volume pori yang kemudian di bandingkan dengan kuat tekan dan kuat tarik belah *geopolymer*. Pada dasarnya pengujian porositas di lakukan untuk menekankan keawetan dan kekuatan beton.

$$V_{po} = \frac{W_a - W_w}{\rho_{air}}$$

$$V_p = \frac{V_s - V_{po}}{V_s} \times 100\%$$

Dengan keterangan:

V_p = Persentase volume pori

V_s = Volume silinder

V_{po} = Volume pori

W_a = Berat beton kering

W_w = Berat beton di air

4. Analisis Uji Normalitas *Chi-Square*

Distribusi *Chi-Square* atau chi kuadrat yang sering disimbolkan sebagai χ^2 adalah distribusi probabilitas teoritis yang kontinyu dan asimetrik. Nilai dari *Chi-Square* (χ^2) selalu positif dari 0 sampai ∞ atau $0 \leq \chi^2 \leq \infty$. Nilai statistik *Chi-Square* dituliskan sebagai berikut:

$$\chi^2 = \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Dengan keterangan:

χ^2 = Distribusi Chi-Square

f_o = Banyaknya frekuensi yang di observasi

f_e = Banyaknya frekuensi yang diharapkan

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Material

Pengujian material dilakukan pada agregat kasar, agregat halus dan *fly ash*.

Dimana pengujian pada agregat kasar dan agregat halus meliputi uji bera jenis, berat volume, kadar resapan, kelembapan, analisis saringan, kadar lumpur. Sedangkan pengujian pada *fly ash* adalah

uji berat jenis dan berat volume. Hasil pengujian material tertuang pada tabel 2.

Tabel 2 Pengujian material

Jenis Pengujian	Agregat Halus	Agregat Kasar	Pengujian <i>Fly Ash</i>
Berat Jenis	2,78	2,73	2,6
Berat Volume	1450,38 kg/m ³	1339,71 kg/m ³	1284,0 kg/m ³
Kadar Resapan	2,60%	1,90%	
Kelembapan	2,31%	0,11%	
Analisis Saringan	Zona 2	Maks 10 mm	
Kadar Lumpur	4,09%	0,66%	

2. Mix Design

Menggunakan *mix design* beton *geopolymer* berdasarkan jurnal (Pavithra et al., 2016) dengan judul “*A Mix Design*

Procedure For Geopolymer Concrete With Fly Ash”, Proporsi campuran beton *geopolymer* dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Proporsi campuran beton

Metode Pembuatan	<i>Fly Ash</i> (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	NaOH (kg)	Na ₂ SiO ₃ (kg)	Air (kg)	Zeolit (kg)
Pembuatan Langsung	9,12	27,85	27,35	1,62	4,04	2,88	0,68
Pembuatan Terpisah	9,12	27,85	27,35	1,62	4,04	2,88	0,68
Penuangan Langsung	9,12	27,85	27,35	1,62	4,04	2,88	0,68

3. Pengujian Workability

Pengujian workability menggunakan *slump flow test* sesuai dengan prosedur

(EFNARC,2005). Hasil pengujian *slump flow test* disajikan pada tabel 4.

Tabel 4 *Slump flow test*

No	Metode	Waktu (dtk)	<i>Slump Flow</i> (mm)	Batas Bawah (mm)	Batas Atas (mm)
1	Pembuatan Langsung	6	640	550	850
2	Pembuatan Terpisah	6	610	550	850
3	Penuangan Langsung	6	660	550	850

1. Hasil Pengujian Sifat Mekanik Beton

a. Hasil Kuat Tekan

Hasil uji kuat tekan dilakukan setelah umur beton mencapai 7,14,21 dan 28 hari dengan perawatan suhu ruang. pengujian kuat tekan beton menggunakan SNI 03-1974-2011 sebagai acuan. Dimana benda uji yang digunakan dalam

uji kuat tekan menggunakan silinder tinggi 20 cm dan diameter 10 cm.

Berdasarkan tabel 5 dan gambar 1 diperoleh hasil bahwa nilai kuat tekan beton bertambah seiring dengan waktu pengujian. Nilai kuat tekan beton umur 7 hari memiliki kuat tekan terendah dan

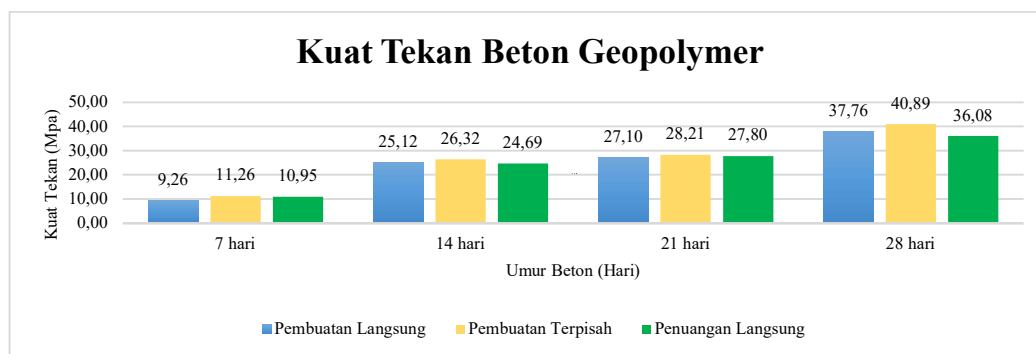
pengujian kuat tekan umur 28 hari memiliki kuat tekan tertinggi. Karena ikatan polimerisasi pada beton *geopolymer* berikatan semakin sempurna dan beton semakin kering seiring bertambahnya umur beton. Selain itu dari hasil pengujian kuat tekan beton *geopolymer* diperoleh bahwa kuat tekan beton tertinggi pada masing masing umur beton adalah metode pembuatan terpisah.

Pada metode pembuatan terpisah memiliki nilai kuat tekan lebih besar karena NaOH yang termasuk dalam golongan logam alkali dicampurkan terlebih dahulu dengan prekursor fly ash,

selanjutnya ditambahkan Na_2SiO_3 sebagai *activator* selain itu Na_2SiO_3 juga berperan sebagai katalisator atau zat yang mempercepat proses laju reaksi polimerisasi pada beton *geopolymer*. Sedangkan pada metode pencampuran langsung dan penuangan langsung larutan alkali NaOH dan activator Na_2SiO_3 dicampurkan terlebih dahulu untuk kemudian dicampurkan dengan fly ash dan material lainnya. penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh (Wibowo, 2019) dimana diperoleh nilai kuat tekan tertinggi pada metode pembuatan terpisah.

Tabel 5. Pengujian kuat tekan

No	Metode Umur	Pembuatan Langsung		Pembuatan Terpisah		Penuangan Langsung	
		Kuat Tekan (MPa)	Berat Volume (Kg/m^3)	Kuat Tekan (MPa)	Berat Volume (Kg/m^3)	Kuat Tekan (MPa)	Berat Volume (Kg/m^3)
1	7 hari	9,26	2399,15	11,26	2494,69	10,95	2462,85
2	14 hari	25,12	2409,77	26,32	2473,46	24,69	2377,92
3	21 hari	27,10	2388,54	28,21	2484,08	27,80	2462,85
4	28 hari	37,76	2462,85	40,89	2494,69	36,08	2452,23



Gambar 1. Pengujian kuat tekan

b. Hasil Kuat Tarik Belah

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik belah beton umur 28 hari pada tabel 6. Kuat tarik belah dan berat volume terbesar pada metode pembuatan terpisah yakni 3,30 MPa dengan berat volume 2494,69 Kg/m^3 sedangkan kuat tarik belah dan berat jenis terendah pada metode penuangan langsung yakni 2,62 MPa dengan berat volume rerata 2462,85

Kg/m^3 . Besarnya nilai kuat tekan dan kuat tarik belah memiliki hubungan dengan berat volume beton. Dapat dilihat pada tabel 3 dimana material dan proporsi yang digunakan adalah sama. Namun hasil beton pada metode pembuatan terpisah memiliki berat volume yang lebih tinggi, artinya beton yang dihasilkan dari metode pembuatan terpisah lebih padat daripada metode

pembuatan langsung dan penuangan langsung.

Tabel 6. Uji kuat tarik belah umur 28 hari

No	Metode	Kuat Tarik Belah (MPa)	Berat Volume (Kg/m ³)
1	Pembuatan Langsung	3,18	2473,46
2	Pembuatan Terpisah	3,30	2494,69
3	Penuangan Langsung	2,62	2462,85

4. Hasil Pengujian Porositas

Dari hasil pengujian porositas beton pada tabel 7 diperoleh nilai porositas terkecil pada metode pembuatan terpisah dengan persentase porositas sebesar 9,37%, sedangkan persentase porositas tertinggi pada metode penuangan langsung dimana persentasenya sebesar 11,79%. Metode pembuatan

terpisah memiliki persentase porositas terkecil menandakan bahwa metode pembuatan terpisah memiliki struktur yang lebih padat dan menghasilkan persentase pori lebih kecil dibandingkan dengan metode pembuatan langsung dan penuangan langsung.

Tabel 7. Uji porositas beton

No	Metode	Volume Silinder (ltr)	Kondisi Kering (Oven) (g)	Kondisi Dalam Air (g)	Berat Jenis Air (kg/m ³)	V _{po} (ltr)	Volume Pori (%)	Volume Pori Rata-Rata (%)
1	Pembuatan Langsung	1,57	3757,1	2354,5	1000	1,403	10,66%	10,73%
		1,57	3711,5	2329,5	1000	1,382	11,97%	
		1,57	3855,1	2435	1000	1,420	9,55%	
2	Pembuatan Terpisah	1,57	3865,9	2433	1000	1,433	8,73%	9,37%
		1,57	3837,7	2412	1000	1,426	9,19%	
		1,57	3687,8	2277,5	1000	1,410	10,17%	
3	Penuangan Langsung	1,57	3634,1	2261,5	1000	1,373	12,57%	11,79%
		1,57	3606,1	2223	1000	1,383	11,90%	
		1,57	3893,3	2494,5	1000	1,399	10,90%	

5. Analisis Statistik Uji Normalitas *Chi-Square*

Analisis data pada pengujian beton *geopolymer* ini menggunakan pendekatan analisis statistik uji normalitas *Chi-Square*. Uji normalitas data dilakukan

untuk menyelidiki apakah perbedaan dari kuat tekan, kuat tarik belah dan porositas dari sampel ke-1 hingga sampel ke-3 disebabkan oleh faktor kebetulan.

Tabel 8 Uji *chi-square* kuat tekan umur 7 hari

Metode	Kuat tekan	rata-rata	(o-e)2/e	x ²	x ² (0,90; (n-1))
Pembuatan Langsung	9,46	9,26	0,004	0,040	0,211
	9,88		0,042		
	8,44		0,073		
Pembuatan Terpisah	10,89	11,26	0,012	0,013	0,211
	11,78		0,024		
	11,12		0,002		
Penuangan Langsung	11,46	10,95	0,023	0,027	0,211
	11,20		0,006		
	10,19		0,053		

Tabel 9 Uji *chi-square* kuat tekan umur 14 hari

Metode	Kuat tekan	rata-rata	(o-e)2/e	χ^2	$\chi^2(0,90; (n-1))$
Pembuatan Langsung	24,05	25,12	0,046	0,057	0,211
	26,80		0,112		
	24,52		0,014		
Pembuatan Terpisah	24,73	26,32	0,096	0,057	0,211
	26,52		0,001		
	27,72		0,074		
Penuangan Langsung	24,30	24,69	0,006	0,035	0,211
	25,97		0,066		
	23,81		0,032		

Tabel 10 Uji *chi-square* kuat tekan umur 21 hari

Metode	Kuat tekan	rata-rata	(o-e)2/e	χ^2	$\chi^2(0,90; (n-1))$
Pembuatan Langsung	25,87	27,10	0,056	0,042	0,211
	28,48		0,071		
	26,94		0,001		
Pembuatan Terpisah	29,80	28,21	0,090	0,079	0,211
	28,62		0,006		
	26,20		0,143		
Penuangan Langsung	28,71	27,80	0,030	0,047	0,211
	28,51		0,018		
	26,18		0,094		

Tabel 11 Uji *chi-square* kuat tekan umur 28 hari

Metode	Kuat tekan	rata-rata	(o-e)2/e	χ^2	$\chi^2(0,90; (n-1))$
Pembuatan Langsung	36,71	37,76	0,029	0,048	0,211
	36,92		0,019		
	39,66		0,095		
Pembuatan Terpisah	38,74	40,89	0,113	0,069	0,211
	41,10		0,001		
	42,84		0,093		
Penuangan Langsung	37,63	36,08	0,067	0,042	0,211
	34,60		0,060		
	36,01		0,000		

Berdasarkan hasil uji normalitas *chi-square* pada kuat tekan beton umur 7,14,21, dan 28 hari dari masing-masing

sampel diperoleh nilai $\chi^2 < \chi^2_{(0,90;(n-1))}$ maka data dapat diterima.

Tabel 12 Uji *chi-square* kuat tarik belah umur 28 hari

Metode	Kuat tekan	rata-rata	(o-e)/e	χ^2	$\chi^2(0,90; (n-1))$
Pembuatan Langsung	2,94	3,18	0,017	0,009	0,211
	3,28		0,003		
	3,31		0,005		
Pembuatan Terpisah	3,45	3,30	0,007	0,019	0,211
	3,51		0,013		
	2,95		0,038		
Penuangan Langsung	2,62	2,62	0,000	0,009	0,211
	2,43		0,014		
	2,80		0,013		

Berdasarkan hasil uji normalitas *chi-square* pada kuat tarik belah beton umur 28 hari dari masing-masing sampel

diperoleh nilai $\chi^2 < \chi^2_{(0,90;(n-1))}$ maka data dapat diterima.

Tabel 13 Uji *chi-square* porositas

Metode	Kuat tekan	rata-rata	(o-e)/e	χ^2	$\chi^2(0,90; (n-1))$
Pembuatan Langsung	10,66%	10,73%	0,000	0,001	0,211
	11,97%		0,001		
	9,55%		0,001		
Pembuatan Terpisah	8,73%	9,37%	0,000	0,000	0,211
	9,19%		0,000		
	10,17%		0,001		
Penuangan Langsung	12,57%	11,79%	0,001	0,000	0,211
	11,90%		0,000		
	10,90%		0,001		

Berdasarkan hasil uji normalitas *chi-square* pada porositas beton. dari masing-masing sampel diperoleh nilai $\chi^2 < \chi^2_{(0,90;(n-1))}$ maka data dapat diterima.

6. Hubungan Sifat Mekanik Dan Porositas

Berdasarkan tabel 14. diperoleh hasil Semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin besar pula kuat tarik belahnya. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah paling tinggi terdapat pada metode pembuatan terpisah dimana diperoleh nilai kuat tekan sebesar 40,89 MPa dan itu diperoleh nilai

kuat tarik belah beton sebesar 3,30 MPa. Selanjutnya pada metode pembuatan langsung diperoleh nilai kuat tekan sebesar 37,76 MPa dan nilai kuat tarik belah sebesar 3,18 MPa. Sedangkan nilai kuat tekan dan kuat tarik belah terendah terdapat pada metode penuangan langsung dengan nilai kuat tekan sebesar 36,08 MPa dan nilai kuat tarik belah sebesar 2,62 MPa.

Berdasarkan penelitian (Kumaat & Windah, 2015) kenaikan nilai kuat tekan beton beriringan dengan kenaikan kuat tarik belah beton. Selain itu berdasarkan hasil

penelitian (Wibowo, 2019) diperoleh hasil kuat tekan tertinggi pada metode terpisah yakni 40,34 MPa sedangkan metode normal diperoleh nilai kuat tekan sebesar 33,93 MPa. Selain itu nilai kuat tekan dan kuat tarik belah berbanding terbalik dengan besarnya persentase porositas dimana semakin tinggi kuat tekan dan kuat tarik belah maka

persentase porositas semakin kecil. dilihat pada tabel 14 bahwa persentase porositas terkecil serta kuat tekan dan kuat tarik belah tertinggi terdapat pada metode pembuatan terpisah dan persentase porositas terbesar dengan kuat tetkan dan kuat tarik belah terkecil terdapat pada metode penuangan langsung.

Tabel 14 korelasi sifat mekanik porositas beton

Metode	Porositas (%)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Porositas Rerata (%)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik Belah Rerata (MPa)
Pembuatan Langsung	10,66%	36,71	2,94	10,73%	37,76	3,18
	11,97%	35,64	3,28			
	9,55%	40,93	3,31			
Pembuatan Terpisah	8,73%	37,47	2,95	9,37%	40,89	3,30
	9,19%	42,37	3,51			
	10,17%	42,84	3,45			
Penuangan Langsung	12,57%	37,63	2,62	11,79%	36,08	2,62
	11,90%	34,60	2,43			
	10,90%	36,01	2,80			

E. KESIMPULAN

1. Berdasarkan pengujian sifat mekanik beton pada umur beton 28 hari diperoleh kuat tekan dan kuat tarik belah tertinggi pada metode pembuatan terpisah yakni kuat tekan rerata sebesar 40,89 MPa dengan nilai kuat tarik belah sebesar 3,30 MPa dimana terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 8,29% dan pada kuat tarik belah sebesar 3,77% dari metode pembuatan langsung. dimana nilai kuat tekan pada metode pembuatan langsung sebesar 37,76 MPa dan kuat tarik belahnya sebesar 3,18 MPa. Sedangkan pada metode penuangan langsung mengalami penurunan kuat tekan sebesar 4,66% dan pada kuat tarik belahnya sebesar 21,37% dimana nilai kut tekan dan kuat tarik belahnya berturut-turut

sebesar 36,08 MPa dan 2,62 MPa. Persentase porositas terkecil terdapat pada metode pembuatan terpisah sedangkan persentase porositas terbesar terdapat pada metode penuangan langsung.

2. Besarnya nilai porositas berbanding terbalik dengan kuat tekan dan kuat tarik belah. Semakin tinggi porositas maka semakin kecil nilai kuat tekan dan kuat tarik belah yang dihasilkan. Berdasarkan pengujian porositas yang telah dilakukan persentase porositas beton terkecil terdapat pada metode pembuatan terpisah dengan persentase sebesar 9,37%, selanjutnya metode pembuatan langsung dengan persentase porositas sebesar 10,73%, dan persentase porositas terbesar terdapat pada metode penuangan langsung dimana nilai

persentase porositas sebesar
 11,79%.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.041>

DAFTAR PUSTAKA

- Amini, I. N., Krisnamurti, & Wahyuningtyas, W. T. (2020). Compressive strength of geopolymer concrete with fly-ash from Paiton Steam Power Plant and variations of substitution sodium silicate (Na_2SiO_3) with natural zeolite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1, 1–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/930/1/012025>
- Davidovits, J. (2013). Geopolymer Cement. *Institut Geopolymer*, 0, 1–11.
- Honny, M. B., & Thiofilus, J. W. (2019). Pengaruh Metode Pembuatan dan Komposisi Alkali Activator Terhadap Karakteristik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Tipe C. 236–242.
- Kumaat, E. J., & Windah, R. S. (2015). Pengujian Kuat Tarik Belah dengan Variasi Kuat Tekan Beton. 3(10), 703–708.
- Pavithra, P., Srinivasula Reddy, M., Dinakar, P., Hanumantha Rao, B., Satpathy, B. K., & Mohanty, A. N. (2016). A mix design procedure for geopolymer concrete with fly ash. *Journal of Cleaner Production*, 133(May), 117–125.
- Radham Hidayat, B., & Wardhono, A. (2019). Pengaruh Varian Distribusi Zeolit Terhadap Abu Terbang Pada Kuat Tekan Benda Uji Geopolymer Dengan Kondisi 12 Molar, 14 Molar, Dan W/S 0.30. *Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 1–9.
- Setiati, N. R., & Irawan, R. (2018). Perbandingan Sifat dan Karakteristik Beton Geopolimer Terhadap Beton Semen Portland Untuk Kekuatan Struktur Balok (Comparison of the Properties and Characteristics of Geopolimer Concrete and Portland Cement Concrete for Structural Beam Strength). *Jurnal Jalan-Jembatan*, 35, 125–138.
- Takim, Naibaho, A., & Ningrum, D. (2016). Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Kuat Tekan dan Penyerapan Air pada Mortar. *Jurnal Reka Buana*, 1(2), 91–100.
- Wibowo, Y. N. (2019). “G-Marine”: Beton Ramah Lingkungan Berbasis High- Calcium Fly Ash Untuk Elemen Struktur Pelabuhan.



© 2022 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY Licens (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)