STUDI PENELITIAN PADA BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH DENGAN PENAMBAHAN SERAT PLASTIK PET TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON

Donatus Tersin Dugis[1], Ester Priskasari[2], Mohammad Erfan[3]

[1)]Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jalan Sigura-gura nomor 02 Malang
Email: donatusdugis@gmail.com
[2)]Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jalan Sigura-gura nomor 02 Malang
Email: esterpriskasari@ymail.com
[3)]Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jalan Sigura-gura nomor 02 Malang
Email: Mohammaderfan@gmail.com

ABSTRACT

Geopolymer concrete is an inorganic aluminosilicate compound synthesized from industrial by-products such as fly ash and rice husk ash that contain silica (Si) and aluminum (Al), where fly ash has significant potential as an alternative material due to its abundant availability and low cost, while also reducing the environmental impact caused by Portland cement, which produces high CO_2 emissions; the use of PET (Polyethylene Terephthalate) plastic fibers derived from recycled waste is an alternative to reduce production costs and plastic waste, and this study analyzes the effect of PET fiber additions of 0%, 0.2%, 0.5%, and 0.7% on the compressive strength, splitting tensile strength, and flexural strength of fly ash–based geopolymer concrete, with results indicating that fiber addition reduces compressive strength, while splitting tensile strength and flexural strength increase at 0.2% fiber content, reaching average values of 2.72 MPa and 7.51 MPa, respectively.

Keywords: Geopolymer Concrete, Fly Ash, PET Plastic Fiber

ABSTRAK

Beton geopolimer yaitu sebuah senyawa aluminio silikat anorganik yang disintesiskan dari bahan-bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi (*rice husk ash*) dan lain-lain, yang mengandung Silika (Si) dan Aluminium (Al). *Fly ash* atau abu terbang memiliki potensi besar sebagai bahan alternatif dalam pembuatan beton geopolimer karena ketersediannya yang melimpah dan harganya yang relatif murah. Beton geopolimer berbasis *fly ash* mengurangi dampak dari penggunaan semen *portland* sebagai bahan dasar pembuatan beton yang menghasilkan emisi CO_2 hingga merusak lingkungan. Penggunaan plastik PET (*Polyethylene Terephtlate*) merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi biaya produksi dan limbah karena jenis plastik yang digunakan dapat diambil dari limbah daur ulang dan mudah didapatkan. Serat plastik PET (*Polyethylene Terephtlate*) adalah jenis polimer sintetik yang terbuat dari dua bahan dasar utama yaitu Etilena Glikol (EG) dan Tereftalat (PT). Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak penambahan plastik PET dengan presentase 0%; 0,2%; 0,5%; 0,7% terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur pada beton geopolimer. Hasil penelitian menunjukkan untuk kuat tekan penambahan serat menurunkan nilai kuat tekan beton dan untuk kuat tarik belah dan kuat lentur terjadi peningkatan pada penambahan serat 0,2% masing-masing dengan nilai rata-rata 2,72 Mpa dan 7,51 Mpa.

Kata kunci: Beton Geopolimer, *Fly Ash*, Serat Plastik PET

1. PENDAHULUAN

Beton geopolimer yang menggunakan *fly ash* umumnya mempunyai kekuatan mekanik dan daya tahan yang menyerupai semen Portland terhidrasi dan dapat digunakan untuk kelas semen hijau yang efisiensi sumber daya alam (Nasvi et al., 2012). *Fly ash* merupakan sisa pembakaran batu bara yang banyak mengandung Silika (SiO_2) dan Aluminia (Al_2O_3). Pada penggunaannya fly ash membutuhkan aktivator untuk mempercepat proses polimerisasi. Aktivator yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran Natrium Hidroksida (NaOH) atau Kalium Hidroksida (KOH) dengan Natrium Silikat (Na_2SiO_3) atau Kalium Silikat (K_2SiO_3). Modesta dkk. (2019) melakukan sebuah penelitian dengan menambahkan serat plastik PET (Polyethylene Terephthalate) berukuran 1 – 3 mm dengan panjang 2,5 cm pada benda uji silinder tinggi 20 cm dan diameter 10 cm. Variasi persentase serat yang ditambahkan pada campuran beton adalah 0%, 0,25%, 0,5, dan 1%. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium yang

dilakukan pada hari ke-7, 14, dan 28, beton dengan tambahan serat plastik PET memiliki nilai kuat tekan dan kuat tarik belah yang lebih tinggi dibandingan dengan beton normal. Nilai kuat tekan dan kuat tarik beton paling tinggi adalah penambahan serat platik PET sebanyak 0,5%. Pada hari ke-28, beton dengan tambahan PET 0,5% meningkatkan kuat tekan sebesar 11,667% dan secara signifikan meningkatkan nilai kuat tarik belah sebesar 25,507% dari beton normal.

2. KAJIAN PUSTAKA

TEORI UMUM BETON GEOPOLIMER

Beton geopolimer merupakan beton dengan 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).

MATERIAL DASAR BETON GEOPOLIMER

a. Alkali Aktivator

Satuan konsentrasi larutan terlarut-pelarut dari konsentrasi NaOH 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 & Taghvaee, 2022):

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

Dimana :
M : Molaritas
n : Massa relatif molekul
v : Volume larutan

b. Agregat Halus

Agregat halus merupakan pasir alam yang berasal dari hasil disintegrasi alami batuan ataupun pasir dan mempunyai ukuran butir kurang dari 5 mm atau lolos saringan no.4 dan tertahan saringan no. 200. (SNI 03-2834-2000).

c. Agregat Kasar

Berdasarkan ASTM C33, agregat kasar merupakan bahan pengisi dalam campuran beton berupa batu pecah atau kerikil yang tertahan saringan 4,75 mm.

d. Air

Menurut (Badan Standardisasi Nasional, 2019), air yang baik digunakan sebagai bahan campuran mortar sebaiknya memenuhi persyaratan seperti, air yang dapat diminum, tidak berasa dan tidak berbau, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang dapat merusak pembuatan beton, air yang digunakan harus bersih dan bebas dari bahan berbahaya seperti alkali, asam, garam, minyak, bahan organik, dan tidak mengandung lumpur.

e. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Berdasarkan (ASTM-C618-19), fly ash diklasifikasikan atas 3 kelas berdasarkan komposisi kimianya yaitu fly ash kelas F, kelas C, dan kelas N.

Tabel 1. Komposisi Kimia *Fly Ash* Tipe C

No.	Compound	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	0,08%
9	MnO	0,49%
10	Fe_2O_3	25,60%
11	NiO_2	0,05%
12	CuO	0,06%
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%
21	Re_2O_7	0,20%
22	HgO	0,16%

Sumber : (Mathofani, Aziz. 2023) Hasil Analisis Pada Lab. FMIPA UM,2022

f. Serat Plastik PET (*Polyethylene Terephtalate*)

Beton dengan campuran limbah plastik PET (*Polyethylene Terephtalate*) merupakan salah satu solusi dalam mengurangi jumlah limbah plastik yang ada di lingkungan. Plastik PET yang berasal dari botol plastik dipotong memanjang hingga berbentuk layaknya serat. Penambahan serat dalam campuran beton mengingat beton memiliki kekuatan tarik yang lemah (Alfirahman dan Widodo, 2023).

Perawatan Beton Geopolimer (*Curing*)

Curing merupakan salah satu cara untuk mempertahankan kualitas yang dihasilkan setelah proses pengecoran dengan cara menjaga kadar air dan mengurangi penyusutan volume (*shrinkage*). Terdapat dua Teknik pemeliharaan, yaitu pemeliharaan dengan *ambient curing* dan *dry curing*.(Wardhono, 2019).

Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur apabila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. (SNI 03-1972-1990,1990).

Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah (SNI 1974-2011,2011b) dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

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

Dimana :

f'c : Kuat tekan beton (Mpa atau kg/cm2)
P : Beban maksimum (N atau kg)
A : Luas permukaann penampang (mm2/cm2)

Pengujian Kuat Tarik Belah

Berdasarkan SNI 2460 : 2014, maka untuk mendapatkan nilai kuat tarik masing-masing benda uji menggunakan rumus seperti di bawah ini.

$$T = \frac{2P}{\pi l D}$$

Dimana :

T = kuat tarik belah beton(MPa)
P = beban maksimum (N)
l = tinggi silinder beton (mm)
D = diameter silinder beton (mm)

Pengujian Kuat Lentur

Berdasarkan SNI 4431-2011, kuat lentur beton merupakan kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakkan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan kepadannya sampai benda uji patah, dengan rumus sebaga berikut:

$$\sigma 1 = \frac{P.L}{b.h\text{^}2}$$

Dimana :

σ1 = Kuat lentur benda uji (Mpa)

P = Beban maksimum (N)

L = Jarak antara dua garis perletakkan

b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

Pengolahan Data

a. Interval Kepercayaan

Interval kepercayaan adalah perhitungan untuk memperkirakan parameter populasi dengan menggunakan interval antar nilai.

b. Analisis Regresi

Analisis regresi adalah metode statistik yang untuk memahami bagaimana hubungan antara data yang terdiri dari dua varibael atau lebih berjalan.

c. Pengujian Hipotesis

Hipotesis adalah jawaban awal atau sementara dari rumusan masalah penelitian. Dikatan sementara karena jawaban yang diberikan didasarkan teori yang relevan bukan dari pengumpulan data.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang pada bulan Maret-Juli 2025.

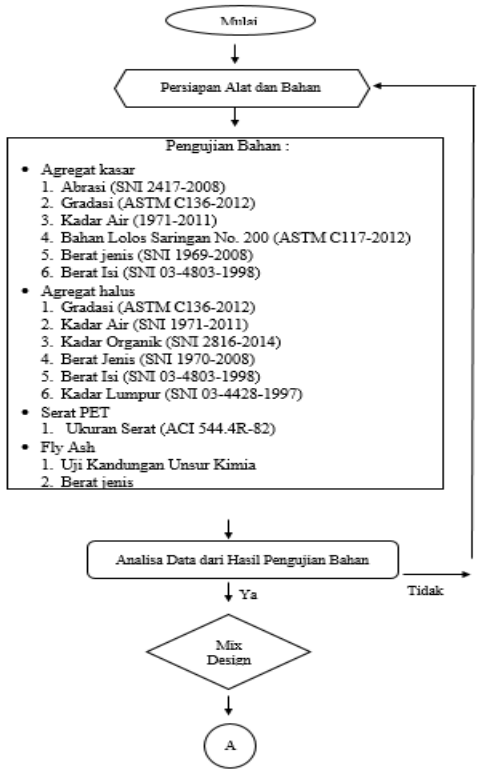
Metode Penelitian

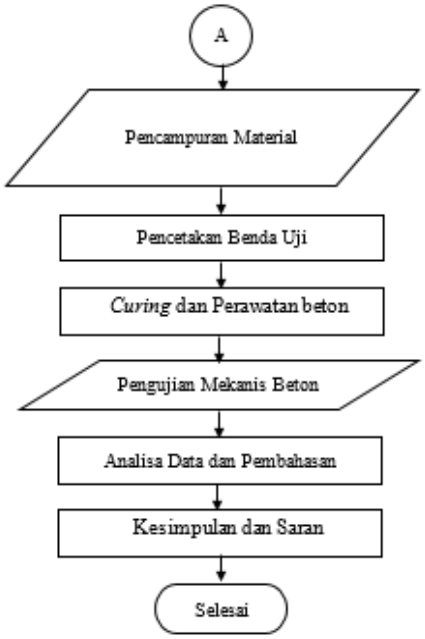
Metode penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-eksperimental. Tahap awal dilakukan kajian pustaka untuk menghimpun teori yang relevan kemudian dilanjutkan uji eksperimen di laboratorium untuk memperolrh data.

Jumlah Sampel (Benda Uji)

Variasi penambahan serat plastik PET (*Polyethylene Terephtlate*) dengan variasi 0%, 0,2%, 0,5% dan 7%. Benda uji berbentuk silinder berukuran Ø15x30 cm dengan sampel sebanyak 2 sampel pervariasi dan balok berukuran 15x15x64 cm dengan sampel sebanyak 2 sampel pervariasi.

Diagram Alir Penelitian





Gambar 1. Diagram Alir Penelitian
Sumber : Hasil Analisis

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode Pemeriksaan Konsistensi Normal dan Waktu Ikat

Pada beton geopolimer yang diuji menggunakan larutan alkali sebagai aktivator, yaitu KOH dan Na2SiO3. Kedua bahan kimia ini memiliki reaktivitas yang tinngi sehingga menyebabkan campuran pasta lebih cepat mengeras. Sehingga perlu dilakukan beberapa metode campuran untuk mendapatkan hasil yang paling optimal.

- *Fly ash* (300 gram) + KOH pada 10 M + (Air + Na2SiO3) dengan perbandingan Natrium Silikat (Na2SiO3) dan Kalium Hidroksida (KOH) adalah 3 : 1. Pada metode ini, KOH padat tidak bisa tercampur dengan merata atau tidak dapat larut, sehingga metode 1 tidak bisa dikerjakan.
- *Fly ash* (300 gram) + Air 50% dari kebutuhan alkali aktivator + alkali (KOH yang telah dilarutkan + Na2SiO3) dengan perbandingan Natrium Silikat (Na2SiO3) dan Kalium Hidroksida (KOH) adalah 3 : 1. Pada metode ini, pasta campuran tidak bisa tercampuran dengan baik dan air yang dimasukkan dapat mempengaruhi molaritas.
- *Fly ash* (300 gram) + alkali aktivator (KOH yang telah dilarutkan + Na_2SiO_3) dengan perbandingan Natrium Silikat (Na_2SiO_3) dan Kalium Hidroksida (KOH) adalah 3 : 1. Pada netode ini, pasta campuran bisa tercampur dengan baik dan dapat dikerjakan, sehingga metode ini dapat digunakan untuk mencari konsistensi normal dan waktu ikat *fly ash*.

Hasil dan Pembahasan Pemeriksaan Material Campuran Beton

Hasil pengujian karakteristik material beton yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan fly ash sebagai bahan pengikat menunjukkan bahwa seluruh parameter telah memenuhi persyaratan SNI, meliputi kadar lumpur, abrasi, serta sifat fisik material, sehingga material dinyatakan layak digunakan dalam campuran beton geopolimer sesuai dengan tujuan penelitian.

Perancangan Campuran

Berikut ini merupakan data perencanaan campuran.

- F'c rencana : 25 Mpa
- Slump rencana : 180 ± 20 mm
- Uk. agregat kasar maks. : 25 mm
- Zona agregat halus : Zona II
- Vol. campuran beton : <1000 m3
- Jenis agregat kasar : Dipecah
- BJ agregat halus kondisi SSD : 2,72
- BJ agregat kasar kondiis SSD : 2,70
- Faktor Air Cementitious (W/C) : 0,435

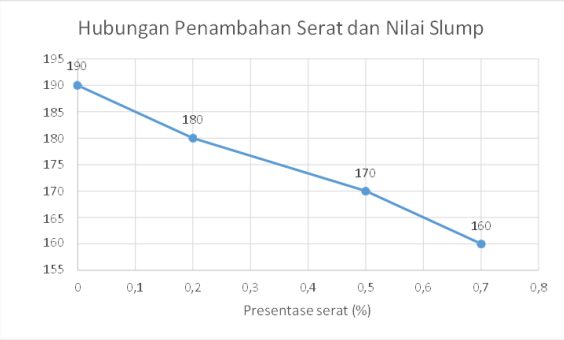
Tabel 2. Komposisi Akhir Campuran Beton Geopolimer Kondisi Lapangan untuk Benda Uji 4 silinder dan 2 balok pervariasi serat

Jumlah Bahan Benda Uji	Variasi serat plastik PET (%)				Total
	0.00	0.20	0.50	0.70	
Fly Ash (Kg)	28.05	28.05	28.05	28.05	112.20
Serat PET (Kg)	0.00	0.29	0.74	1.03	2.06
Agregat Halus (Kg)	45.30	45.30	45.30	45.30	181.21
Agregat Kasar (Kg)	63.13	63.13	63.13	63.13	252.52
KOH (L)	2.71	2.71	2.71	2.71	10.85
Na2SiO3 (L)	8.14	8.14	8.14	8.14	32.55

Sumber: Hasil Analisis

Pengujian Slump Beton

Pengujian slump merupakan pengujian untuk mengetahui ukuran derajat kemudahan dalam pengecoran adukan beton segar.



Sumber : Hasil Analisis

Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Saat penambahan jumlah serat pada campuran beton terjadi penurunan pada nilai slump.

Analisis Data Kuat Tekan Silinder

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton (compressive strength) dengan benda uji berbentuk silinder 15 x 30 cm. Adapun pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilakukan pada umur 7 hari. Pengujian dilakukan denga menggunakan alat *Compression testing machine* (mesin uji kuat tekan) sehingga diperoleh beban maksimal yang dapat membuat benda uji hancur atau tidak dapat menahan beban lagi.
Contoh perhitungannya sebagai berikut:
Perhitungan nilai kuat tekan kode 1 (0%)

P = 477 kN = 477000 N

A = 17796,56 mm2

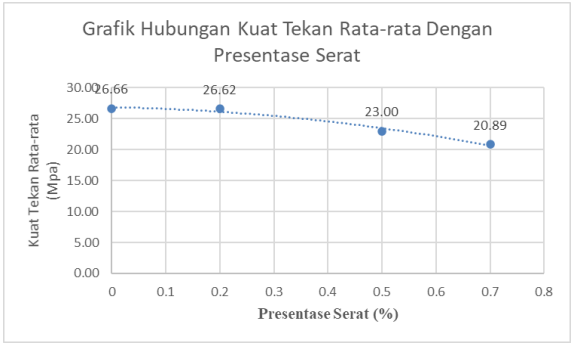
$f'c = \frac{477000}{17796,56}$

= 26,80 Mpa

Tabel 3. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer

Persentase Serat (%)	Kode	Tekanan Hancur (KN)	Teg. Hancur riil (MPa)	Teg. Hancur Rata-rata riil (MPa)
0	1	477	26.80	26.66
	2	472	26.52	
0.2	B1	456	25.43	26.62
	B2	479	27.81	
0.5	B3	397	22.59	23.00
	B4	415	23.42	
0.7	B5	383	21.64	20.89
	B6	362	20.13	

Sumber: Hasil Analisis



Sumber : Hasil Analisis

Gambar 3. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Presentase Serat

Dari gambar 3 pengujian kuat tekan, bisa disimpulkan bahwa penambahan serat mengakibatkan nilai kuat tekan pada beton geopolimer mengalami tren penurunan.

Analisis Data Kuat Tarik Belah Silinder

Pengujian kuat tarik belah dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan gaya gaya tarik tidak langsung. Benda uji berbentuk silinder 15 x 30 cm.
Contoh perhitungannya sebagai berikut:
Perhitungan nilai kuat tarik belah kode 1 (0%)

$T = \frac{2.P}{\pi.L.D}$

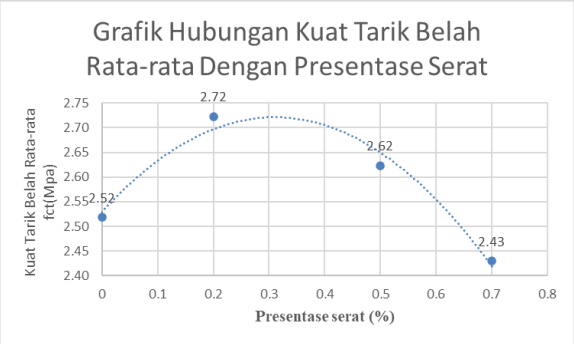
$= \frac{2.(177)(1000)}{(3,14)(300)(150)}$

= 2,50 Mpa

Tabel 4. Hasil Uji Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer

Persentase Serat (%)	Kode	Tekanan P (KN)	Tekanan P Rata-rata (KN)	Kuat Tarik Belah fct (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-rata fct (MPa)
0	1	177	178	2.50	2.52
	2	179		2.53	
0.2	B1	197	195	2.74	2.72
	B2	193		2.70	
0.5	B3	179	185.5	2.53	2.62
	B4	192		2.72	
0.7	B5	169	173.0	2.36	2.43
	B6	177		2.50	

Sumber: Hasil Analisis



Sumber : Hasil Analisis

Gambar 4. Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Presentase Serat

Dari hasil data pengujian kuat tarik belah bisa disimpulkan bahwa terjadi kenaikan nilai kuat tarik pada penambahan serat 0,2% yaitu 2,72 Mpa lalu terjadi penurunan saat penambahan serat dengan presentase 0,5% dan 0,7%.

Analisis Data Kuat Lentur Balok

Pada pengujian kuat lentur ini akan dihitung kemampuan benda uji (balok) untuk menahan beban lentur sebelum mengalami retak atau patah. Berikut contoh perhitungan benda uji (balok) dengan ukuran 15x15x64 cm pada presentase serat 0% :

$$\sigma 1 = \frac{P.L}{b.h\text{^}2}$$

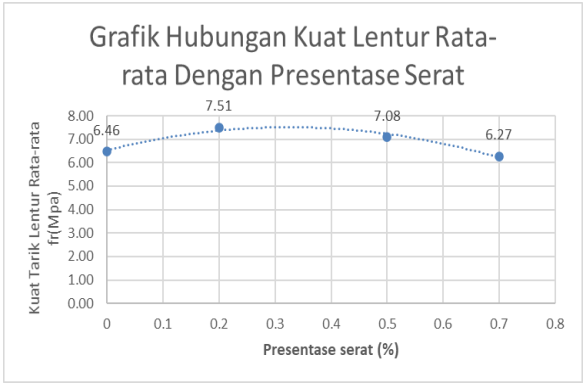
$$P = \frac{33000x640}{150(150)\text{^}2}$$

$$= 6{,}27 \text{ Mpa}$$

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Lentur Beton Geopolimer

Persentase Serat (%)	Tekanan P (KN)	Tekanan P Rata-rata (KN)	Kuat Tarik Lentur fr (MPa)	Kuat Tarik Lentur fr (MPa)
0	33	34	6.27	6.46
	35		6.65	
0.2	39	39.5	7.42	7.51
	40		7.61	
0.5	38.5	37.25	7.32	7.08
	36		6.84	
0.7	32	33.5	6.08	6.27
	35		6.46	

Sumber: Hasil Analisis



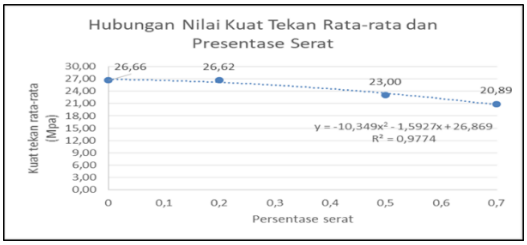
Sumber: Hasil Analisis

Gambar 5. Grafik Hubungan Kuat Lentur dengan Presentase Serat

Dari hasil data pengujian kuat tarik belah bisa disimpulkan bahwa terjadi kenaikan nilai kuat tarik pada penambahan serat 0,2% yaitu 7,51 Mpa lalu terjadi penurunan saat penambahan serat dengan presentase 0,5% dan 0,7%.

Nilai Optimum

a. Kuat Tekan

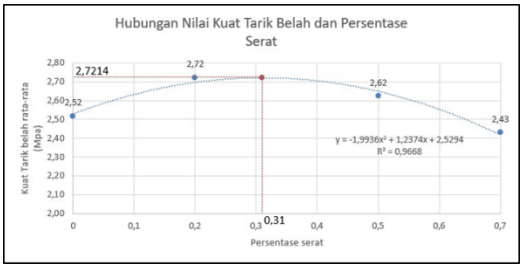


Sumber: Hasil Analisis

Gambar 6. Grafik Hubungan Nilai Kuat Tekan dengan Presentase Serat

Dari gambar 6 pengujian kuat tekan, bisa disimpulkan bahwa penambahan serat mengakibatkan nilai kuat tekan pada beton geopolimer mengalami tren penurunan sehingga tidak tercapai nilai optimum penambahan serat.

b. Kuat Tarik Belah



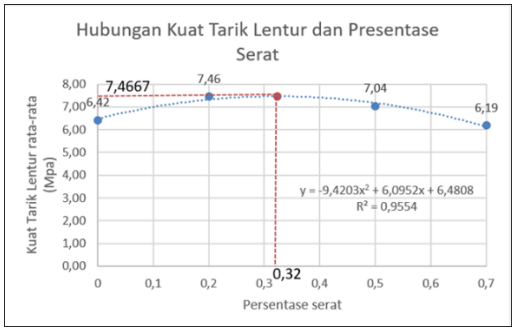
Sumber: Hasil Analisis

Gambar 7. Grafik Hubungan Nilai Kuat Tarik Belah dengan Presentase Serat

Dari gambar 7 dimana kita mendapatkan persamaan regresi kudratik y = - 1,9936x2 + 1,2374x + 2,5294. Diketahui bahwa analisis regresi merupakan pendekan matematis untuk

melihat tren umum dari data kita. Dari persamaan itu kita bisa mencari nilai optimum presentase serat yaitu 0,31% regresi digunakan untuk alat bantu untuk memahami hubungan antar variabel.

c. Kuat Lentur



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 8. Grafik Hubungan Nilai Kuat Lentur dengan Presentase Serat

Dari gambar 8 didapatkan persamaan regresi kuadratik y = - 9,4203x2 + 6,0952x + 6,4808. Diketahui bahwa analisis regresi merupakan pendekan matematis untuk melihat tren umum dari data kita. Dari persamaan itu kita bisa mencari nilai optimum presentase serat yaitu 0,32%. Regresi digunakan untuk alat bantu untuk memahami hubungan antar variabel.

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan perhitungan dan analisa hasil pengujian, maka dapat ditarik kesimpulan dari pengaruh penggunaan serat plastik PET terhadap sifat mekanis beton yaitu:

- Hasil pengujian kuat tekan rata-rata pada beton presentase 0,2%, 0,5 dan 0,7% berturut-turut yaitu 26,62 Mpa, 23,00 Mpa dan 20,89 Mpa mengalami penurunan dibandingkan beton tanpa serat 0% dengan nilai kuat tekan 26,66 Mpa.
- Hasil pengujian kuat tarik belah rata-rata pada beton presentase 0%, 0,2%, 0,5 dan 0,7% berturut-turut yaitu 2,52 Mpa, 2,72 Mpa, 2,62 Mpa, 2,43 Mpa. Pada presentase 0,2% terjadi peningkatan nilai kuat tarik belah kemudian mulai menurun setelah penambahan serat selanjutnya.
- Hasil pengujian kuat tarik lentur rata-rata pada beton presentase 0%, 0,2%, 0,5% dan 0,7% berturut-turut yaitu 6,42 Mpa, 7,46 Mpa, 7,04 Mpa, 6,19 Mpa. Pada presentase 0,2% terjadi peningkatan nilai kuat tarik lentur kemudian mulai menurun setelah penambahan serat selanjutnya.

Untuk nilai optimum penggunaan serat PET pada campuran beton, didapat hasil pengujian analisis regresi menunjukkan nilai presentase optimal untuk kuat tarik belah pada presentase 0,31% , nilai optimum untuk kuat tarik lentur pada presentase 0,32%. Sedangkan untuk kuat tekan tidak mendapatkan nilai optimum karena pada saat penambahan serat PET mengalami penurunan.

DAFTAR PUSTAKA

Buku

Nama Belakang Penulis, Inisial Nama Depan. (Tahun Publikasi). Judul Buku. Nama Penerbit, Kota Terbit.

Contoh:

Alfirahman dan Widodo, 2023. (2023). Efek Penambahan Serat Limbah Botol Polyethylene Terephthalate (PET) dan Fly Ash Terhadap Hasil Uji Ultrasonic Pulse Velocity Pada Self Compacting Concrete. Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil, 13(1), 1. https://doi.org/10.29103/tj.v13i1.795

Anonim. (2002). SNI 03-2847 Tata Cara Perhitungan Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version). Bandung : Badan Standarisasi Nasional

Anonim. (2009). *ASTM C33 Standard Specification for Concrete Aggregates. West Conshohocken*, PA: ASTM International.

Anonim. (2011b). SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Anonim SNI 2493-2011. (2011). Standarisasi Nasional Indonesia 03 - 4431 - 2011 : Cara uji kuat lentur kuat lentur beton normal dengan dua dengan dua titik pembebanan. www.bsn.go.id

Anonim SNI 2493:2011. (2011). SNI 2493:2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. Badan Standar Nasional Indonesia, 23. www.bsn.go.id

Davidovits, J. (1994). Properties of Geopolymer Cements. Journal First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, 131-149. www.geopolymer.org

Davidovits, J. (2013). Geopolymer Cement. Journal Institut Geopolymer, 1–11.

Modesta, E., & Andalas, U. (2019). Pengaruh Penggunaan Botol Plastik Polyethylene Terephthala Sebagai Tambahan Serat Terhadap Kekuatan Beton.

Turner, L. K., & Collins, F. G. (2013). Carbon dioxide equivalent (CO2-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete. Journal Construction and Building Materials, 43, 125-130. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.023

Nasvi et al., 2012. (2012). *Comparison of mechanical behaviors of geopolymer and class G cement as well cement at different curing temperatures for geological sequestration of carbon dioxide*. *46th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium 2012*, *1*(June 2012), 324–331.