

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

Donatus Tersin Dugis¹, Ester Priskasari², Mohammad Erfan³

¹Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jalan Sigura-gura nomor 02 Malang

Email: donatusdugis@gmail.com

²Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jalan Sigura-gura nomor 02 Malang

Email: esterpriskasari@ymail.com

³Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jalan Sigura-gura nomor 02 Malang

Email: Mohammaderfan@gmail.com

ABSTRACT

Geopolymer concrete is an inorganic aluminosilicate compound synthesized from byproduct materials such as fly ash, rice husk ash, and others, which contain Silica (Si) and Aluminum (Al). Fly ash has great potential as an alternative material in geopolymer concrete production due to its abundant availability and relatively low cost. Fly ash-based geopolymer concrete reduces the impact of using Portland cement as a basic material, which generates CO_2 emissions that harm the environment. The use of PET (Polyethylene Terephthalate) plastic is an alternative to reduce production costs and waste, as the plastic used can be sourced from recycled waste and is easily obtained. PET plastic fiber is a type of synthetic polymer made from two main raw materials: Ethylene Glycol (EG) and Terephthalate (PT). This study aims to analyze the impact of adding PET plastic at percentages of 0%, 0.2%, 0.5%, and 0.7% on the compressive strength, splitting tensile strength, and flexural strength of geopolymer concrete. The results showed that for compressive strength, the addition of fibers decreased the value. However, for splitting tensile strength and flexural strength, an increase occurred at 0.2% fiber addition, with average values of 2.72 MPa and 7.51 MPa, respectively. Regarding the optimum value of PET fiber usage, regression analysis showed an optimal percentage of 0.31% for splitting tensile strength and 0.32% for flexural strength. Meanwhile, no optimum value was obtained for compressive strength because it experienced a continuous decline upon the addition of PET fibers.

Keywords: Geopolymer Concrete, Fly Ash, PET Plastic Fiber

ABSTRAK

Beton geopolimer yaitu sebuah senyawa aluminio silikat anorganik yang disintesis 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 Terephthalate*) 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 Terephthalate*) 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. 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.

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 (SiO₂) dan Alumina (Al₂O₃). 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 (Na₂SiO₃) atau Kalium Silikat (K₂SiO₃).

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 & Taghvaei, 2022):

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

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 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	0,08%
9	MnO	0,49%
10	Fe ₂ O 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 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 : (Mathofani, Aziz. 2023) Hasil Analisis Pada Lab. FMIPA UM,2022

f. Serat Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)

Serat PET yang digunakan memiliki dimensi panjang 40 mm, lebar 5mm dan ketebalan 0,2mm dengan bentuk penampang pipih. Mengacu pada ACI 544.1R, parameter geometri serat ditentukan melalui aspek rasio

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 permukaan 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.

$$T = \frac{2P}{\pi lD}$$

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 perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan kepadanya sampai benda uji patah, dengan rumus sebaga berikut:

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

Dimana :

σl = Kuat lentur benda uji (Mpa)

P = Beban maksimum (N)

L = Jarak antara dua garis perletakan

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 variabel 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.

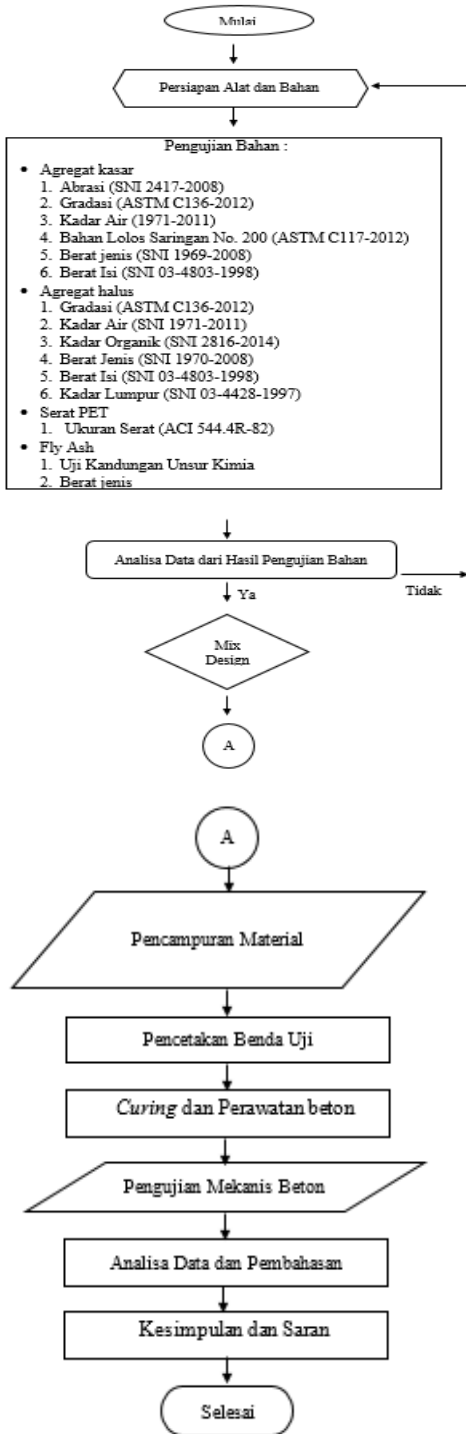
Metode Penelitian

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

Jumlah Sampel (Benda Uji)

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

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 tinggi sehingga menyebabkan campuran pasta lebih cepat mengeras. Sehingga perlu dilakukan beberapa metode campuran untuk mendapatkan hasil yang paling optimal.

Fly ash (300 gram) + alkali aktivator (KOH yang telah dilarutkan + Na₂SiO₃) dengan perbandingan Natrium Silikat (Na₂SiO₃) dan Kalium Hidroksida (KOH) adalah 3 : 1. Pada metode 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 kondisi SSD : 2,70
- Faktor Air Cementitious (W/C) : 0,435

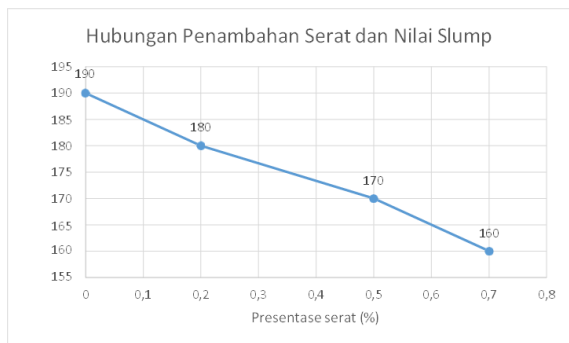
Tabel 2. Komposisi Akhir Campuran Beton Geopolimer Kondisi Lapangan untuk Benda Uji 4 silinder dan 2 balok bervariasi serat

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
Na ₂ SiO ₃ (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 dengan 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%)

$$P = 477 \text{ kN} = 477000 \text{ N}$$

$$A = 17796,56 \text{ mm}^2$$

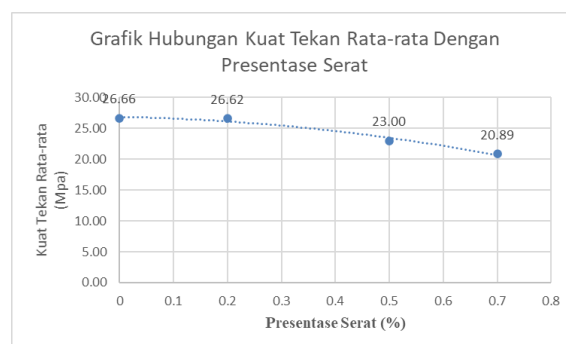
$$f'c = \frac{477000}{17796,56}$$

$$= 26,80 \text{ Mpa}$$

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, 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 tarik tidak langsung. Benda uji berbentuk silinder 15 x 30 cm.

Contoh perhitungannya sebagai berikut:

Perhitungan nilai kuat tarik belah kode 1 (0%)

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

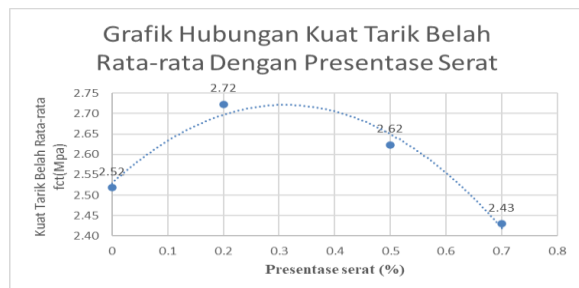
$$= \frac{2.(177)(1000)}{(3,14)(300)(150)}$$

$$= 2,50 \text{ Mpa}$$

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 kenaikan nilai kuat tarik pada penambahan serat 0,2% yaitu 2,72 Mpa

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% :

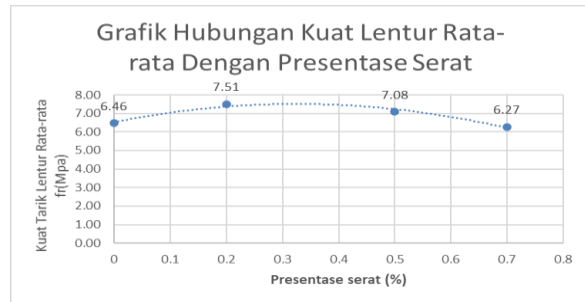
$$\sigma_1 = \frac{P.L}{b.h^2}$$

$$P = \frac{33000 \times 640}{150(150)^2} = 6,27 \text{ Mpa}$$

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



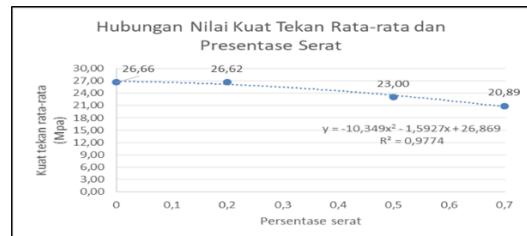
Sumber: Hasil Analisis

Gambar 5. Grafik Hubungan Kuat Lentur dengan Presentase Serat

Dari hasil data kenaikan nilai kuat tarik pada penambahan serat 0,2% yaitu 7,51

Nilai Optimum

a. Kuat Tekan



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 6. Grafik Hubungan Nilai Kuat Tekan dengan Presentase Serat

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

b. Kuat Tarik Belah

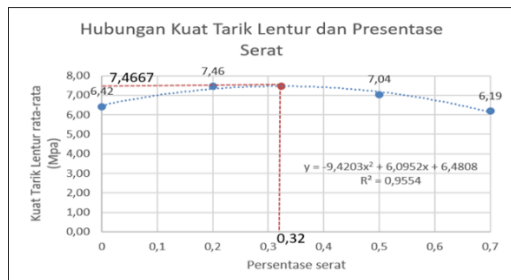


Sumber: Hasil Analisis

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

Dari gambar 7 disimpulkan bahwa nilai Optimum Presentase serat yaitu 0,31%

c. Kuat Lentur



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 8. Grafik Hubungan Nilai Kuat Lentur dengan Presentase Serat

Dari gambar 8 terdapat untuk mencari nilai optimum yaitu 0,32%.

5. KESIMPULAN

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

- Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, terlihat adanya korelasi negatif antara penambahan kadar serat PET dengan nilai kuat tekan beton geopolimer. Nilai kuat tekan tertinggi dicapai oleh beton tanpa serat (0%) sebesar 27,73 MPa, namun seiring dengan meningkatnya persentase serat menjadi 0,2%, 0,5%, hingga 0,7%, kekuatan tekan mengalami reduksi bertahap hingga menyentuh angka 21,88 MPa. Penurunan ini mengindikasikan bahwa peningkatan volume serat plastik yang bersifat non-struktural dapat menimbulkan rongga (void) yang lebih banyak pada matriks beton, sehingga mengurangi kepadatan dan integritas struktur beton dalam menahan beban tekan.
- Analisis terhadap pengujian kuat tarik belah menunjukkan bahwa penambahan serat PET pada kadar rendah, yaitu 0,2%, memberikan kontribusi yang paling optimal dengan nilai kekuatan mencapai 2,24 MPa. Hal ini membuktikan bahwa pada proporsi tertentu, serat PET mampu berfungsi sebagai jembatan mikro (micro-bridging) yang menahan perambatan retak tarik. Namun, seiring dengan penambahan dosis serat yang lebih besar pada variasi 0,5% dan 0,7%, nilai kuat tarik belah justru mengalami penurunan kembali, yang menandakan bahwa kelebihan kadar serat dapat mengganggu homogenitas campuran dan melemahkan ikatan antarmuka (interface bond) antara serat dengan pasta geopolimer.

- Penggunaan serat PET dalam campuran beton geopolimer secara signifikan memberikan pengaruh positif terhadap kapasitas lentur struktur dibandingkan dengan beton tanpa serat. Hasil pengujian menunjukkan nilai kuat lentur maksimum pada variasi serat 0,2% sebesar 4,84 MPa, yang mana nilai ini masih jauh melampaui performa beton normal (0%). Meskipun pada penambahan kadar 0,5% dan 0,7% terjadi fluktuasi penurunan kekuatan, nilai akhirnya tetap konsisten berada di atas nilai kuat lentur beton tanpa serat.

Berdasarkan evaluasi menyeluruh terhadap seluruh parameter pengujian, dapat disimpulkan bahwa persentase penambahan serat PET sebesar 0,2% merupakan kadar optimum dalam meningkatkan performa mekanik beton geopolimer. Pada titik ini, serat PET mampu memberikan peningkatan signifikan pada kuat lentur dan kuat tarik belah tanpa mendegradasi kuat tekan secara drastis. Hal ini menunjukkan bahwa dosis 0,2% menghasilkan distribusi serat yang paling homogen dalam matriks geopolimer, sehingga mekanisme fiber bridging dapat bekerja secara maksimal dalam menahan inisiasi retak tanpa menciptakan rongga udara (void) yang berlebihan.

DAFTAR PUSTAKA

544.4R-88, A. A. (1969). Design Consideration for R.T.L. Transistor Switching and Sequential Circuits, 88(Reapproved), 207–210. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-012982-2.50015-x>

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.*
- Wardhono, A. (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>