STUDI PENELITIAN PADA BETON GEOPOLIMER BERSERAT BENDRAT BERDASARKAN KUAT TEKAN BETON, KUAT TARIK BELAH DAN KUAT TARIK LENTUR

Clara Liberty Nona Vilian[1], Ir. Ester Priskasari[2], dan Dr. Yosimson P. Manaha[3]

[1]Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jalan Terusan Sigura-gura Blok F No. 65B Malang
Email: claralibertynona@gmail.com
[2] Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jalan Sigura-gura nomor 02 Malang
Email: ester priskasari@ymail.com
[3]Prodi Teknik Sipil, ITN Malang, Jalan Sigura-gura nomor 02 Malang
Email: yosimson m@yahoo.co.id

ABSTRACT

Geopolymer concrete is used an environmentally friendly alternative to Portland cement, by utilizing fly ash type C from Paiton PLTU as a binder and a mixture of Potassium Hydroxide (KOH) and Sodium Silicate (Na2SiO3) as an activator solution. This study aims to analyze the effect of the addition of bendrat fiber on the mechanical properties of geopolymer concrete, especially compressive strength splitting tensile strength, and flexural tensile strength. The variations in the bendrat fiber content used were 0%, 0,5%, 1%, and 1,5% of the concrete mixture volume. Testing was carried out at the age of 7 days of concrete with a curing process at room temperature, using cylindrical test specimens measuring Ø15x30 cm for compressive and splitting tensile strength tests, and 15x15x60 cm beams for flexural strength tests. The results showed that the addition of bendrat fiber had a significant effect on increasing the mechanical properties of geopolymer concrete. The highest compressive strength value was obtained at 1,5% fiber variation with an average of 46,56 MPa, an increase from 26,63 MPa in concrete without fiber. Splitting tensile strength also increased from 2,53 MPa to 3,73 MPa, while flexural strength increased from 6,47 MPa to 7,02 MPa at the same fiber content. Regression analysis showed a positive relationship between increasing fiber content and concrete mechanical strength up to an optimum limit of 1,5%. Therefore, the use of 1,5% bendrat fiber is recommended as the most effective composition for improving the mechanical performance of geopolymer concrete without compromising the workability of the mixture.

Keywords: Geopolymer concrete, fly ash, bendrat fiber

ABSTRAK

Beton geopolimer digunakan sebagai alternatif ramah lingkungan pengganti semen Portland, dengan memanfaatkan *fly ash* tipe C dari PLTU Paiton sebagai bahan pengikat dan larutan aktivator campuran Kalium Hodrokksida (KOH) dan Natrium Silikat (Na_2SiO_3). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan serat bendrat terhadap sifat mekanis beton geopolymer, khususnya kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur. Variasi kadar serat bendrat digun akan Adalah 0%, 0,5%, 1% dan 1,5% dari volume campuran beton. Pengujian dilakukan pada umur beton 7 hari dengan proses perawatan (curing) pada suhu ruangan, menggunakan benda uji berbentuk silinder berukuran Ø15 x Ø30 cm untuk uji kuat tekan dan Tarik belah, serta balok Ø15 x Ø15 x Ø60 cm untuk uji kuat lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat bendrat berpengaruh signifikan terhadap peningkatan sifat mekanis beton geopolimer. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi serat 1,5% dengan rata-rata 46,56 MPa, meningkat dari 26,63 MPa pada beton tanpa serat. kuat tarik belah juga meningkat dari 2,53 MPa menjadi 3,73 MPa, sedangkan kuat kentur naik dari 6,47 MPa menjdai 7,03 MPa pada kadar serat yang sama. Analisis regresi menunjukkan hubungan positif antara peningkatan kadar serat dengan kekuatan mekanik beton hingga batas optimum 1,5%. Dengan demikian, panggunaan serat bendrat sebesar 1,5% direkomendasikan sebagai komposisi paling efektif untuk meningkatkan performa mekanik beton geopolimer tanpa menurunkan workabilitas campuran.

Kata kunci: Beton geopolimer, *fly ash*, serat bendrat

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam Pembangunan infrastruktur [(Mehta & Monteiro, 2014)]. Seiring Dengan meningkatnya kesadaran terhadap dampak lingkungan akibat penggunaan semen Portland konvensional, beton geopolymer menjadi alternatif

Yang menarik karena tidak memerlukan semen sebagai bahan pengikat utama [(Davidovits, 1999 M)].

Beton geopolimer menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dan agregat halus sehingga memiliki potensi untuk menjadi bahan dasar beton. *Fly ash* merupakan sisa pembakaran batu bara yang banyak mengandung Silika (SiO_2) dan Aluminia (Al_2O_3). Pada penggunaannya *fly ash* membutuhkan activator untuk mempercepat proses polimerisasi. Aktivator yang digunakan Adalah campuran Natrium Hodroksida (NaOH) atau Kalium Hidroksida (KOH) dengan Natrium Silikat (Na_2SiO_3) atau Kalium Silikat (K_2SiO_3).

Berdsarkan Penelitian terlebih dahulu, dapat disimpilkan bahwa penambhan serat kedalam adukan beton dapat meningkatkan kuat lentur, sekaligus daktilitasnya secara dranatis (Suhendro, 1990). Selain itu, penambahan serat fiber kedalam adukan beton dapat meningkatkan kuat tarik beton. (Sudamoko, 1991)

2. DASAR TEORI

Teori Beton Geopolimer

Beton geopolimer adalah bahan ramah lingkungan yang dibuat sebagai pengganti beton semen di masa depan. Beton ini tidak memakai semen portland, tapi diganti dengan bahan yang punya aluminium dan silika, seperti *fly ash*, abu bekatul, atau abu vulkanik. (Davidovits, 1997)
Semen geopolimer mengeras cepat pada suhu kamar dan memberikan nilai kuat tekan dalam kisaran 15 - 20 MPa, setelah hanya 4 jam pada suhu 20^{o}C, saat diuji sesuai dengan standar yang diterapkan pada mortar pengikat hidrolik. kekuatan kompresi 28 hari terakhir berada dikisaran 70 - 100 MPa. (Davidovits, 1994)

Beton Serat

Beton serat adalah beton biasa yang dicampur dengan serat buatan atau alami untuk memperbaiki sifat mekanisnya. Penambahan serat berfungsi mencegah retak, meningkatkan kekuatan tarik, lentur, serta ketahanan terhadap kelelahan, susut, abrasi, pecahan, dan pengelupasan (ACI). Beton serat tersusun dari semen, agregat halus, agregat kasar, dan serat yang tersebar acak, serta dapat ditambah bahan aditif.
Tujuan utama penambahan serat adalah meningkatkan kekuatan tarik beton yang secara alami rendah, sehingga beton lebih tahan retak. Meski serat tidak banyak meningkatkan kuat tekan, keberadaannya membuat beton lebih lentur dan memiliki ketahanan yang lebih baik. [(Tjokrodimulyo, 1996)]

Fly Ash sebagai Material Geopolimer

Fly ash merupakan limbah hasil pembakaran batubara di PLTU. Berdasarkan kandungan kimianya, *fly ash* terbagi menjadi tipe F (low calcium) dan tipe C (high calcium). *Fly ash* tipe C yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan CaO tinggi yang mempercepat reaksi ikatan dalam beton geopolimer. Dengan kandungan silika dan alumina, *fly ash* mampu berperan sebagai pengikat setelah diaktivasi dengan larutan alkali.

Alkali Aktivator

Alkali aktivator berfungsi mengaktifkan kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) pada *fly ash*. Kombinasi natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) mempercepat proses polimerisasi dan berpengaruh langsung pada kuat tekan beton. Variasi molaritas dan rasio campuran keduanya menentukan kualitas mekanik beton geopolimer

Pengelolaan Data

Untuk menjamin validitas hasil penelitian, dilakukan analisis statistik, meliputi:
1. Interval Kepercayaan (95%): digunakan untuk memastikan data hasil pengujian berada pada rentang yang reliabel.
2. Analisis Regresi: digunakan untuk mengetahui hubungan antara variasi serat bendrat dan sifat mekanik beton (kuat tekan, tarik belah, dan lentur)
3. Uji Hipotesis: dilakukan untuk menilai signifikansi pengaruh penambahan serat bendrat terhadap beton geopolimer berbasis *fly ash*.

Hipotesis Penelitian

Hipotesis merupakan jawaban sementara atas permasalahan penelitian, yang akan diuji kebenarannya berdasarkan data empiris. Hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:.
1. Hipotesis Nol (H_0): Penambahan serat bendrat tidak berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik beton geopolimer berbasis *fly ash.*
2. Hipotesis Alternatif (H_a): Penambahan serat bendrat berpengaruh signifikan terhadap peningkatan sifat mekanik beton geopolimer berbasis *fly ash.*

3. GAMBAR DAN TABEL

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang. Analisis komposisi kimia *fly ash* dilakukan di Laboratorium Mineral dan Material Maju, Institut Teknologi Nasional Malang. Waktu penelitian berlangsung pada bulan Maret 2025 hingga Juli 2025, mencakup tahap persiapan material, pembuatan benda uji, perawatan pengujian, dan analisis data

Tabel 1. Waktu Penelitian

No	Nama Kegiatan	Waktu 2025																											
		Bulan Ke-3				Bulan Ke-4				Bulan Ke-5				Bulan Ke-6				Bulan Ke-7				Bulan Ke-8			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur																								
2	Penyusunan Proposal penelitian																								
3	Seminar Proposal																								
4	Pemilihan Alat & Material																								
5	Pengujian Material																								
6	Pembuatan Mix Design																								
7	Pengecoran Benda Uji																								
8	Perawatan (Curing)																								
9	Pengujian Benda Uji																								
10	Pengolahan Data Hasil Pengujian																								
11	Pembahasan Hasil Pengujian (BAB IV &																								

Tabel 2. Rencana Anggaran Biaya Penelitian

NO	Uraian	Satuan	Jumlah	Harga Satuan	Total
1	Material Beton				
	Semen	30 kg/sak	3	Rp 15,000.00	Rp 45,000.00
	Pasir	pick up	1	Rp 300,000.00	Rp 300,000.00
	Kerikil	pick up	1	Rp 275,000.00	Rp 275,000.00
	Kalium Hidroksida (Kg)	1	9	Rp 55,000.00	Rp 495,000.00
	Natrium Silikat (Liter)	1	24	Rp 17,500.00	Rp 420,000.00
	Air	-	-	-	-
2	Peralatan				
	Laboratorium	unit	1	Rp 500,000.00	Rp 500,000.00
3	Lain-lain				
	Tenaga Kerja	Orang/hari	1	Rp -	Rp -
Total					Rp 2,035,000.00

UNTUK MEMBUAT 16 LITER LARUTAN KOH 10 MOLARITAS

Sisa biaya yang harus disediakan Rp 1,535,000.00 → Sudah dikurangi dengan biaya Lab

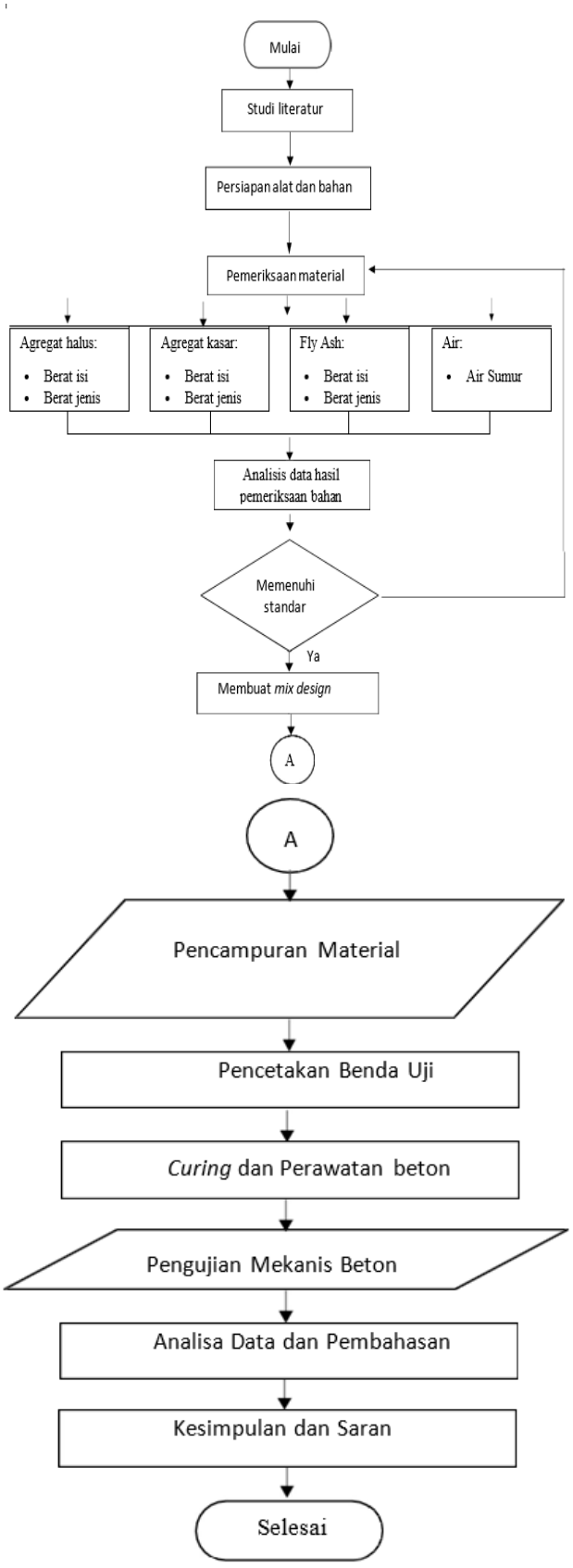
Populasi dan Sampel

Dalam penelitian ini, keseluruhan objek yang diuji dapat dianggap sebagai populasi, sementara objek yang mewakili sebagian anggota populasi disebut sampel. Variasi campuran dan jumlah sampel (objek uji) ditentukan sebagai berikut:

Tabel 3. Variasi Pengujian Beton

Jenis Pengujian	Variasi Serat	Umur (hari)	Ukuran Sampel (cm)	Jumlah Sampel (buah)
Kuat Tekan	0,5%	7	Silinder 15 x 30	2
Kuat Tekan	1%	7	Silinder 15 x 30	2
Kuat Tekan	1,5%	7	Silinder 15 x 30	2
Kuat Tarik Belah	0,5%	7	Silinder 15 x 30	2
Kuat Tarik Belah	1%	7	Silinder 15 x 30	2
Kuat Tarik Belah	1,5%	7	Silinder 15 x 30	2
Kuat Lentur	0,5%	7	Balok 60 x 15 x15	2
Kuat Lentur	1%	7	Balok 60 x 15 x15	2
Kuat Lentur	1,5%	7	Balok 60 x 15 x15	2
Total				18

Diagram Alir Penelitian



4. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Material Campuran Beton

Seluruh pengujian material yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Bangunan, Kampus 1, ITN Malang bertujuan untuk mengetahui mutu dan karakteristik agregat maupun semen sebagai bahan penyusun beton. Pemeriksaan meliputi berat isi, gradasi butiran, kadar lumpur, kadar air, berat jenis dan penyerapan agregat, serta konsistensi normal dan waktu ikat semen. Hasil dari pengujian ini menjadi dasar penting dalam menentukan proporsi campuran beton yang tepat agar diperoleh beton dengan sifat mekanis sesuai standar dan berkualitas baik.

Tabel 4. Rangkuman Hasil Pengujian Material

No.	Pengujian	Standar Acuan	Spesifkasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Isi Agregat Kasar (g/cm³)	SNI 03-4804-1998			
	• Gembur		-	1,391	-
	• Padat		-	1,476	-
2	Berat Isi Agregat Halus (g/cm³)	SNI 03-4804-1998			
	• Gembur		-	1,658	-
	• Padat		-	1,759	-
3	Berat Isi *Fly Ash* (g/cm3)	SNI 03-4804-1998			
	• Gembur		-	1,186	-
	• Padat		-	1,294	-
4	Analisis Saringan Agregat Kasar	SNI 03-1968-1990	-	Maks. 25mm	-
5	Analisis Saringan Agregat Halus	SNI 03-1968-1990	-	Zona 2	-
6	Bahan Lolos Saringan No.200 Agregat Halus (%)	SNI 03-4142-1996	Maks. 5	1,03	Memenuhi
7	Kadar Lumpur Agregat Halus (%)	SNI 03-4428-1997	Maks. 5	0,20	Memenuhi
8	Kadar Zat Organik Agregat Halus	SNI 2816:2014	-	Warna Cairan Bening	-
9	Kadar Air Agregat Kasar (%) • Asli • SSD	SNI 03-1971-1990		1,38 1,87	- -
10	Kadar Air Agregat Halus (%) • Asli • SSD	SNI 03-1971-1990	-	4,28 0,46	- -
11	BJ dan Penyerapan Agregat Kasar • Berat Jenis Bulk • Berat Jenis Ssd • Berat Jenis Apparent • Penyerapan (Absorbsi)	SNI 1970:2008	-	2,65 2,70 2,79 1,87	-
12	BJ dan Penyerapan Agregat Halus • Berat Jenis Bulk • Berat Jenis Ssd • Berat Jenis Apparent • Penyerapan (Absorbsi)	SNI 1969:2008	-	2,70 2,72 2,74 0,46	-
13	BJ *Fly Ash*	SNI 03-2531-1991	-	2,56	-
14	Abrasi *(los angeles)* %	SNI 2417 - 2008	Maks. 40	13,43	Memenuhi
15	Konsistensi dan Waktu ikat *Fly Ash* • Waktu Ikat Awal (menit) • Waktu Ikat Akhir (menit)	SNI 15-2049-2004	Min. 23 Maks. 36		

Sumber: *Hasil Analisis*

Tabel 4. merangkum hasil pengujian karakteristik material beton yang meliputi agregat kasar, agregat halus, dan semen. Seluruh parameter memenuhi standar SNI, termasuk kadar lumpur, abrasi, dan waktu ikat. Material dinyatakan layak untuk digunakan dalam campuran beton.

Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Metode desain campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah SNI 03-2834-2000 (tata cara rencana campuran beton normal) dan SNI 2847-2013/2019 untuk menyesuaikan parameter geopolimer agar hasil campurannya dapat memenuhi kriteria SNI yang relevan terkait Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Sebelum memulai tahap perhitungan untuk mendapatkan jumlah komposisi campuran, ada beberapa hal yang harus diperhatikan saat merancang campuran beton. Salah satunya adalah bahwa campuran harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan.

Tabel 5. Kebutuhan Campuran Beton Benda Uji Silinder Dan Balok

Bahan	Variasi Serat Aluminium (%)			
	0	0,05	1	1,5
Fly Ash (Kg)	12,45	24,90	24,90	24,90
Serat Bendrat (Kg)	0,00	1,963	3,93	5,89
Agregat Halus (Kg)	23,89	47,78	47,78	47,78
Agregat Kasar (Kg)	31,94	63,89	63,89	63,89
KOH (Kg/L)	1,71	2,69	2,69	2,69
Na_2SiO_3 (Kg/L)	5,12	8,07	8,07	8,07

Sumber: *Hasil Analisis*

Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Persiapan Material dan Bekisting

Persiapan *fly ash*, agregat halus, agregat kasar, dan larutan alkali dilakukan dengan menimbang sesuai kebutuhan masing-masing variasi presentase serat. Persiapan pembuatan larutan KOH 8 (M) dilakukan sehari seblum pengecoran dikarenakan KOH membutuhkan waktu 24 jam untuk larut sempurna dan mencapai keseimbangan konsentrasi atau molaritas. Persiapan bekisting dilakukan dengan dibersihkan menggunakan sikat baja agar tidak ada sisa dari pengecoran sebelumnya dan dioleskan pelumas ke seluruh bekisting.

Pencampuran dan Pencetakan Benda Uji

Pencampuran beton geopolimer dilakukan manual karena cepat mengeras. Larutan KOH dan Na_2SiO_3 dicampur terlebih dahulu, lalu agregat (batu kecil, batu besar, abu terbang, dan serat aluminium) diaduk terpisah. Larutan aktivator ditambahkan sedikit demi sedikit sambil diaduk hingga homogen, kemudian dilakukan uji slump untuk mengetahui kekentalan. Campuran dituang ke bekisting yang sudah dilapisi oli bekas, lalu dipadatkan dengan penusukan besi 25 kali tiap lapisan agar udara hilang. Setelah pengecoran, benda uji diberi tanda, dibuka bekistingnya setelah ±24 jam, lalu dirawat pada suhu ruang selama 7 hari sesuai kebutuhan uji.

Perawatan Benda Uji

Setelah ±24 jam, benda uji dikeluarkan dari bekisting dan didiamkan di suhu ruang selama 7 hari, sesuai kebutuhan uji. Lalu benda uji diuji kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur.

Pengujian Slump Beton Serat Aluminium

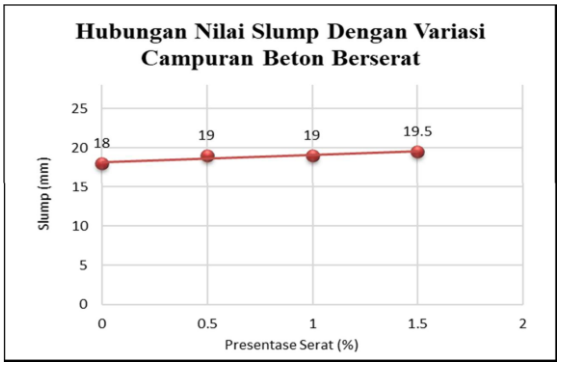
Pengujian slump beton digunakan untuk mengetahui ukuran derajat kemudahan dalam pengecoran adukan beton segar. Slump yang direncanakan dalam perhitungan mix design adalah 18±2 cm. Berikut merupakan hasil pengujian slump yang dilakukan pada masing-masing variasi campuran beton serat.

Tabel 6. Slump Tiap variasi Campuran Beton Serat Bendrat

Kode	*Slump* (cm)
NP 0%	18
NP 0,5%	19
NP 1%	19
NP 1,5%	19,5

Sumber: *Hasil Analisis*

Dari data diatas menunjukkan hasil uji slump setiap variasi beton geopolymer berserat, berdasarkan data pengujian slump diatas, berikut ini ditampilkan grafik hasil pengujian slump.



Gambar Grafik 1. Hubungan Nilai Slump Dengan Variasi Campuran Beton Geopolimer Serat
Sumber: *Hasil Penelitian*

Analisis Data Kuat Tekan

Hasil uji kuat tekan silinder diperoleh dari hasil sampel uji dengan masing-masing variasi persentase serat 0%, 0,5%, 1%, dan 1,5%.

Tabel 7. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Silinder Umur 7 Hari

No.	Dimensi		Tanggal buat	Tanggal test	Umur (hari)	Berat (kg)	Berat Isi (kg/m³)	Luas Bidang (mm²)	Tekanan hancur (KN)	Teg Hancur nil (MPa)	Teg. Hancur 7 hari (MPa)
	Dia (cm)	T (cm)									
	PRESENTASE SERAT 0.5%										
1	15.68	29.90	7/10/2025	7/17/2025	7	13.42	2323.40	19309.99	333	17.24	26.53
2	15.56	30.45	7/10/2025	7/17/2025	7	13.26	2289.14	19015.56	347	18.25	28.72
	PRESENTASE SERAT 1%										
3	15.48	29.97	7/10/2025	7/17/2025	7	13.62	2413.70	18820.53	544	28.90	44.47
4	15.52	29.95	7/10/2025	7/17/2025	7	13.44	2371.12	18917.92	527	27.86	40.79
	PRESENTASE SERAT 1.5%										
5	15.10	30.10	7/11/2025	7/18/2025	7	13.68	2536.89	17907.86	583	32.56	50.09
6	14.95	30.03	7/11/2025	7/18/2025	7	13.36	2533.82	17553.85	491	27.97	43.03
	PRESENTASE SERAT 0%										
7	15.11	30.10	7/11/2025	7/18/2025	7	13.31	2465.01	17931.59	353	19.69	30.29
8	15.03	30.10	7/11/2025	7/18/2025	7	13.13	2457.63	17742.22	322	18.15	26.57
	Rata - rata tegangan hancur 7 hari (MPa)										37.42

Sumber: *Hasil Analisis*



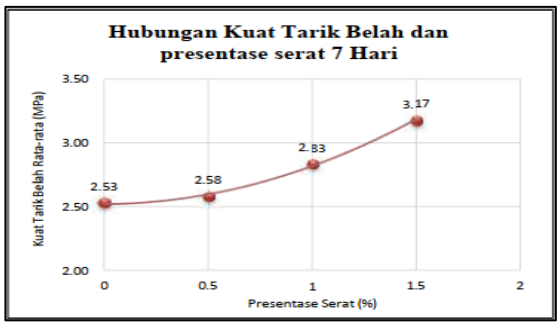
Gambar Grafik 2. Hubungan Kuat Tekan dan Presentase Serat (%)
Sumber: *Hasil Penelitian*

Analisis Data Tarik Belah

Tabel 8. Hasil Uji Kuat Tarik Belah Beton Silinder Umur 7 Hari

No.	Dimensi		Tanggal buat	Tanggal test	Umur (hari)	Bentuk benda uji	Berat (kg)	Berat Isi (kg/m³)	Tekanan P (KN)	Kuat Tarik Belah fct (MPa)
	Dia (cm)	T (cm)								
	PRESENTASE SERAT 0.5%									
1	15.69	30.13	7/10/2025	7/17/2025	7	Silinder 15x30	13.46	2309.59	189.00	2.55
2	15.62	30.13	7/10/2025	7/17/2025	7	Silinder 15x30	13.23	2290.52	193.00	2.61
	PRESENTASE SERAT 1%									
3	15.08	30.1	7/11/2025	7/18/2025	7	Silinder 15x30	13.59	2526.89	203.00	2.85
4	15.09	30.07	7/11/2025	7/18/2025	7	Silinder 15x30	13.37	2485.18	201.00	2.82
	PRESENTASE SERAT 1.5%									
5	15.04	30.04	7/11/2025	7/18/2025	7	Silinder 15x30	13.37	2503.21	236.00	3.32
6	15.01	30.01	7/11/2025	7/18/2025	7	Silinder 15x30	13.5	2541.22	214.00	3.02
	PRESENTASE SERAT 0%									
7	15.11	29.98	7/11/2025	7/18/2025	7	Silinder 15x30	13.14	2443.28	162.00	2.28
8	16.11	30.98	7/11/2025	7/18/2025	7	Silinder 15x30	13.14	2079.98	162.00	2.78
	Rata - rata kuat tarik belah fct (MPa)									

Sumber: *Hasil Penelitian*



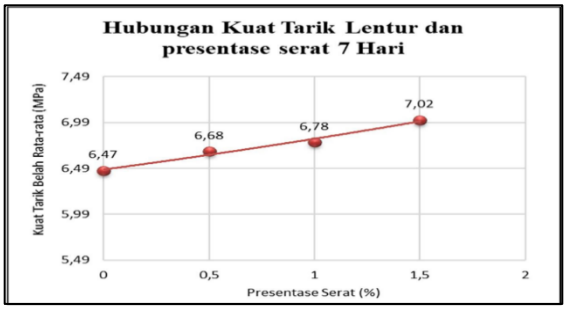
Gambar Grafik 3. Hubungan Kuat Tarik Belah dan Presentase Serat (%)
Sumber: *Hasil Penelitian*

Analisis Data Tarik Lentur

Tabel 9 Hasil Uji Kuat Tarik Lentur Beton Silinder Umur 7 Hari

No.	Dimensi				Tanggal buat	Tanggal test	Umur (hari)	Bentuk benda uji	Berat (kg)	Berat isi (kg/m³)	Tekanan P (KN)	Kuat Tarik Lentur fr (MPa)
	L (cm)	p (cm)	t (cm)	t (cm)								
	PRESENTASE SERAT 0,5%											
1	64	64.0	15.4	15.8	7/10/2025	7/17/2025	7	Balok 64x15x15	38.07	2447.88	32	6.95
2	64	64.0	15.0	15.5	7/10/2025	7/17/2025	7	Balok 64x15x15	37.94	2543.17	29	6.70
	PRESENTASE SERAT 1%											
3	64	64.0	15.2	15.4	7/10/2025	7/17/2025	7	Balok 64x15x15	38.42	2562.90	36	6.81
4	64	64.0	15.2	15.1	7/11/2025	7/18/2025	7	Balok 64x15x15	38.81	2656.06	38	7.22
	PRESENTASE SERAT 1,5%											
5	64	64.0	15.5	15.5	7/11/2025	7/18/2025	7	Balok 64x15x15	38.72	2519.84	39	6.67
6	64	64.0	16.0	17.0	7/11/2025	7/18/2025	7	Balok 64x15x16	39.2	2250.43	45	5.42
	PRESENTASE SERAT 0%											
7	64	64.0	14.9	15.4	7/12/2025	7/19/2025	7	Balok 64x15x15	37.11	2523.66	21	6.71
Rata - rata kuat tarik lentur fr (MPa)												6.55

Sumber: *Hasil Penelitian*



Gambar Grafik 4. Hubungan Kuat Tarik Lentur dan Presentase Serat (%)
Sumber: *Hasil Penelitian*

Analisis Regresi

Uji interval kepercayaan telah digunakan untuk memilah data kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur beton. Selanjutnya, dilakukan penelitian terhadap hubungan antara parameter dan penambahan variasi serat aluminium dalam campuran beton. Untuk mengetahui korelasi tersebut, digunakan metode regresi fungsi kuadratik. Persamaannya adalah $\hat{Y} = a + bX + cX^2$.

Berikut ini perhitungan regresi dilakukan pada data kekuatan tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur beton setelah 7 hari. Nilai X yang digunakan dalam penelitian ini adalah tingkat variasi serat bendrat (%).

Tabel 10. Data Variasi Serat Bendrat dan Rata – Rata Kuat Tekan Beton Pada Umur 7 Hari

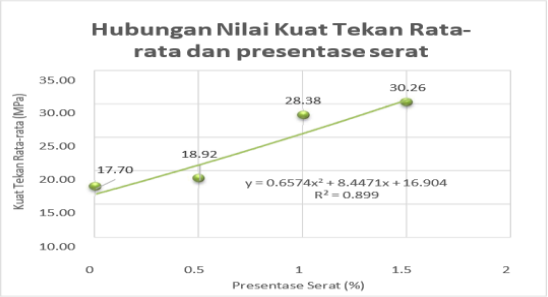
Variasi Serat (%)	Kuat Tekan Rata – Rata (MPa)
0	15,75
0,5	19,84
1	19,29
1,5	22,19

Sumber: *Hasil Penelitian*

Tabel 11. Data Regresi Kuat Tekan Beton Pada Umur 7 Hari

NO	X	Y	InY	X.In(Y)	X²
1	0	26,63	3,045	0,000	0,00
2	0,5	28,43	2,653	0,133	0,25
3	1	42,63	2,546	0,191	1,00
4	1,5	46,56	2,228	0,223	2,25
Total (∑)	3,000	144,24	10,473	0,546	3,50

Sumber: *Hasil Penelitian*



Gambar Grafik 5. Hubungan Kuat Tekan dan Presentase Serat
Sumber: *Hasil Penelitian*

Tabel 12. Data Variasi Serat Bendrat dan Rata – rata Kuat Tarik Belah Beton Pada Umur 7 Hari

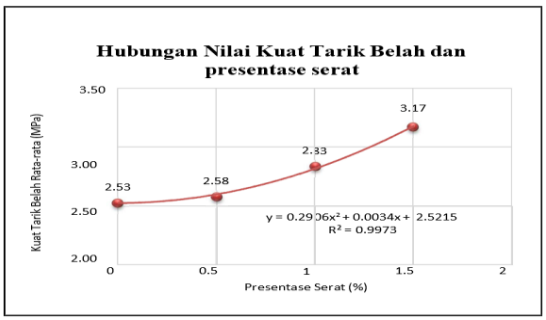
Variasi Serat (%)	Kuat Tarik Rata – Rata (MPa)
0	2,53
0,5	2,58
1	2,83
1,5	3,17

Sumber: *Hasil Penelitian*

Tabel 13. Data Regresi Kuat Tarik Belah Beton Pada Umur 7 Hari

No	X	Y	Y^2	X^2	X^3	X^4	XY	X^2Y
1	0	2,53	6,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,5	2,58	6,65	0,25	0,13	0,06	1,29	0,64
3	1	2,83	8,03	1,00	1,00	1,00	2,83	2,83
4	1,5	3,17	10,08	2,25	3,38	5,06	4,76	7,14
Total (∑)	3,00	11,11	31,14	3,50	4,50	6,13	8,88	10,62

Sumber: *Hasil Penelitian*



Gambar Grafik 6. Analisis Regresi Menunjukkan Korelasi Kuat Tarik Belah Beton Umur 7 Hari Dan Penambahan Serat Bendrat
Sumber: *Hasil Analisis*

Tabel 14. Data Variasi Serat Bendrat dan Rata – Rata Kuat Tarik Lentur Beton Pada Umur 7 Hari

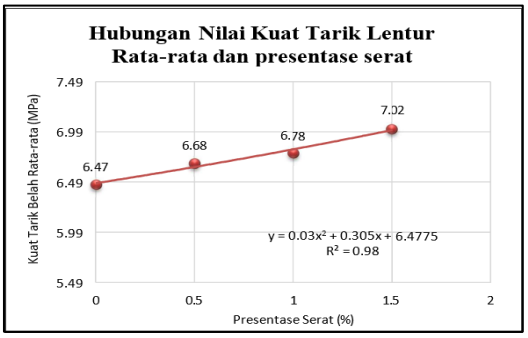
Variasi Serat (%)	Kuat Tarik Lentur Rata - Rata (MPa)
0	6,47
0,5	6,68
1	6,78
1,5	7,02

Sumber: *Hasil Analisis*

Tabel 15. Data Regresi Kuat Tarik Lentur Beton Pada Umur 7 Hari

No	X	Y	Y^2	X^2	X^3	X^4	XY	X^2Y
1	0	6,47	41,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,5	6,68	44,56	0,25	0,13	0,06	3,34	1,67
3	1	6,78	45,90	1,00	1,00	1,00	6,78	6,78
4	1,5	7,02	49,21	2,25	3,38	5,06	10,52	15,78
Total (∑)	3,00	26,93	181,46	3,50	4,50	6,13	20,64	24,23

Sumber: *Hasil Analisis*



Gambar Grafik 7. Analisis Regresi Menunjukkan Korelasi Kuat Tarik Lentur Beton Umur 7 Hari Dan Penambahan Serat Bendrat
Sumber: *Hasil Analisis*

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap beton geopolimer dengan variasi penambahan serat bendrat pada umur 7 hari, dapat disimpulkan beberapa hal berikut.

1. Penambahan serat bendrat memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap sifat mekanik beton.
   a. Kuat Tekan: Hasil pengujian kuat tekan beton umur 7 hari menunjukkan bahwa nilai tertinggi diperoleh pada campuran tanpa serat bendrat (1,5%) menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 46,56 MPa. Campuran tanpa serat (0%) menunjukkan penurunan kuat tekan beton, yang hanya menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 26,63 MPa.
   b. Kuat Tarik Belah: Nilai tertinggi diperoleh pada variasi serat 1,5% sebesar 3,17 MPa. Namun variasi 0,5% dan 1% masih memberikan hasil mendekati kuat tarik belah.
   c. Kuat Tarik Lentur: Nilai tertinggi justru diperoleh pada variasi 1,5% serat bendrat, yaitu sebesar 7,02 MPa, ini menunjukkan bahwa serat bendrat memberikan konstribusi positif terhadap daya tahan lentur.
2. Berdasarkan analisis seluruh pengujian (kuat tekan, tarik belah, dan lentur), variasi serat bendrat sebesar 1,5% merupakan yang paling optimal, karena:
   a. Tidak menurunkan kekuatan tekan secara signifikan (28,43 MPa masih dalam batas wajar pada umur 7 hari),
   b. Meningkatkan kuat tarik lentur beton secara signifikan,
   c. Memberikan nilai kuat tarik belah yang stabil dan relatif tinggi

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan masukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Oleh Kerena itu, disampaikan saran-saran yang diharapkan dapat diterapkan atau menjadi pertimbangan bagi peneliti berikutnya.

1. Variasi ukuran serat dianjurkan dilakukan pengujian dengan bentuk dan dimensi serat yang berbeda. Untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap homogenetis campuran dan hasil mekanik beton.
2. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi variasi umur pada beton geopolimer.
3. Disarankan dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan jenis katalisator yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. (1984). ACI 544.1R-96 Report on Fiber Reinforced. American Concrete International, 6(12).

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

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

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

Anonim PUBI -1982. (1982). PUBI-1982 Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 2(1), 1–344.

Anonim SNI 03 - 2847 - 2002. (2002). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002. Bandung: Badan Standardisasi Nasional, 251.

Anonim SNI 1969 - 2008. (2008). SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Badan Standar Nasional Indonesia, 20.

Anonim SNI 1970 - 2008. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Badan Standar Nasional Indonesia, 7–18.

Anonim SNI 1971 - 2011. (2011). "Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan." Badan Standarisasi Nasional, 1–11.

Anonim SNI 2417 - 2008. (2008). Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta. Badan Standardisasi Nasional, 1– 20.

Davidovits, J. (1994). Properties of Geopolymer Cements. First International 31 Conference on Alkaline Cements and Concretes, 131–149.

Anonim SNI 1969 - 2008. (2008). SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Badan Standar Nasional Indonesia, 20.

Anonim SNI 1970 - 2008. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Badan Standar Nasional Indonesia, 7–18.

Anonim SNI 1971 - 2011. (2011). "Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan." Badan Standarisasi Nasional, 1–11.

Anonim SNI 2417 - 2008. (2008). Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta. Badan Standardisasi Nasional, 1–20.

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

Rovnanik, P. (2010). Effect of curing temperature on the development of hard structure of metakaolin-based geopolymer. Construction amd Building Materials, 24 (7), 1176-1183.

Yewale, V.V, Shirsath, M. N., & Hake, S. L. (2016). Evaluation of Efficient Type Of Curing For Geopolymer Concrete. 3 (8), 10-14.