

Studi Eksperimental Sifat Mekanis Beton Normal dengan Campuran Serat *Polypropylene*

Alif Gibran^{1*}, Eka Juliafad², Nevy Sandra³, Fajri Yusmar⁴

^{1,2,3,4} Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Kota Padang.

*Email: alifgibranjo@gmail.com

Abstrak

Beton normal memiliki kelemahan mendasar berupa kuat tarik yang rendah dan sifat getas yang menyebabkan keruntuhan mendadak pada struktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan serat makro *polypropylene* (PP) dengan variasi 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6% terhadap berat agregat kasar pada beton mutu f_c 22 MPa. Metode penelitian mengikuti standar SNI 7656:2012 untuk rancangan campuran, menggunakan semen PCC, agregat lokal, dan serat makro PP sepanjang 54 mm. Parameter mekanis yang diuji meliputi kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, kekakuan, daktilitas, serta energi disipasi pada umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat menurunkan kuat tekan secara linier dari 22,39 MPa pada kontrol menjadi 15,22 MPa pada kadar 0,6%. Sebaliknya, kuat tarik belah dan kuat lentur menunjukkan pola fluktuatif dengan peningkatan performa yang signifikan pada kadar 0,6%, didorong oleh mekanisme *crack-bridging*. Analisis daktilitas dan energi disipasi menunjukkan peningkatan drastis sebesar 345% pada variasi 0,6% dibandingkan beton normal. Penelitian ini mendemonstrasikan bagaimana integrasi serat makro sintesis mentransformasi perilaku material dari getas menjadi daktil dan secara substansial meningkatkan kapasitas penyerapan energi beban gempa.

Kata Kunci: Beton Serat; Serat *Polypropylene*; Sifat Mekanis Beton.

Pernyataan Pendanaan

Penelitian ini didukung oleh dana hibah dari Universitas Negeri Padang (UNP) untuk pengadaan serat makro *polypropylene*. Penulis juga mendapatkan dukungan bantuan material berupa agregat kasar dan agregat halus dari PT. IGASAR, yang digunakan sepenuhnya untuk keperluan eksperimen ini.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada keluarga besar terkhusus orang tua, teman-teman yang telah memberikan dukungan penuh dan bantuan dari awal penelitian hingga penelitian ini selesai dilakukan. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada dosen pembimbing, penguji, dan teknisi laboratorium yang telah memberi saran dan arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian.

Etika Publikasi

Penelitian ini tidak melibatkan manusia sebagai subjek penelitian. Data yang didapatkan sepenuhnya berdasarkan pengujian di laboratorium secara nyata. Dengan demikian, penelitian ini tidak memerlukan persetujuan etika sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Penyataan AI

Struktur tata bahasa artikel ini diperbaiki dengan menggunakan Gemini Ai, dan para penulis telah memeriksa kembali keakuratan dan kebenaran kalimat yang dihasilkan sesuai dengan topik dan data penelitian ini. Penggunaan bahasa dalam artikel ini telah diverifikasi dan divalidasi serta tidak ada kalimat yang sepenuhnya dihasilkan oleh AI tanpa validasi manual yang dimasukkan ke dalam artikel ini.

1. Pendahuluan

Beton telah lama menjadi material konstruksi yang paling dominan di dunia karena ketersediaan bahan penyusunnya yang melimpah serta kemampuannya dalam memikul beban tekan yang besar [1]. Penggunaannya mencakup berbagai skala infrastruktur, mulai dari bangunan rumah tinggal sederhana hingga bendungan dan gedung pencakar langit yang kompleks. Namun, di balik popularitasnya, beton konvensional menyimpan keterbatasan inheren berupa daktilitas yang rendah dan kuat tarik yang hanya mencapai sekitar 8% hingga 15% dari kuat tekannya [2]. Kapasitas tarik material merupakan parameter penting dalam menentukan perilaku kegagalan struktur, di mana kegagalan umumnya terjadi akibat ketidakmampuan material menahan tegangan tarik yang bekerja [3]. Karakteristik mikroskopis beton yang terdiri dari matriks semen yang padat namun rapuh menyebabkan material ini sangat rentan terhadap pembentukan retak yang cepat saat menerima beban mekanis maupun termal. Perilaku ini berkaitan erat dengan struktur mikro beton, di mana penelitian menunjukkan bahwa rekayasa material menggunakan nanomaterial berbasis silika dapat meningkatkan kerapatan mikrostruktur dan memperbaiki zona transisi antar muka (*interfacial transition zone*), sehingga mempengaruhi sifat mekanis material secara keseluruhan [4]. Retak struktural ini bukan sekadar masalah estetika; retakan tersebut menjadi pintu masuk bagi agen korosif seperti air, klorida, dan karbon dioksida yang memicu degradasi pada baja tulangan, sehingga menurunkan durabilitas bangunan secara drastis dalam jangka panjang [5].

Sebagai upaya untuk mengatasi kelemahan fisik beton tersebut, teknologi beton serat (*fiber reinforced concrete*) terus dikembangkan. Prinsip dasar dari inovasi ini adalah menambahkan serat pendek yang tersebar secara acak ke dalam campuran beton untuk bertindak sebagai tulangan mikro tiga dimensi. Salah satu jenis serat yang paling menjanjikan dalam aplikasi sipil adalah serat sintesis polypropylene (PP). Serat ini dikenal karena berat jenisnya yang rendah, ketahanan alkali yang sangat baik, serta sifatnya yang inert secara kimiawi. Dalam klasifikasinya, serat *polypropylene* terbagi menjadi serat mikro dan serat makro. Serat mikro umumnya digunakan untuk meminimalkan retak susut pada usia dini beton, sedangkan serat makro dengan panjang di atas 30 mm berfungsi struktural untuk meningkatkan kapasitas beban pasca-retak (*post-cracking behavior*).

Penelitian ini memfokuskan analisis pada penggunaan serat makro polypropylene struktural dengan panjang 54 mm. Mekanisme utama serat ini dalam meningkatkan kinerja beton

terletak pada kemampuannya untuk menjembatani retakan (*crack-bridging*) [6]. Ketika beton menerima beban dan mulai mengalami retak makro, serat makro akan bekerja menahan perambatan retak tersebut melalui proses pencabutan serat (*fiber pull-out*). Proses mekanis ini menyerap energi dalam jumlah besar, mengubah kegagalan beton yang semula bersifat getas menjadi daktail. Berdasarkan literatur terdahulu, penggunaan serat makro PP telah terbukti mampu meningkatkan kuat tarik belah hingga 41,9% [7]. Namun, pengaruhnya terhadap kuat tekan seringkali kontradiktif; beberapa studi melaporkan penurunan kekuatan akibat peningkatan porositas dan kesulitan dalam pemadatan adukan [8], [9].

Nilai kebaruan (*novelty*) dan inovasi dari penelitian ini terletak pada fokus analisis sifat mekanis yang komprehensif, tidak terbatas pada kuat tekan saja, tetapi juga mencakup analisis daktilitas, kekakuan, dan energi disipasi. Daktilitas didefinisikan sebagai kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis besar sebelum mengalami patah atau hancur [10]. Sedangkan kekakuan diartikan sebagai rasio antara gaya eksternal yang bekerja terhadap besarnya deformasi yang terjadi [11].

2. Metode dan Bahan

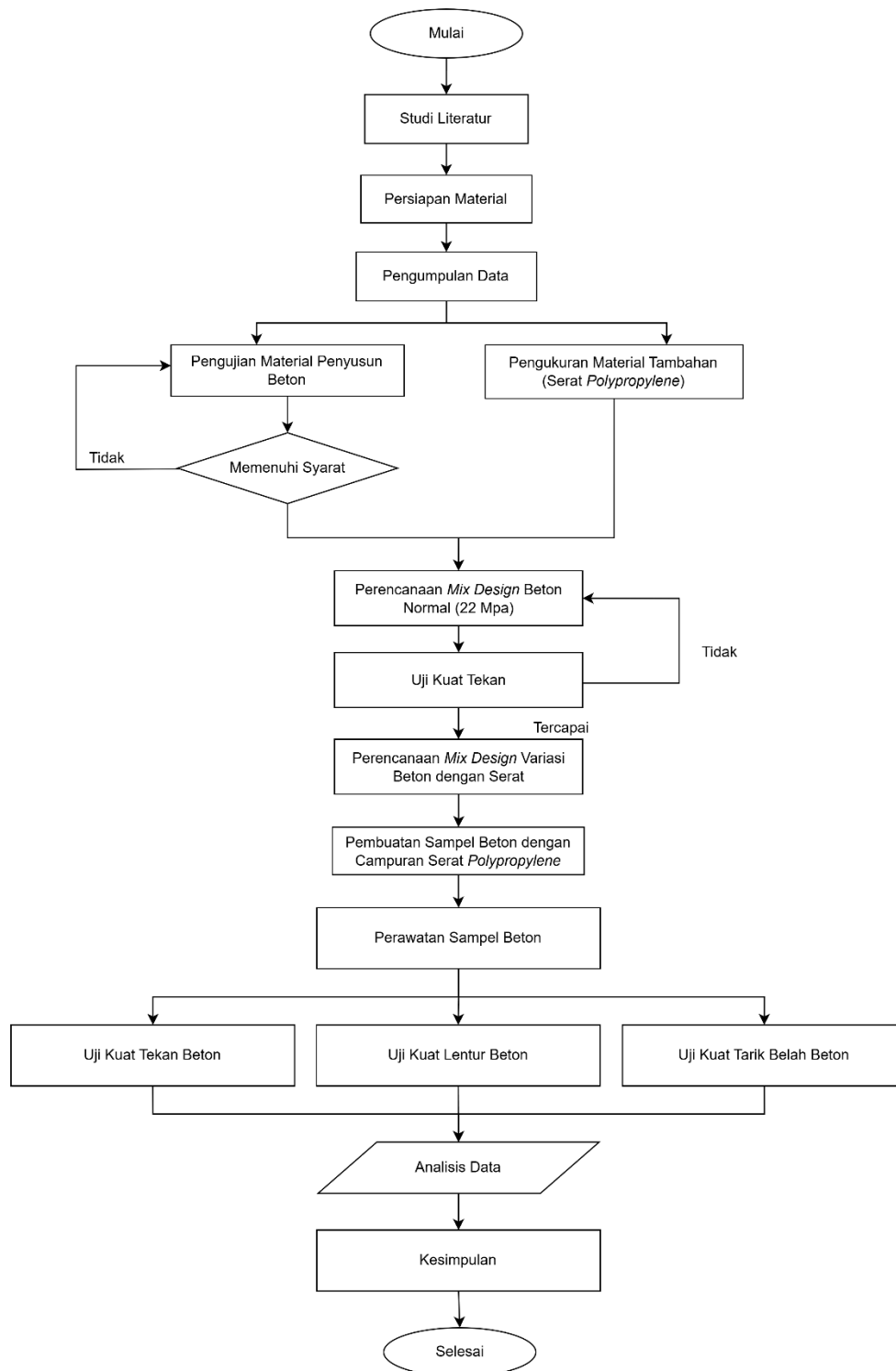
2.1 Jenis Penelitian atau Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental kuantitatif berbasis laboratorium. Desain eksperimental melibatkan pembuatan benda uji riil untuk mengamati pengaruh variabel bebas (kadar serat) terhadap variabel terikat (sifat mekanis). Variabel bebas yang ditetapkan adalah variasi persentase serat sebesar 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6% terhadap berat agregat kasar. Penggunaan serat *polypropylene* ini digunakan terhadap berat agregat kasar dikarenakan dimensi panjang serat memiliki kemiripan (ekuivalensi) dengan ukuran butir agregat kasar.

Tabel 1. Jumlah Sampel Penelitian

No	Variasi Serat <i>Polypropylene</i>	Pengujian Sifat Mekanis			Total Benda Uji	Umur Perawatan (hari)
		Kuat Tekan (Silinder)	Kuat Tarik Belah (Silinder)	Kuat Lentur (Balok)		
1	0%	3	3	3	9	28
2	0,2%	3	3	3	9	28
3	0,4%	3	3	3	9	28
4	0,6%	3	3	3	9	28
Total Keseluruhan		12	12	12	36	

Penentuan variasi ini didasarkan pada pertimbangan teknis: (1) Variasi 0% sebagai sampel kontrol; (2) Rentang 0,2% dan 0,4% dipilih untuk mendekati titik teoritis optimum sekitar 0,5% berdasarkan literatur terdahulu; dan (3) Kadar 0,6% ditetapkan sebagai batas maksimum untuk mendeteksi awal fase jenuh (penurunan performa) namun tetap dalam batas aman untuk kemudahan pengerjaan (*workability*) guna menghindari penggumpalan serat (*balling effect*). Secara garis besar, prosedur penelitian disajikan dalam bentuk bagan alir dalam Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan selama periode November 2025 hingga April 2026. Seluruh rangkaian kegiatan penelitian dilaksanakan di dua lokasi utama:

- 2.2.1 Laboratorium Bahan Departemen Teknik Sipil UNP: Untuk pembuatan benda uji, pengujian karakteristik material, serta uji kuat tekan dan tarik belah.

2.2.2 Workshop Struktur Departemen Teknik Sipil UNP: Khusus untuk pengujian kuat lentur balok.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

2.3.1 Data Primer

Data primer diperoleh langsung dari pengujian laboratorium yang meliputi karakteristik fisik material dasar dan uji mekanis beton keras pada umur 28 hari menggunakan silinder (15 x 30 cm) dan balok (15 x 15 x 53 cm).

2.3.2 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh melalui studi literatur yang relevan terhadap jurnal internasional, jurnal nasional, dan buku teks terkait teknologi material beton serat.

2.4 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dimulai dengan evaluasi kelayakan bahan penyusun beton, lalu dilanjutkan dengan pengolahan data hasil uji mekanis beton serat. Kuat tekan digunakan sebagai parameter utama karena merupakan indikator utama mutu beton yang menunjukkan kemampuan material dalam menahan beban aksial [12]. Analisis ini bersifat kuantitatif eksperimental, menggunakan rumus standar SNI dan perhitungan statistik sederhana untuk membandingkan antar variasi.

2.4.1 Analisis Uji Kelayakan Material Penyusun Beton

Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil uji laboratorium terhadap spesifikasi SNI untuk memastikan seluruh bahan memenuhi standar pembuatan benda uji beton.

2.4.2 Analisis Hasil Uji Sifat Mekanis

Dalam penelitian ini, sifat mekanis yang akan dianalisis meliputi kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, kekakuan (*stiffness*), daktilitas, dan juga energi disipasi dari variasi serat *polypropylene*. Kuat tekan pada penelitian ini mengacu pada SNI 1974:2011, kuat tarik belah mengacu pada SNI 2491:2014, dan kuat lentur dengan metode *four-point loading* yang mengacu pada SNI 4431:2011.

Nilai sifat mekanis dihitung menggunakan persamaan berikut:

1. Kuat Tekan (f'_c):

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan: P = Beban Maksimum (N), A = Luas penampang (mm²).

2. Kuat Tarik Belah (f_{ct}):

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi ld} \quad (2)$$

Keterangan: l = Panjang silinder (mm), d = Diameter (mm).

3. Kuat Lentur (f_r):

$$f_r = \frac{PL}{bh^2} \quad (3)$$

Keterangan: L = Jarak antar tumpuan (mm), b = Lebar balok (mm), h = Tinggi (mm).

4. Kekakuan (k):

$$k = \frac{F}{\Delta} \quad (4)$$

Keterangan: F = Gaya (N), Δ = Lendutan (mm).

5. Daktilitas (μ):

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (5)$$

Keterangan: Δ_u = Lendutan maksimum, Δ_y = Lendutan pada titik luluh.

6. Energi Disipasi (W):

$$W = \frac{(P_1 + P_2)}{2} \times (\Delta_2 - \Delta_1) \quad (6)$$

Keterangan: W = Energi (Joule), P = Beban (N), Δ = Perpindahan (m).

2.4.3 Analisis Hubungan Berat dengan Energi Disipasi

Analisis dilakukan melalui teknik regresi linear untuk mencari korelasi antara pengurangan berat benda uji dengan kapasitas penyerapan energi.

2.5 Penelitian Relevan

- 2.5.1 Penelitian Abousnina et al. (2021) menemukan dosis 6 kg/m³ serat makro polypropylene meningkatkan kuat tekan 19,4% dan kuat tarik 41,9%. Serat ini meningkatkan daktilitas beton secara signifikan setelah terjadi retakan.
- 2.5.2 Penelitian Taleghani et al. (2025) menjelaskan serat PP sangat penting untuk menjaga keutuhan beton mutu tinggi (HPC) pada kondisi ekstrem. Material ini efektif mencegah beton pecah meledak (*spalling*) saat terkena suhu tinggi.
- 2.5.3 Penelitian Principio et al. (2021) menemukan bahwa kombinasi 10% abu sekam padi dan 0,5% serat PP memberikan hasil terbaik. Campuran ini menaikkan kuat tekan 13,4% dan kuat lentur 18,62%. Dosis serat lebih dari 0,5% justru merusak kepadatan beton.
- 2.5.4 Penelitian Oesman et al (2024) menyimpulkan penggunaan 1% serat PP pada *self compacting concrete* (SCC) memicu lonjakan kuat tarik sebesar 122,05%. Namun kuat tekan turun 10,34% karena beton menjadi lebih berpori
- 2.5.5 Penelitian Carlesso et al. (2024) mengemukakan bahwa serat makro menghambat penyebaran retak akibat beban berulang. Beton memiliki ketahanan lelah yang lebih baik dan tetap mampu menahan beban sisa meskipun kekakuan mulai berkurang.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Uji Kelayakan Bahan

Seluruh material memenuhi standar SNI untuk pembuatan beton struktural. Ringkasan hasil disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Uji Kelayakan Agregat

No	Jenis Pengujian	Hasil Halus	Hasil Kasar	Standar	Keterangan
1	Berat Isi (kg/L)	1.12	1.35	Min. 1,2	Terpenuhi*
2	Berat Jenis (SSD)	2.56	2.78	2,5 - 2,7	Terpenuhi
3	Penyerapan Air (%)	4.13	0.14	Maks. 5%	Terpenuhi
4	Kadar Air (%)	3	0.35	2 - 8 %	Terpenuhi
5	Kadar Lumpur (%)	3.88	0.3	Maks. 5%(H)/1%(K)	Terpenuhi
6	Analisis Ayak		%Lolos	%Lolos	-
	Halus	Kasar	(Zona 2)	-	
	4.8	25	98.62%	99.45%	

	2.4	19	94.24%	56.33%	
	1.2	12.5	79.57%	8.87%	
	0.6	9.5	42.12%	0.50%	
	0.3	4.8	18.50%	0.07%	
	0.15	-	1.84%	-	
	Pan		0.00%	0.00%	
	MHB		2.65	7.43	1.5-3.8 (H)/ 6-9 (K) Terpenuhi
7	Zat Organik (H)		No.3	-	Standar No.3 Terpenuhi
8	Keausan Abrasi (%) (K)		-	25.5	Maks. 40% Terpenuhi

*Berat isi halus diatasi dengan metode *weight batching* untuk mengantisipasi *Bulking of Sand*.

Tabel 3. Hasil Uji Kelayakan Semen

No	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat Mutu	Keterangan
1	Berat Jenis	2.93	Min. 2.9	Terpenuhi
2	Konsistensi Normal	27%	24-33%	Terpenuhi
3	Waktu Ikut	75 Menit	Min. 45 Menit	Terpenuhi

3.2 Hasil Mix Design

Rancangan campuran disusun berdasarkan SNI 7656:2012 untuk mutu target 22 MPa dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Mix Design Beton

No	Material	Berat (Kg/m ³)
1	Semen	376.87
2	Agregat Kasar	1008.36
3	Agregat Halus	753.24
4	Air	234.22

3.3 Hasil Uji Sifat Mekanis

Tabel 5 menyajikan rekapitulasi parameter mekanis dari seluruh variasi campuran.

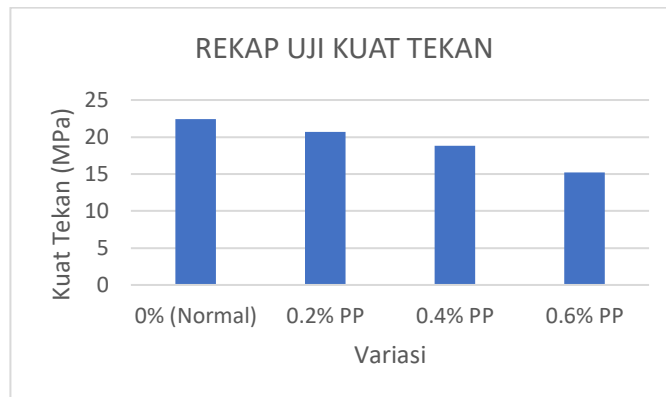
Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Pengujian Mekanis

Variasi Serat	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Lentur (MPa)	Stiffness (kN/mm)	Daktalitas	Energi Disipasi (J)
0% (Kontrol)	22,39	9,143	3,12	7,05	1,01	21,59
0,2% PP	20,68	7,932	2,84	5,62	1,05	28,35
0,4% PP	18,85	7,678	2,47	5,68	1,11	36,96
0,6% PP	15,22	9,140	3,38	6,27	1,32	74,69

3.3.1 Hasil Kuat Tekan

Penambahan serat *polypropylene* mengakibatkan penurunan kuat tekan secara linier seiring peningkatan kadar serat seperti terlihat pada grafik Gambar 1.

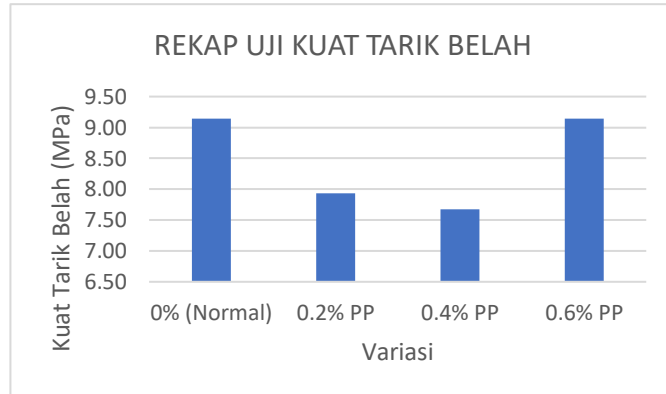
Penurunan terbesar terjadi pada kadar 0,6% (15,22 MPa) dibandingkan kontrol (22,39 MPa). Hal ini disebabkan oleh sifat serat yang hidrofobik yang melemahkan ikatan pada zona transisi pasta semen serta meningkatnya porositas mikro di dalam matriks.



Gambar 2. Hasil Uji Kuat Tekan

3.3.2 Hasil Kuat Tarik Belah

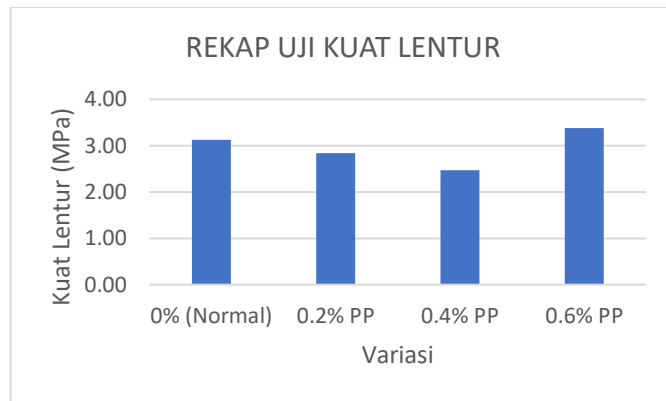
Hasil kuat tarik belah menunjukkan pola fluktuatif seperti terlihat pada grafik Gambar 2. Terjadi penurunan pada variasi 0,2% hingga 0,4% (7,68 MPa), namun mengalami kenaikan signifikan pada kadar 0,6% menjadi 9,14 MPa. Kenaikan pada kadar 0,6% ini membuktikan bahwa pada konsentrasi tersebut, jalinan serat telah mencapai ambang batas optimal untuk menahan beban tarik melalui mekanisme *crack-bridging*.



Gambar 3. Hasil Uji Kuat Tarik Belah

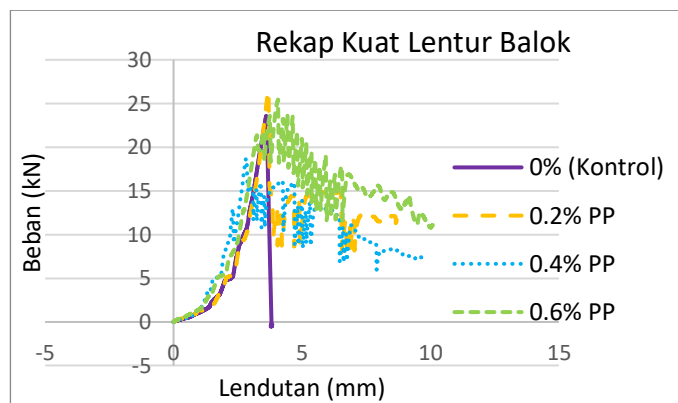
3.3.3 Hasil Kuat Lentur

Serupa dengan tarik belah, kuat lentur mencapai titik terendah pada 0,4% PP (2,47 MPa) dan melonjak menjadi 3,38 MPa pada kadar 0,6% PP, melampaui beton normal. Hal ini mengonfirmasi efektivitas serat makro 54 mm dalam mentransfer tegangan pasca-retak pada struktur balok. Dapat dilihat pada grafik Gambar 3.



Gambar 4. Hasil Uji Kuat Lentur

3.3.4 Analisis Perilaku Beban-Lendutan

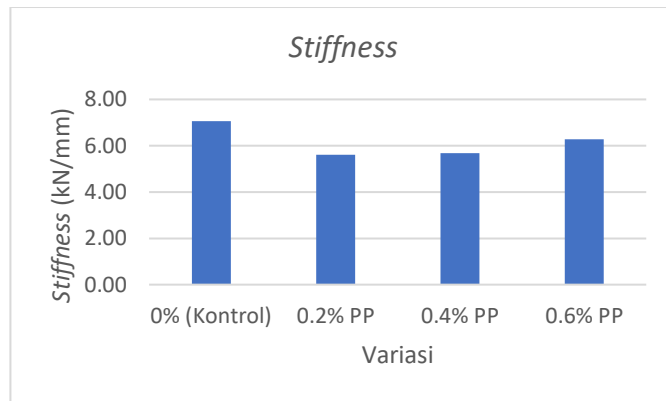


Gambar 5. Grafik Beban-Lendutan Gabungan

Kurva pada Gambar 5. menunjukkan perbedaan perilaku mekanis antara beton normal dan beton serat. Kurva beton normal meningkat secara linear hingga beban puncak. Beton tersebut kemudian runtuh secara mendadak. Grafik menunjukkan penurunan vertikal tajam menuju nol. Pola ini membuktikan sifat getas beton konvensional. Beton kehilangan seluruh kapasitas pikul tepat saat retak pertama muncul.

3.3.5 Nilai Kekakuan (*Stiffness*)

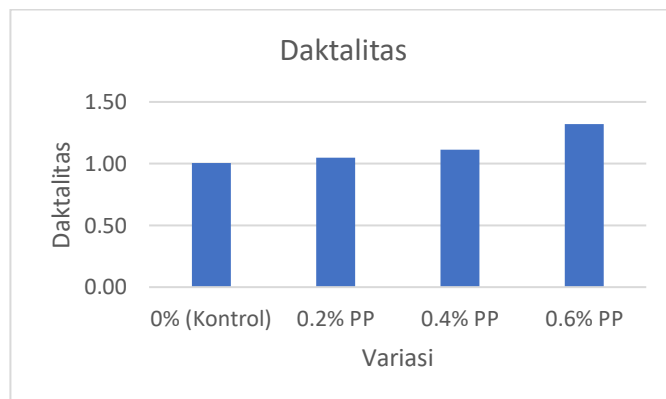
Nilai kekakuan awal mengalami penurunan pada variasi penambahan serat dibandingkan beton normal (7,05 kN/mm) seperti pada grafik Gambar 6. Nilai terendah ditemukan pada variasi 0,2% PP (5,62 kN/mm) sebelum akhirnya meningkat kembali pada kadar 0,6% PP menjadi 6,27 kN/mm. Penurunan ini mengindikasikan bahwa serat membuat beton menjadi lebih fleksibel pada fase elastis, namun tetap mempertahankan kekakuan sisa (*residual stiffness*) yang lebih baik setelah retak terjadi.



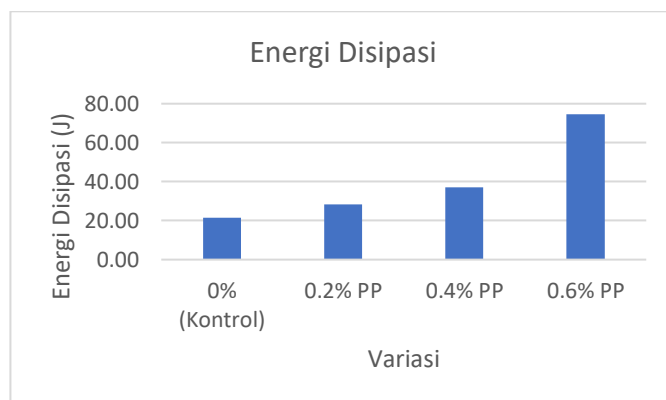
Gambar 6. Nilai *Stiffness*

3.3.6 Nilai Daktalitas dan Energi Disipasi

Terjadi transformasi perilaku dari getas ke daktail secara konsisten. Pada grafik Gambar 7(a) daktalitas meningkat dari 1,01 (kontrol) menjadi 1,32 (0,6% PP). Pada grafik Gambar 7(b) energi disipasi melonjak drastis sebesar 345,9% pada variasi 0,6% PP (74,69 Joule) dibandingkan kontrol (21,59 Joule), yang membuktikan ketangguhan tinggi melalui mekanisme *fiber pull-out*.



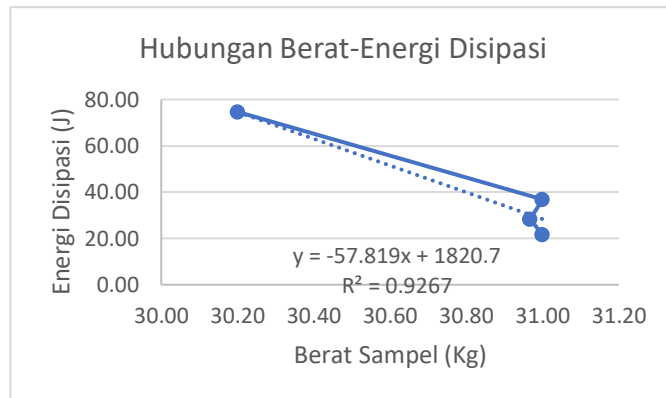
(a)



(b)

Gambar 7. Gambar (a) Nilai Daktalitas dan Gambar (b) Nilai Energi Disipasi

3.3.7 Analisis Hubungan Berat-Energi Disipasi



Gambar 8. Hubungan Berat-Energi Disipasi

Seperti yang ditunjukkan oleh grafik Gambar 8, ditemukan korelasi linear yang sangat kuat yang ditandai dengan $R^2 = 0,9267$ antara berat benda uji dengan energi disipasi. Meskipun benda uji 0,6% PP lebih ringan (30,20 kg) dibandingkan beton normal (31,00 kg), kapasitas penyerapan energinya jauh lebih besar, menjadikannya solusi ideal untuk struktur efisien beban mati namun tangguh gempa.

3.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian, penambahan serat *polypropylene* mengakibatkan penurunan kuat tekan secara linier seiring bertambahnya kadar serat, di mana nilai terendah tercatat pada variasi 0,6% sebesar 15,22 MPa. Fenomena ini disebabkan oleh sifat hidrofobik serat yang melemahkan ikatan pada zona transisi pasta semen serta meningkatnya porositas mikro di dalam matriks serta sejalan dengan penelitian beton berbasis modifikasi material lain, seperti penggunaan *crumb rubber*, yang menunjukkan bahwa peningkatan rongga dalam campuran beton dapat menurunkan kekuatan tekan [21]. Namun, parameter kuat tarik belah dan kuat lentur menunjukkan hasil yang lebih optimal pada kadar 0,6% PP (Tarik Belah: 9,14 MPa; Lentur: 3,38 MPa), yang membuktikan efektivitas mekanisme *crack-bridging* dari serat makro sepanjang 54 mm dalam menunda keruntuhan struktural. Integrasi serat ini berhasil mentransformasi karakteristik beton dari getas menjadi sangat tangguh, ditandai dengan peningkatan kapasitas daktilitas mencapai 1,32 dan lonjakan energi disipasi sebesar 345,9% (74,69 Joule) pada dosis 0,6%. Penurunan kekakuan awal menunjukkan bahwa serat membuat beton lebih fleksibel pada fase awal pembebanan, namun korelasi linear yang sangat kuat $R^2=0,9267$ antara berat benda uji dengan energi disipasi mengonfirmasi bahwa pengurangan beban mati struktur justru berbanding lurus dengan peningkatan ketangguhan. Kebaruan penelitian ini terletak pada efektivitas serat makro multifilamen tersebut dalam menciptakan elemen struktur yang lebih ringan namun memiliki kapasitas penyerapan energi beban gempa tiga kali lipat lebih besar dibandingkan beton normal.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini konsisten dengan konsep dasar material komposit, di mana peningkatan satu sifat mekanis seringkali diikuti dengan penurunan sifat lainnya, namun menghasilkan performa yang lebih seimbang untuk aplikasi struktural tertentu. Temuan ini memperkuat bahwa modifikasi beton tidak hanya

berfokus pada peningkatan kekuatan, tetapi juga pada peningkatan performa deformasi dan ketahanan terhadap beban dinamis [22].

4. Kesimpulan

Berdasarkan rangkaian hasil pengujian laboratorium dan analisis data, penelitian ini menyimpulkan bahwa penambahan serat *polypropylene* mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan beton secara bertahap seiring dengan bertambahnya kadar serat yang digunakan, dengan nilai rata-rata terendah tercatat pada variasi 0,6% PP sebesar 15,22 MPa akibat peningkatan porositas udara di dalam matriks. Meskipun terjadi penurunan kapasitas tekan, parameter kuat tarik belah dan kuat lentur menunjukkan hasil yang lebih optimal pada kadar 0,6% PP dibandingkan beton normal, di mana nilai kuat lentur mencapai 3,38 MPa yang membuktikan efektivitas mekanisme *bridging effect* dari serat makro sepanjang 54 mm. Terjadi transformasi perilaku material dari getas menjadi daktail secara signifikan, ditandai dengan lonjakan energi disipasi yang mencapai puncaknya sebesar 74,69 Joule pada dosis 0,6%, meningkat tajam dari beton normal yang hanya sebesar 21,59 Joule. Terakhir, ditemukan hubungan yang berbanding terbalik antara berat benda uji dengan energi disipasi, di mana sampel dengan berat paling ringan (30,20 kg) justru menghasilkan kapasitas penyerapan energi yang paling besar.

Referensi

- [1] S. Fatimah, "Evaluasi Kinerja Beton Mutu Tinggi dengan Penambahan Serat Polypropylene Pada Gedung Bertingkat," *J-Multitechno*, vol. 1, no. 1, pp. 34–43, 2025.
- [2] Untu E, Kumaat E.J, and R. S. Windah, "Pengujian Kuat Tarik Belah Dengan Variasi Kuat Tekan Beton," *J. Sipil Statik*, vol. 3, no. 10, pp. 703–708, 2015.
- [3] A. Rokhman and A. Supriatna, "Pengaruh Variasi Panjang Sambungan Las Terhadap Kapasitas Kuat Tarik Baja Tulangan," *J. Konstr.*, vol. 5, no. 1, pp. 77–83, 2013, [Online]. Available: <https://doi.org/10.24853/jk.5.1.%25p>
- [4] S. D. Ramadhika and E. Juliafad, "Pengaruh Nanomaterial Abu Granit terhadap Karakteristik Mortar," *Cived*, vol. 10, no. 2, pp. 373–386, 2023, doi: 10.24036/cived.v10i2.394.
- [5] Z. Amalia *et al.*, "Pengaruh Densitas Arus Terhadap Perilaku Retak Beton Bertulang Yang Mengalami Korosi Tulangan," *Teras J. J. Tek. Sipil*, vol. 11, no. 2, pp. 351–362, 2021, doi: 10.29103/tj.v11i2.507.
- [6] J. Blazy and R. Blazy, "Case Studies in Construction Materials Polypropylene fi ber reinforced concrete and its application in creating architectural forms of public spaces," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 14, p. e00549, 2021, doi: 10.1016/j.cscm.2021.e00549.
- [7] R. Abousnina, S. Premasiri, V. Anise, W. Lokuge, and V. Vimonsatit, "Mechanical Properties of Macro Polypropylene," pp. 1–25, 2021.
- [8] C. Yaqin, S. U. Haq, S. Iqbal, I. Khan, S. Room, and S. A. Khan, "Performance evaluation of indented macro synthetic polypropylene fibers in high strength self - compacting concrete (SCC)," *Sci. Rep.*, pp. 1–15, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-71875-5.
- [9] J. Ahmad, F. Aslam, and R. Martínez-garcía, "Mechanical performance of concrete reinforced with polypropylene fibers (PPFs)," 2021, doi: 10.1177/15589250211060399.
- [10] J. Callister, William D. and D. G. Rethwisch, *Material Science and Engineering: An Introduction*, 9th ed. John Wiley & Sons, 2018. [Online]. Available:

- <https://drive.google.com/file/d/0B96R0hksKtNCekpILU9EOUI6ZGs/preview?resourcekey=0-IKbYx31e6x35wQONfwMYyg>
- [11] J. M. Gere and S. P. Timoshenko, *Mechanics of Materials*. Boston: PWS Publishing Company, 1997.
 - [12] E. Juliafad, W. Ardilla, R. R. Putra, and I. G. Rani, "Faktor Pengali Kuat Tekan Aktual terhadap Prediksi Kuat Tekan Hasil Hammer Test," *Cived*, vol. 9, no. 3, pp. 374–379, 2022, doi: 10.24036/cived.v9i3.347112.
 - [13] Badan Standarisasi Nasional (BSN), *SNI 1974:2011, Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Indonesia, 2011.
 - [14] Badan Standarisasi Nasional (BSN), *SNI 2491:2014, Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*. Indonesia, 2014.
 - [15] Badan Standarisasi Nasional (BSN), *SNI 4431:2011, Cara Uji Kuat Lentur beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. Indonesia, 2011.
 - [16] S. S. Taleghani, A. M. Salehi, M. Mehraein, and G. Asadollahfardi, "The Effect of Different Types of Fibers and Cement Substitutes on High -Performance Concrete Cured in Standard , Thermal , and Sulfate Conditions," 2025.
 - [17] L. Principio Neslyn, B. Avenido John Patrick, S. Manalo Jinky Marie, and S. Perez Deo, "Mechanical Properties of Recycled Polypropylene Macro Flat Fiber Reinforced Concrete with Rice Hull Ash as Partial Replacement to Cement," vol. 858, pp. 199–204, 2020, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.858.199.
 - [18] M. Oesman, R. Herawati, and Z. N. Jauza, "Pengaruh Serat Polypropylene pada Beton," *RekaRacana J. Tek. Sipil*, vol. 10, no. 2, p. 103, 2024, doi: 10.26760/rekaracana.v10i2.103.
 - [19] D. M. Carlesso, P. Bajić, and A. de la Fuente Antequera, "Understanding Energy Dissipation Behaviour in Cracked Macrosynthetic Fibre-Reinforced Concrete Under Flexural Fatigue Conditions," *RILEM Bookseries*, vol. 54, pp. 406–413, 2024, doi: 10.1007/978-3-031-70145-0_50.
 - [20] Badan Standarisasi Nasional (BSN), *SNI 7656:2012, Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. Indonesia, 2012.
 - [21] Fauzan, E. E. Putri, H. P. Evir, G. A. Agista, and E. Juliafad, "Experimental Investigation on the Use of Crumb Rubber As Partial Replacement of Coarse Aggregate in Concrete Incorporating Cement Replacement Materials," *Int. J. GEOMATE*, vol. 25, no. 111, pp. 246–253, 2023, doi: 10.21660/2023.111.gxi399.
 - [22] R. R. Putra, J. Kiyono, Z. Zhang, S. Vanapalli, and M. D. Agung, "Natural Frequency of Liquefaction Potential Based on Soil Investigation and Microtremor Observation Results," *Civ. Eng. J.*, vol. 11, no. 8, pp. 3091–3107, 2025, doi: 10.28991/CEJ-2025-011-08-02.