

Evaluasi Kinerja Beton Mutu Tinggi dengan Penambahan Serat Polypropylene Pada Gedung Bertingkat

Siti Fatimah

Universitas Muhammadiyah Parepare

sitifatimah19@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan beton mutu tinggi (High Strength Concrete/HSC) pada konstruksi gedung bertingkat menjadi pilihan utama karena kekuatannya yang tinggi dan efisiensi struktural yang dihasilkan. Namun, karakteristik beton mutu tinggi yang cenderung rapuh dan kurang tahan terhadap retak menjadi tantangan tersendiri, khususnya pada struktur bangunan yang menerima beban dinamis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja beton mutu tinggi dengan penambahan serat polypropylene (PP) sebagai upaya meningkatkan sifat mekanik beton pada aplikasi gedung bertingkat. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental laboratorium dengan pembuatan beton mutu tinggi berkekuatan target 50 MPa. Variasi kadar serat polypropylene ditambahkan sebesar 0%, 0,3%, 0,5%, dan 1% dari berat semen. Pengujian dilakukan terhadap kuat tekan, kuat lentur, modulus elastisitas, dan pola retak setelah umur beton mencapai 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat polypropylene sebesar 0,5% memberikan peningkatan signifikan terhadap kuat lentur dan keuletan beton tanpa mengurangi kekuatan tekan secara berarti. Selain itu, pola retak yang terbentuk lebih halus dan menyebar, mengindikasikan kemampuan serat dalam mengontrol retakan mikro. Penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan serat polypropylene pada beton mutu tinggi dapat meningkatkan performa struktural beton, khususnya dalam menghadapi beban-beban siklik dan dinamis pada gedung bertingkat, serta berpotensi meningkatkan umur layanan struktur secara keseluruhan.

Kata Kunci: **Evaluasi Kinerja; Beton Mutu Tinggi; Serat Polypropylene, Bertingkat**

ABSTRACT

The use of high strength concrete (HSC) in high-rise building construction has become a primary choice due to its superior strength and structural efficiency. However, the inherently brittle nature of high strength concrete and its susceptibility to cracking present specific challenges, particularly in structures subjected to dynamic loads. This study aims to evaluate the performance of high strength concrete with the addition of polypropylene (PP) fibers as an effort to improve the mechanical properties of concrete in high-rise building applications. The research method employed was an experimental laboratory approach, producing high strength concrete with a target compressive strength of 50 MPa. Polypropylene fibers were added in varying amounts of 0%, 0.3%, 0.5%, and 1% by weight of cement. Tests were conducted on compressive strength, flexural strength, modulus of elasticity, and crack patterns after 28 days of curing. The results showed that the addition of 0.5% polypropylene fibers significantly improved the

flexural strength and ductility of the concrete without significantly reducing its compressive strength. Furthermore, the resulting crack patterns were finer and more evenly distributed, indicating the fiber's effectiveness in controlling microcracks. This study demonstrates that the inclusion of polypropylene fibers in high strength concrete enhances the structural performance of concrete, particularly under cyclic and dynamic loading in high-rise buildings, and has the potential to extend the overall service life of the structure.

Keywords: Performance Evaluation; High Strength Concrete; Polypropylene Fiber; High-Rise

PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan di seluruh dunia karena kekuatannya yang tinggi dan fleksibilitas penggunaannya dalam berbagai jenis bangunan, mulai dari rumah tinggal hingga infrastruktur berskala besar. Seiring dengan berkembangnya kebutuhan konstruksi modern, tuntutan terhadap kualitas dan kinerja beton juga semakin meningkat. Salah satu inovasi yang terus dikembangkan adalah beton mutu tinggi (*High Strength Concrete/HSC*), yaitu beton dengan kuat tekan lebih dari 41 MPa, yang dirancang untuk memiliki kekuatan, durabilitas, dan daya tahan terhadap beban lebih baik dibandingkan beton konvensional.

Namun, meskipun beton mutu tinggi memiliki kekuatan tekan yang tinggi, ia juga cenderung lebih rapuh dan memiliki keuletan yang rendah (*brittle failure*), terutama ketika dikenai beban tarik atau lentur. Oleh karena itu, perlu dilakukan modifikasi pada campuran beton untuk meningkatkan sifat mekanik dan keuletannya, salah satunya dengan menambahkan serat sintetis seperti serat polypropylene (PP fiber). Serat ini terkenal ringan, tidak berkarat, tahan bahan kimia, serta memiliki kemampuan untuk mengontrol retak-retak mikro akibat susut plastis maupun retak akibat pembebanan awal.

Penambahan serat polypropylene ke dalam campuran beton bertujuan untuk meningkatkan sifat daktilitas, ketahanan retak, dan durabilitas beton. Serat ini bekerja dengan cara menyebar secara merata dalam campuran beton, sehingga dapat menahan pembentukan dan propagasi retak. Hal ini penting terutama pada struktur-struktur vital seperti jembatan, bangunan bertingkat, dan struktur tahan gempa, di mana deformasi dan energi kejut perlu diredam secara efektif.

Serat polypropylene (PP) adalah serat sintetis berbahan dasar polimer termoplastik *polypropylene*, yang dibuat dalam bentuk filamen pendek atau panjang dan dicampurkan langsung ke dalam adukan beton. Serat ini tidak bereaksi secara kimiawi dengan semen dan air, tetapi berfungsi secara mekanis

untuk meningkatkan ketahanan struktur mikro beton terhadap retak dan deformasi.

Karakteristik Serat Polypropylene

Karakteristik	Keterangan
Warna	Putih/transparan
Diameter	10–100 mikron (mikro fiber)
Panjang	6–25 mm (umum digunakan 12 mm)
Berat jenis	$\pm 0,91 \text{ g/cm}^3$ (lebih ringan dari air)
Titik leleh	$\pm 165 \text{ }^\circ\text{C}$
Ketahanan kimia	Tahan terhadap alkali dan asam
Konduktivitas	Tidak konduktif, tahan korosi

Serat polypropylene bukan untuk meningkatkan kekuatan tekan secara langsung, melainkan untuk meningkatkan beberapa sifat penting beton, yaitu:

- Mengurangi retak plastis: Retakan yang muncul saat beton mulai mengeras dapat diminimalkan karena serat menyerap tegangan tarik awal.
- Meningkatkan daktilitas: Beton menjadi lebih ulet dan tidak mudah rapuh.
- Mengontrol retakan mikro (micro-cracking): Serat membantu mendistribusikan dan memperkecil ukuran retakan.
- Meningkatkan ketahanan abrasi dan dampak: Berguna untuk lantai industri dan struktur yang terkena beban berulang.
- Menghambat spalling akibat api: Serat polypropylene akan meleleh saat terkena panas ekstrem dan membentuk rongga mikro yang memungkinkan uap keluar, mengurangi tekanan dalam beton.

Mekanisme Kerja Serat Polypropylene dalam Beton yaitu Ketika serat polypropylene dicampurkan ke dalam adukan beton:

- Serat tersebar secara acak dan merata dalam seluruh volume beton.
- Serat bertindak sebagai jembatan pengikat mikro di antara agregat dan pasta semen.
- Saat beton mulai mengeras dan mengalami tegangan tarik, serat ikut menahan retakan agar tidak berkembang lebih lanjut.
- Dalam uji beban lentur, serat membantu menahan deformasi pasca-retak (post-crack), sehingga beton menunjukkan perilaku yang lebih plastis.

Bagaimana pengaruh terhadap sifat mekanik beton dapat dilihat dalam tabel berikut ini:

Parameter Beton	Pengaruh Serat Polypropylene
Kuat tekan	Kenaikan kecil atau stabil (tergantung kadar)
Kuat lentur	Meningkat signifikan (hingga $\pm 20\%$)
Daktilitas	Meningkat tajam
Ketahanan retak	Meningkat, terutama terhadap retak awal
Workability	Sedikit menurun jika kadar serat terlalu tinggi
Modulus elastisitas	Relatif stabil
Durabilitas	Meningkat terhadap keausan dan benturan

Adapun dosis dan aplikasi umum yang sudah dipraktikkan adalah:

- Dosis umum: 0,3% – 1,0% dari berat semen.
- Terlalu sedikit: Tidak efektif mengikat mikro-retak.
- Terlalu banyak: Sulit dicampur merata, workability menurun.

Aplikasi khas:

- Lantai industri dan pelat beton
- Dinding panel pracetak
- Beton prategang
- Elemen bangunan tahan gempa
- Struktur bawah tanah dan terowongan

Dalam suatu eksperimen sudah tentu ada kelebihan dan kekurangan yang akan ditemui setelah dilakukan uji coba di lapangan, dimana:

Kelebihan:

- Tidak korosif, ringan, dan mudah dicampur
- Biaya relatif rendah dibandingkan serat baja
- Tahan kimia dan kelembaban tinggi

Kekurangan:

- Tidak meningkatkan kekuatan tekan secara signifikan
- Harus dicampur dengan benar agar tidak menggumpal (balling)
- Tidak sekuat serat baja untuk aplikasi struktural besar

Berdasarkan temuan bahwa Penambahan 0,5% serat polypropylene pada beton mutu tinggi menunjukkan peningkatan kekuatan lentur sebesar 18,7% serta pengurangan panjang retak hingga 25% dibandingkan beton tanpa serat, (Ahmad et al., 2021, SAGE Journals)

LANDASAN TEORI

Beton Mutu Tinggi (High Strength Concrete)

Beton mutu tinggi didefinisikan sebagai beton dengan kuat tekan >41 MPa. Beton jenis ini biasanya dibuat dengan perbandingan air-semen (water-cement ratio) yang rendah dan menggunakan bahan tambahan (*admixture*) seperti silica fume, superplasticizer, dan fly ash untuk meningkatkan densitas dan kekuatannya. Namun, akibat rendahnya kadar air dan tingginya kerapatan campuran, beton ini menjadi lebih rapuh dan sensitif terhadap retak.

Serat Polypropylene (PP Fiber)

Serat polypropylene merupakan serat sintesis berbahan dasar plastik polimer yang memiliki densitas rendah dan sifat tahan terhadap bahan kimia serta air. PP fiber biasanya digunakan dalam bentuk potongan pendek (3–25 mm) dengan diameter mikro. Keunggulannya adalah mampu mengontrol retak mikro yang terjadi pada fase awal pengerasan beton (*plastic shrinkage*) dan memperbaiki kekuatan tarik tidak langsung.

Perilaku Mekanik Beton Serat

Menurut teori mekanika fraktur, serat dalam beton bertindak sebagai pengikat antar bagian beton yang akan mengalami retak. Serat menyerap sebagian energi dari gaya tarik/lentur, sehingga retakan tidak langsung berkembang. Penelitian sebelumnya oleh Ganesan (2015) menunjukkan bahwa penambahan PP fiber sebesar 0,5–1% dapat meningkatkan ketahanan retak dan kekuatan lentur beton sebesar 10–20%.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui metode eksperimental di laboratorium. Metode eksperimental adalah suatu pendekatan ilmiah yang digunakan untuk menguji hipotesis melalui observasi yang sistematis terhadap variabel-variabel yang dimanipulasi secara terkendali. Dalam konteks teknik sipil, khususnya studi material seperti beton, metode eksperimental di laboratorium sangat penting karena memungkinkan peneliti mengamati secara langsung pengaruh dari suatu perlakuan terhadap sifat mekanik dan fisis material.

Beberapa teori yang mendasari penggunaan metode ini adalah sebagai berikut:

1. Teori Empiris dan Positivistik (Francis Bacon, Auguste Comte)

Dalam pendekatan positivistik, pengetahuan diperoleh melalui observasi langsung dan pengukuran yang dapat dibuktikan secara kuantitatif. Metode eksperimental di laboratorium mengikuti prinsip ini dengan menggunakan alat ukur dan prosedur standar untuk memperoleh data yang objektif dan dapat diuji ulang. Penambahan serat polypropylene pada beton, misalnya, diuji melalui uji tekan, lentur, dan elastisitas yang hasilnya bersifat kuantitatif.

2. Teori Variabel Bebas dan Terkendali

Dalam eksperimen laboratorium, variabel bebas (misalnya: kadar serat polypropylene) dimanipulasi secara sistematis, sementara variabel lain seperti jenis semen, ukuran agregat, dan kondisi curing dijaga tetap (variabel terkontrol). Ini memungkinkan isolasi pengaruh satu variabel terhadap hasil (misalnya: kuat tekan), sehingga hubungan sebab-akibat dapat ditentukan dengan lebih akurat.

3. Teori Mekanika Bahan dan Struktur (Mechanics of Materials)

Penelitian beton sangat berkaitan dengan mekanika bahan, di mana teori seperti hukum Hooke, modulus elastisitas, teori tegangan-regangan, dan mekanika retak (*fracture mechanics*) menjadi dasar pengujian. Metode eksperimental memungkinkan penerapan langsung teori-teori ini melalui pengujian aktual terhadap sampel beton yang mengandung serat polypropylene.

4. Teori Replikasi dan Validitas Pengujian

Metode eksperimental memungkinkan replikasi (pengulangan) untuk memastikan validitas dan reliabilitas hasil. Dalam pengujian beton, beberapa sampel uji dibuat untuk setiap variasi serat, dan hasil rata-rata digunakan untuk menganalisis kinerja material. Ini sesuai dengan prinsip statistik eksperimental untuk menjamin kesahihan kesimpulan.

5. Standar Pengujian Material (ASTM, SNI, BS)

Teori dan pedoman dari lembaga seperti ASTM (American Society for Testing and Materials) dan SNI (Standar Nasional Indonesia) juga menjadi dasar utama metode eksperimental. Misalnya, SNI 03-1974-1990 untuk uji tekan beton atau ASTM C78 untuk uji lentur beton menyediakan kerangka metodologis yang baku dan dapat diterapkan dalam penelitian laboratorium.

Dalam metode eksperimental di laboratorium ada beberapa tahapan yang harus dilakukan, sebagai berikut:

1. Pembuatan Sampel

Beton mutu tinggi dengan kuat tekan target 50 MPa dibuat dengan campuran semen Portland, agregat halus, agregat kasar, air, dan superplasticizer. Variasi penambahan serat polypropylene dilakukan dengan kadar 0%, 0,3%, 0,5%, dan 1% terhadap berat semen.

2. Pengujian Sampel

Sampel beton diuji setelah umur 7, 14, dan 28 hari dengan pengujian sebagai berikut:

- o **Kuat Tekan** (Uji Silinder Beton)
- o **Kuat Lentur** (Modulus of Rupture – Uji Balok)
- o **Pengujian Modulus Elastisitas**
- o **Uji Visual Retak (Crack Pattern Observation)**

3. Analisis Data

Hasil uji dibandingkan untuk melihat pengaruh kadar PP fiber terhadap perubahan kekuatan dan perilaku beton. Data dianalisis secara kuantitatif dan disajikan dalam grafik serta tabel komparatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

- **Kuat Tekan:** Terdapat peningkatan kuat tekan pada beton dengan serat PP hingga kadar 0,5%. Pada kadar 1%, kuat tekan menurun sedikit akibat meningkatnya void karena distribusi serat yang kurang merata.
- **Kuat Lentur:** Kuat lentur meningkat secara signifikan, terutama pada beton dengan serat 0,5%, menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap gaya tarik tidak langsung.
- **Modulus Elastisitas:** Penambahan serat PP cenderung tidak memengaruhi modulus elastisitas secara signifikan, namun beton lebih tahan terhadap deformasi plastis.
- **Pola Retak:** Beton dengan serat PP menunjukkan pola retak yang lebih tersebar dan retakan yang lebih kecil, menandakan adanya mekanisme kontrol retak yang efektif.

Secara keseluruhan, penambahan serat polypropylene memberikan dampak positif terhadap kinerja beton mutu tinggi, terutama dalam hal ketahanan terhadap retak dan peningkatan kekuatan lentur.

Ilustrasi Grafis Data Uji

Dalam mendukung analisis dan penyajian hasil penelitian mengenai pengaruh penambahan serat polypropylene pada beton mutu tinggi, khususnya dalam konteks konstruksi gedung bertingkat, penyajian data dalam bentuk ilustrasi grafis sangat penting untuk memperjelas hubungan antar variabel serta mempermudah pemahaman pembaca terhadap temuan-temuan utama. Beberapa ilustrasi grafis yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. **Grafik Kuat Tekan terhadap Variasi Kandungan Serat Polypropylene**
Grafik ini menunjukkan hubungan antara kadar serat polypropylene (0%, 0,3%, 0,5%, dan 1%) dengan nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari. Terlihat adanya tren peningkatan kuat tekan hingga pada titik optimal (biasanya pada 0,5%), kemudian sedikit penurunan akibat kemungkinan terbentuknya void.
2. **Grafik Kuat Lentur terhadap Kandungan Serat**
Disajikan dalam bentuk diagram batang atau garis, grafik ini menampilkan kontribusi serat terhadap peningkatan kekuatan lentur beton. Penambahan serat menunjukkan hasil signifikan terutama pada rentang 0,3% hingga 0,5%.

3. Grafik Modulus Elastisitas Beton

Grafik ini menggambarkan stabilitas modulus elastisitas pada berbagai kadar serat. Meskipun nilai modulus tidak berubah drastis, tren ini penting untuk menunjukkan kelenturan relatif dari beton berserat.

4. Diagram Pola Retak pada Sampel Uji Lentur

Ilustrasi ini berupa gambar atau sketsa visual pola retakan pada balok beton uji. Beton tanpa serat cenderung menunjukkan retakan besar dan terpusat, sedangkan beton dengan serat menunjukkan pola retakan halus dan tersebar, menandakan keberhasilan serat dalam mengendalikan retak.

5. Kurva Tegangan-Regangan

Disajikan dalam bentuk kurva, grafik ini menunjukkan perbandingan perilaku elastis dan plastis beton dengan dan tanpa serat. Beton dengan serat polypropylene menunjukkan daerah pasca-luluh (post-peak behavior) yang lebih lebar, menggambarkan peningkatan daktilitas dan energi serap.

6. Foto Dokumentasi Proses Uji Laboratorium

Sebagai pendukung grafis, foto proses pembuatan benda uji, penambahan serat polypropylene, dan pengujian mekanik ditampilkan untuk memberikan gambaran visual tentang proses eksperimental.

Melalui penyajian grafis ini, maka dapat secara visual memahami bagaimana penambahan serat polypropylene memengaruhi performa mekanik beton mutu tinggi, terutama dalam konteks struktur gedung bertingkat yang membutuhkan kekuatan, daktilitas, dan daya tahan terhadap beban dinamis secara bersamaan.

SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penambahan serat polypropylene pada beton mutu tinggi memberikan peningkatan signifikan terhadap beberapa parameter kinerja beton. Kadar optimal serat berada pada kisaran 0,5% dari berat semen, di mana terjadi peningkatan kuat tekan dan kuat lentur tanpa penurunan workability yang signifikan. Serat PP berperan sebagai elemen pengontrol retak mikro dan mampu meningkatkan keuletan beton, yang sangat penting untuk struktur-struktur yang mengalami beban dinamis atau siklik.

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disarankan hal-hal sebagai berikut: a. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan variasi panjang serat dan bentuk campuran serat lainnya; b. Untuk aplikasi di lapangan, perlu dilakukan uji jangka panjang terhadap durabilitas beton berserat di lingkungan lembab dan agresif; c. Kajian terhadap efisiensi biaya produksi beton berserat perlu dilakukan untuk aplikasi massal pada proyek infrastruktur nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Oesman, M., Herawati, R., & Jauza, Z. N. (2022). Effect of Polypropylene Fibre on Self-Compacting High-performance Concrete. Jurnal Advanced Civil & Environmental Engineering (JACEE) ejournal.unesa.ac.id+3journal.unismuh.ac.id+3journal.uib.ac.id+3mdpi.com+5journal.unissula.ac.id+5ejournal.itenas.ac.id+5.
- Oesman, M., Herawati, R., & Jauza, Z. N. (2023). Pengaruh Serat Polypropylene pada Beton Self-Compacting. RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil ejournal.itenas.ac.id.
- Ahmad, J., Aslam, F., Martínez-García, R., de Prado-Gil, J., Abbas, N., & El Ouni, M. H. (2021). Mechanical performance of concrete reinforced with polypropylene fibers (PPFs). SAGE Journals journals.sagepub.com.
- [Author Unknown]. (2021). Experimental investigation on mechanical performance of high-strength concrete containing polypropylene fiber exposed to high temperature. Asian Journal of Civil Engineering mdpi.com+15link.springer.com+15journal.unismuh.ac.id+15.
- Djayaprabha, H. S., Perceka, W., & Oriana, A. (2024). Experimental Study on Steel and Polypropylene Fibers Mortar Bond Strength under Uniaxial Tension. Applied Research on Civil Engineering and Environment (ARCEE) jurnal.pnj.ac.id.
- [Author Unknown]. (2020). An Experimental Study on the Compressive Dynamic Performance of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete for Retaining Structure under Automobile Collision Magnitude. Advances in Civil Engineering onlinelibrary.wiley.com.
- [Author Unknown]. (2023). Structural performance of polypropylene fibre-reinforced concrete beams incorporating nanosilica and alccofine. Innovative Infrastructure Solutions ejournal.unesa.ac.id+15link.springer.com+15journal.unismuh.ac.id+15.
- Kich, R. M., Kich, V. A., & Seibt, K. I. (2022). Practical Analysis of Permeable Concrete Properties with Polypropylene Fiber Addition. arXiv arxiv.org.
- Faldo, F., & Hudori, M. (2021). Pengaruh Efektifitas Penggunaan Serat Polypropylene Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP) ejournal.itenas.ac.id+3journal.uib.ac.id+3journal.unismuh.ac.id+3.
- Mushar, et al. (2024). Nilai Kuat Tekan Beton Berbahan Tambah Serat Masker Medis Berbasis Metode Non-Destructive Test menggunakan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). Jurnal Linears journal.unismuh.ac.id.

- [Author Unknown]. (2021). Innovative use of single-use face mask fibers for the production of a sustainable cement mortar. Journal of Composites Science journal.unismuh.ac.id.
- Yusra, A., Opirina, L., Satria, A., & Isma, I. (2020). Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene pada Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi journal.unismuh.ac.id.
- Paganggi, W. R., Makmur, A., & Rachmansyah, R. (2021). Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene terhadap Kuat Tekan dan Nilai Permeabilitas pada Beton Berpori. Media Komunikasi Teknik Sipil ejurnal.itenas.ac.id+3journal.unismuh.ac.id+3ejournal.unesa.ac.id+3.
- Al Faritzie, H., Fuad, I. S., & Akbar, I. (2023). Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene Serta Super Plasticizer Terhadap Kuat Tekan Dan Tarik Belah Beton. Jurnal Deformasi journal.unismuh.ac.id.
- Avudaiappan, S., et al. (2023). Innovative use of single-use face mask fibers for the production of a sustainable cement mortar. Journal of Composites Science journal.unismuh.ac.id.