

PENGARUH SERAT TERHADAP MODULUS ELASTISITAS BETON TANPA AGREGAT KASAR

Daniel Christianto^{1*}, Yenny Untari Liucius², dan Patrick Matthew Handoyo³

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
**danielc@ft.untar.ac.id*

Masuk: 01-07-2025, revisi: 09-07-2025, diterima untuk diterbitkan: 15-07-2025

ABSTRACT

Concrete is a primary material in modern construction due to its ability to withstand compressive loads. However, elasticity is also a crucial factor in maintaining structural stability under dynamic loads. One innovation to improve concrete quality is the use of Reactive Powder Concrete (RPC), a type of concrete without coarse aggregate, composed of ultra-fine materials and reinforced with steel fibers. This study aims to evaluate the mechanical properties of RPC, particularly the modulus of elasticity and compressive strength, in steel fiber-reinforced concrete without coarse aggregate. Six cylindrical specimens measuring 150 mm × 300 mm were prepared using a mix of OPC cement, silica sand, silica fume, superplasticizer, marble powder, water, and steel fibers. All samples underwent 28 days of steam curing before being tested using a Universal Testing Machine (UTM). The compressive strength results ranged from 62.90 MPa to 98.91 MPa, while the modulus of elasticity ranged from 44,711.5064 MPa to 54,951.6954 MPa. The results formed a non-linear curve.

Keywords: RPC; steel fiber; elastic modulus; compressive strength; coarse aggregate-free concrete

ABSTRAK

Beton merupakan material utama dalam konstruksi modern karena kemampuannya menahan beban tekan. Namun, elastisitas juga menjadi faktor penting dalam menjaga stabilitas struktur terhadap beban dinamis. Salah satu inovasi untuk meningkatkan mutu beton adalah penggunaan *reactive powder concrete* (RPC), yaitu beton tanpa agregat kasar yang terdiri dari material berukuran sangat halus dan diperkuat dengan serat baja. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat mekanik RPC, khususnya modulus elastisitas dan kuat tekan, pada beton berserat baja tanpa agregat kasar. Sebanyak enam benda uji berbentuk silinder berukuran 150 mm × 300 mm dibuat menggunakan campuran semen OPC, pasir silika, *silica fume*, *superplasticizer*, tepung marmer, air, dan serat baja. Seluruh sampel menjalani perawatan menggunakan metode *steam curing* selama 28 hari, kemudian diuji dengan *Universal Testing Machine* (UTM). Hasil pengujian tekan yang didapat berkisar antara 62,90 MPa hingga 98,91 Mpa, dan hasil uji modulus elastisitas didapat berkisar antara 44.711,5064 MPa hingga 54.951,6954 Mpa. Dari hasil yang telah didapat membentuk kurva non-linear.

Kata kunci: RPC; serat baja; modulus elastisitas; kuat tekan; beton tanpa agregat kasar

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang banyak digunakan karena memiliki keunggulan dalam hal kekuatan tekan yang relatif tinggi (Kurniati, 2024). Meskipun demikian, dalam penggunaannya sebagai elemen struktural, beton juga harus memiliki tingkat elastisitas yang memadai agar mampu menahan beban kerja tanpa mengalami deformasi yang berlebihan. Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas beton adalah dengan mengembangkan jenis beton berkinerja tinggi, seperti *reactive powder concrete* (RPC).

Penelitian ini memanfaatkan penambahan serat sebagai bahan tambahan dalam campuran beton. Beton berserat merupakan jenis beton yang diperkaya dengan serat sintetis maupun alami guna meningkatkan performa mekanisnya. Kehadiran serat dalam campuran beton berfungsi untuk memperkuat sifat tarik, meningkatkan daktilitas, serta memperbaiki ketahanan beton terhadap pembentukan retak akibat beban. Serat yang umum digunakan dapat berasal dari berbagai jenis material seperti baja, polipropilena, serat kaca, maupun serat karbon (Mehta et al., 2006)

Sejalan dengan tujuan peningkatan performa mekanis beton, penelitian ini difokuskan pada analisis terhadap kuat tekan serta modulus elastisitas dari beton berserat tipe *reactive powder concrete* (RPC) tanpa menggunakan agregat kasar. Hal ini dilatarbelakangi oleh keterbatasan ketentuan dalam standar ACI (*American Concrete Institute*) yang umumnya hanya mencakup karakteristik beton konvensional. Oleh karena itu, sebagai dasar acuan dalam pengujian dan analisis, penelitian ini mengadopsi metode dan ketentuan yang tercantum dalam standar ASTM (*American Society*

for Testing and Materials), yang dinilai lebih relevan dalam mengkaji perilaku mekanis beton dengan komposisi khusus seperti RPC berserat baja tanpa agregat kasar.

Melalui pelaksanaan penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai sejauh mana penambahan serat memengaruhi karakteristik mekanis beton, khususnya terhadap nilai modulus elastisitas dan kuat tekan pada jenis beton RPC tanpa agregat kasar. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk mengidentifikasi peningkatan performa struktural beton, tetapi juga untuk memperluas pengetahuan mengenai perilaku beton berserat dalam kondisi ekstrem yang mungkin terjadi di lapangan. Selain itu, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan material beton bermutu tinggi yang lebih efisien, tangguh, dan dapat diandalkan untuk mendukung berbagai kebutuhan konstruksi bangunan modern yang menuntut kinerja material yang lebih unggul dari beton konvensional.

Beton

Beton merupakan material konstruksi yang tersusun dari campuran semen sebagai bahan pengikat, air, serta agregat halus maupun kasar seperti pasir dan kerikil, dengan atau tanpa tambahan bahan aditif (*admixture*) untuk meningkatkan sifat tertentu dari campuran tersebut (Pangaribuan, 2013). Penggunaannya sangat luas dalam dunia konstruksi, mulai dari bangunan tempat tinggal, gedung bertingkat, hingga struktur infrastruktur seperti jembatan. Untuk mencapai mutu beton yang sesuai dengan kebutuhan perencanaan, campuran beton harus dirancang secara cermat agar memiliki kekuatan tekan yang optimal serta mampu memenuhi standar ketahanan atau durabilitas. Baik beton bertulang maupun beton tanpa tulangan dapat diaplikasikan dalam elemen-elemen struktural, tergantung pada tuntutan teknis dari struktur yang dirancang.

Sebagai batuan buatan, beton memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menahan gaya tekan, namun kelemahannya terletak pada kemampuannya dalam menerima gaya tarik. Beton diperoleh dari pencampuran homogen antara agregat kasar, agregat halus, dan semen, yang kemudian akan mengeras dan membentuk massa padat menyerupai batu setelah proses hidrasi. Karena beton umumnya dicampur langsung di lapangan dan tidak dapat diuji sebelumnya dalam kondisi basah, maka diperlukan ketelitian tinggi serta pengawasan yang ketat dalam tahap pencampuran dan pengecoran. Kekuatan akhir dari beton sangat ditentukan oleh proporsi setiap bahan penyusunnya. Agar diperoleh struktur beton yang kuat dan padat, pasir harus mampu mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat kasar, dan semen harus menutup pori-pori di antara butir pasir untuk menghasilkan ikatan yang solid serta meningkatkan kekuatan tekan beton secara maksimal.

Beton Berserat

Kelemahan utama beton terletak pada kemampuannya dalam menahan gaya tarik. Untuk mengatasi hal tersebut, salah satu solusi yang umum diterapkan adalah dengan menambahkan serat ke dalam campuran beton. Beton berserat merupakan jenis beton yang diperkaya dengan serat tertentu guna meningkatkan performa tariknya, sehingga memiliki kekuatan tarik yang lebih baik dibandingkan dengan beton konvensional (Hendi & Aljalawi, 2024). Jenis serat yang digunakan dalam campuran ini sangat beragam, antara lain serat polimer, serat baja, maupun serat yang berasal dari bahan alami. Kehadiran serat dalam campuran beton tidak hanya berfungsi sebagai penguat, tetapi juga secara signifikan dapat meningkatkan sifat mekanis beton secara keseluruhan, seperti ketangguhan, daktilitas, dan ketahanan terhadap retak (Al Huseiny & Nursani, 2020).

Semen

Semen adalah salah satu bahan utama dalam dunia konstruksi karena kemampuannya yang bersifat adhesif dan kohesif, sehingga mampu merekatkan agregat dengan air (Kurniati, 2024). Ketika semen dicampur dengan air, akan terjadi reaksi kimia yang memicu proses pengerasan. Secara umum, terdapat tiga jenis semen yang banyak digunakan, yaitu Ordinary Portland Cement (OPC), Portland Composite Cement (PCC), dan Portland Pozzoland Cement (PPC). OPC diperoleh dari proses penggilingan terak semen Portland yang kaya akan kalsium silikat dengan tambahan kalsium sulfat. PCC merupakan kombinasi dari penggilingan terak semen Portland, gipsum, serta beberapa bahan anorganik lain yang dapat meningkatkan kekuatan semen. Sementara itu, PPC merupakan hasil pencampuran homogen antara semen Portland dengan bahan Pozzoland halus, yang dikenal mampu meningkatkan kekuatan beton secara bertahap seiring waktu (Aryani, 2018).

Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami berukuran kecil yang digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran beton dan menyumbang sekitar 60%–75% dari total massa beton. Dua sifat utama yang harus dimiliki agregat adalah kekuatan terhadap tekanan dan ketahanan terhadap benturan, karena keduanya memengaruhi daya kohesif pada pasta semen. Agregat harus memiliki gradasi yang baik, di mana partikel kecil dapat mengisi rongga antar partikel yang lebih besar, sehingga menghasilkan beton yang padat dan kuat. Selain itu, agregat harus bebas dari kandungan organik agar dapat berikatan optimal dengan campuran semen serta tidak mengalami reaksi kimia yang merugikan. Oleh

karena itu, untuk menghasilkan beton yang kuat dan tahan lama, agregat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu agregat halus dan agregat kasar (Dina et al., 2022).

Admixture

Bahan tambahan (admixture) adalah komponen selain air, semen, dan agregat yang ditambahkan ke dalam campuran beton saat proses pencampuran berlangsung. Penggunaannya bertujuan untuk menyesuaikan karakteristik beton sesuai kebutuhan konstruksi, seperti meningkatkan kemudahan pengerjaan, menekan biaya, serta mengoptimalkan kinerja beton. Admixture juga bermanfaat untuk mengurangi penggunaan air tanpa menurunkan mutu beton, meningkatkan kekuatan tekan, dan meminimalkan retak akibat penyusutan kering (Gea et al., 2024).

Silica Fume

Silica fume adalah material berukuran sangat halus yang berasal dari limbah industri produksi silikon atau ferrosilikon. Dengan kandungan silika tinggi sekitar 93,09% dan sifat pozzolan yang unggul, *silica fume* mampu meningkatkan kualitas beton. Penambahan material ini dalam campuran beton dapat mengurangi porositas, memperbaiki ketahanan, serta meningkatkan kekuatan tekan beton secara signifikan (Davendra, 2022).

Tepung Marmer

Tepung marmer adalah hasil limbah dari proses industri pengolahan batu marmer yang tersebar luas di Indonesia. Penggunaannya sebagai bahan campuran beton tidak hanya berkontribusi dalam menekan pencemaran lingkungan, tetapi juga mampu meningkatkan kualitas beton. Tingginya kandungan kalsium dalam tepung marmer memungkinkan terjadinya reaksi pozzolanik dengan mikrosilika, yang menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (CSH) dan berfungsi untuk memperkuat struktur beton (Lingasari et al., 2019).

Superplasticizer

Superplasticizer merupakan bahan kimia tambahan dalam campuran beton yang berfungsi untuk mengurangi kebutuhan air tanpa mengurangi kemampuan pengerjaannya. Terdapat tiga jenis superplasticizer yang berasal dari senyawa sulfonat organik, yang mampu menurunkan kadar air secara signifikan namun tetap meningkatkan nilai slump beton hingga lebih dari 208 mm (Sitanggang et al., 2022)

Modulus Elastisitas

Meskipun demikian, dalam praktik rekayasa struktur, penerapan teori elastisitas pada beton, beton menghadapi sejumlah tantangan teknis. Salah satu hambatan utamanya terletak pada sifat beton yang cenderung bersifat inelastis, terutama ketika beton mengalami beban jangka panjang. Nilai modulus elastisitas beton tidak bersifat konstan, melainkan sangat dipengaruhi oleh tingkat tegangan serta durasi pembebanan yang bekerja pada struktur. Dalam kondisi tegangan yang dijaga tetap, pendekatan menggunakan modulus elastisitas efektif sering digunakan untuk menghubungkan tegangan dan regangan, dengan mempertimbangkan koefisien rangkak sebagai parameter koreksi .

Namun demikian, pada analisis penampang beton bertulang, terjadi perubahan kedalaman sumbu netral yang disebabkan oleh redistribusi tegangan akibat efek rangkak. Oleh karena itu, penggunaan modulus elastisitas efektif dengan nilai koefisien rangkak tetap hanya memberikan pendekatan estimatif terhadap distribusi tegangan yang terjadi secara riil pada elemen struktur. Selain itu, perubahan karakteristik tegangan beton seiring waktu menambah kompleksitas dalam perhitungan tersebut, sehingga hasil yang diperoleh dari pendekatan ini bersifat perkiraan. Meski begitu, metode ini masih dianggap relevan untuk memproyeksikan tegangan beton dalam desain teknik sipil.

Berdasarkan ketentuan dari ASTM C469, modulus elastisitas didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan dan regangan ketika tegangan yang dikenakan mencapai 40% dari kekuatan tekan maksimum beton. Beberapa parameter penting yang memengaruhi nilai modulus elastisitas ini meliputi usia beton, kualitas agregat dan semen yang digunakan, kecepatan pembebanan, serta dimensi dan bentuk benda uji (Rompas et al., 2013).

Dalam kajian eksperimental oleh Leonova et al. (2021), ditemukan bahwa modulus elastisitas beton mengalami perkembangan signifikan seiring bertambahnya usia beton. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada umur 1, 3, dan 14 hari, nilai modulus elastisitas masing-masing setara dengan sekitar 60%, 75%, dan 93% dari nilai yang dicapai pada usia 28 hari. Temuan ini mengindikasikan bahwa beton telah mengalami peningkatan kemampuan menahan deformasi sejak tahap awal proses pengikatan. Selain itu, terdapat hubungan linier yang konsisten antara peningkatan modulus elastisitas dengan peningkatan kuat tekan beton. Secara umum, nilai aktual dari modulus elastisitas sangat dipengaruhi oleh kualitas agregat serta perbandingan campuran beton, dan dalam praktiknya, nilai ini berkisar antara 80% hingga 120% dari nilai teoretis yang diperoleh melalui perhitungan analitik (Leonova et al., 2021).

2. METODE PENELITIAN

Dalam upaya untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik mekanis beton berserat tipe RPC tanpa agregat kasar, penelitian ini menggabungkan pendekatan studi literatur dengan metode eksperimental di laboratorium. Tahapan studi pustaka dilakukan secara sistematis dengan menelaah berbagai sumber referensi yang relevan, baik dari jurnal ilmiah, buku teks teknik sipil, maupun standar nasional dan internasional yang berkaitan dengan beton, modulus elastisitas, serta teknologi RPC. Hasil kajian ini kemudian dijadikan landasan dalam merumuskan kerangka teoritis dan metodologi yang digunakan dalam penelitian, sekaligus sebagai pijakan dalam proses analisis data dan penarikan kesimpulan.

Sementara itu, pendekatan eksperimental dilakukan melalui serangkaian pengujian laboratorium terhadap sampel beton yang telah dirancang sesuai dengan komposisi campuran RPC yang telah ditentukan. Pembuatan sampel dilakukan dengan mempertimbangkan proporsi material secara teliti, termasuk penambahan serat sebagai variabel penelitian. Selanjutnya, sampel beton yang telah mencapai umur perencanaan diuji menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM) untuk menentukan kuat tekan dan modulus elastisitas. Untuk memperoleh data deformasi yang diperlukan dalam perhitungan modulus elastisitas, digunakan alat bantu berupa compressometer yang dipasang pada benda uji. Dengan demikian, pendekatan ini memungkinkan diperolehnya data empiris yang valid dan dapat dibandingkan secara langsung dengan teori yang telah ditelaah sebelumnya.

Mix Design

Dalam menentukan komposisi bahan baku untuk membuat campuran beton (*mix design*), dilakukan perhitungan yang bertujuan untuk mendapatkan jumlah ukuran perbandingan yang sesuai dengan Tabel 1, yang telah dilampirkan adalah komposisi bahan untuk kebutuhan material *mix design* beton pada penelitian ini setiap 1 m³ (Christianto et al., 2022)

Tabel 1. Komposisi Bahan Sampel Beton

Bahan	Berat Jenis (kg/m ³)	Rasio terhadap Semen	Volume dalam massa semen (m ³ /kg)	Kebutuhan Material per 1m ³ (kg/m ³)
Semen	3150	1	0,00032	934,2338
Pasir	2617.8	1,1	0,00042	1027,6572
<i>Silica fume</i> (SIKA)	2200	0,2	0,00009	186,8468
<i>Superplasticizer</i>	1150	0,025	0,00002	23,3558
Air	1000	0.18	0,00018	218,6107
Tepung Marmer	2563	0.1	0,00004	93,4234
Serat <i>Fiber</i>	7850			7,85
		Σ	0,00107	
		0.999/Σ	934,2338	

Pada Tabel 1, *mix design* dihitung berdasarkan kebutuhan 1m³. Sampel yang dibuat berjumlah 6 buah silinder beton berserat dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Silinder

Proses pembuatan dan perawatan benda uji dilakukan di laboratorium melalui tahapan berikut:

1. Menyediakan enam buah cetakan silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, lalu melapisinya dengan oli untuk mempermudah pelepasan beton.
2. Menyiapkan serta menimbang seluruh material sesuai dengan komposisi yang telah dirancang.
3. Memasukkan bahan-bahan seperti semen, pasir silika, tepung marmer, dan silica fume ke dalam mesin molen, kemudian diaduk hingga tercampur merata.
4. Setelah campuran kering homogen, air dan superplasticizer ditambahkan secara perlahan ke dalam molen.
5. Pengadukan dilanjutkan selama sekitar 30 menit hingga campuran benar-benar merata, kemudian serat fiber ditambahkan ke dalam campuran beton.
6. Setelah semua material tercampur secara menyeluruh, campuran beton dituangkan ke dalam cetakan yang telah disiapkan.
7. Cetakan kemudian diketuk dengan palu karet untuk menghilangkan gelembung udara yang terperangkap di dalam beton.
8. Benda uji dibiarkan mengeras selama 24 jam, lalu dilepaskan dari cetakan setelah beton mengering dan mengeras.

- Selanjutnya, benda uji menjalani proses perawatan dengan metode steam curing, yaitu dengan merendam sampel dalam bak air yang dipanaskan menggunakan elemen pemanas selama 28 hari. Tujuannya adalah untuk menjaga kelembaban beton dan meningkatkan kekuatannya.

Uji Modulus Elastisitas

Untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam mencapai tujuan penelitian, dilakukan pengujian berdasarkan standar ASTM C469/C469M-14, yaitu "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression" menggunakan benda uji silinder. Prosedur pengujian dilaksanakan melalui langkah-langkah berikut:

- Benda uji silinder yang telah melalui proses perawatan di dalam air diangkat dan dikeringkan terlebih dahulu selama 24 jam.
- Selanjutnya, benda uji ditimbang dan dilakukan proses capping menggunakan material belerang untuk meratakan permukaan.
- Setelah proses capping, benda uji didiamkan pada suhu ruang selama kurang lebih enam jam.
- Benda uji kemudian dipasang ke dalam alat compressometer dengan posisi yang disesuaikan agar berada tepat di tengah, serta dial gauge dikalibrasi hingga menunjukkan angka nol.
- Pengujian dilanjutkan dengan menempatkan sampel dalam Universal Testing Machine (UTM) untuk dilakukan uji tekan sesuai prosedur standar.
- Selama proses berlangsung, perubahan angka pada dial gauge compressometer dicatat secara berkala.
- Saat beban mencapai $\pm 40\%$ dari rata-rata kuat tekan, pengujian dihentikan sementara untuk melepaskan compressometer.
- Benda uji kemudian dimasukkan kembali ke UTM untuk melanjutkan pengujian hingga beton mencapai keruntuhan.
- Data hasil uji tekan akhir dicatat dari pembacaan mesin UTM.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Melalui serangkaian pengujian yang dilakukan secara sistematis di laboratorium, diperoleh sejumlah data signifikan yang digunakan sebagai dasar dalam menganalisis nilai modulus elastisitas pada beton berserat dengan tipe *reactive powder concrete* (RPC). Pemilihan jenis beton ini didasarkan pada karakteristiknya yang unik dan sesuai dengan tujuan penelitian. Tahapan praktikum dilakukan secara berurutan, mencakup pengujian kuat tekan serta pengujian modulus elastisitas. Kedua metode pengujian ini memiliki peran khusus dalam meninjau perilaku mekanis dari material beton yang diteliti. Tabel 2 menunjukkan spesifikasi benda uji beton berserat tipe RPC.

Tabel 2. Data benda uji

Kode Benda uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Volume (mm ³)	Massa (gr)	Berat Jenis (kg/m ³)
S.1	150	300	5301437,6030	11845	2235,4328
S.2	150	300		11890	2243,9254
S.3	150	300		11785	2224,1094
S.4	150	300		11750	2217,5041
S.5	150	300		11995	2263,7414
S.6	150	300		11615	2192,0264

Hasil Uji Tekan

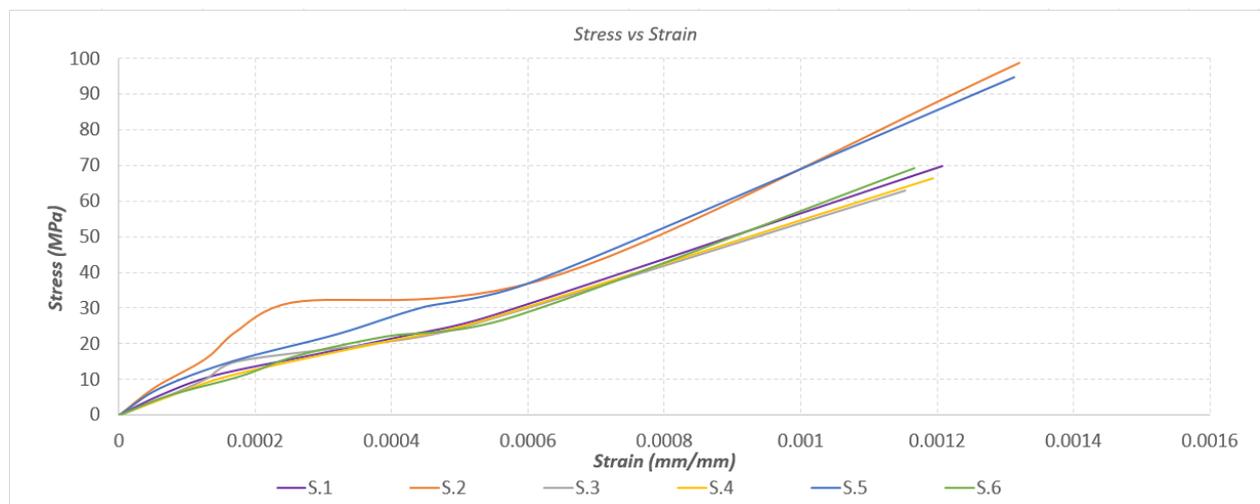
Pada pengujian kuat tekan beton, mutu beton ($f'c$) ditentukan berdasarkan pembacaan beban maksimum yang dicatat oleh mesin *Universal Testing Machine* (UTM) saat benda uji mencapai kondisi keruntuhan. Nilai $f'c$ ini merepresentasikan kapasitas beban maksimum yang dapat ditahan oleh beton sebelum mengalami kegagalan struktural. Sementara itu, pengujian modulus elastisitas juga menghasilkan nilai $f'c$ melalui pendekatan yang serupa, yakni setelah perangkat pengukur deformasi seperti dial gauge dan compressometer dilepas dari benda uji. Nilai $f'c$ yang diperoleh dari kedua prosedur pengujian tersebut digunakan untuk menghitung rata-rata kuat tekan beton. Rangkuman hasil pengujian kuat tekan secara menyeluruh disajikan pada Tabel 3, yang menampilkan nilai rata-rata $f'c$ dari setiap sampel yang diuji.

Tabel 3. Hasil uji tekan pada benda uji

Kode Benda Uji	Mutu Beton ($f'c$) (MPa)	Rata-Rata (\bar{X}) (MPa)
S.1	69,8089	77,0087
S.2	98,9101	
S.3	62,9016	
S.4	66,2986	
S.5	94,8903	
S.6	69,2427	

Hasil Uji Elastisitas

Dalam pengujian modulus elastisitas beton, data deformasi diperoleh menggunakan alat *compressometer* yang terintegrasi dengan *dial gauge* sebagai instrumen utama pencatat perubahan panjang spesimen. *Dial gauge* merekam secara presisi setiap perubahan dimensi seiring peningkatan beban yang diaplikasikan. Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan interval tertentu, dan pada setiap tahap, deformasi diukur berdasarkan pergerakan indikator pada *dial gauge*. Data hasil pengukuran tersebut selanjutnya diolah untuk menggambarkan respons elastis beton terhadap tekanan yang diterimanya. Gambar 1 memperlihatkan grafik pembacaan *dial gauge* yang sudah diubah menjadi *strain* dan *load* yang sudah di konversi menjadi *Stress*.



Gambar 1. Grafik *stress vs strain* pada semua benda uji

Setelah mendapat kan grafik *Stress vs Strain*, diperoleh data *stress* saat strain 0.00005 dan strain saat saat stress 40% dari kekuatan penuh beton. Setelah telah mendapatkan data yang dibutuhkan maka data akan diolah menggunakan rumus yang terdapat pada ASTM. Tabel 4 menunjukkan hasil modulus elastisitas dari tiap sampel beton dan rata-rata modulus elastisitas benda uji beton berserat tipe RPC.

Tabel 4. Hasil uji modulus elastisitas pada benda uji

Kode Benda Uji	Modulus Elastisitas (E) (MPa)	Rata-Rata (\bar{X}) (MPa)
S.1	46154,8326	48776.1853
S.2	54576,6170	
S.3	45670,4700	
S.4	46591,9906	
S.5	54951,6954	
S.6	44711,5064	

Setelah mendapatkan nilai modulus elastisitas dari persamaan yang terdapat pada astm, hasil yang telah didapat akan dibandingkan dengan rumus yang terdapat pada ACI (*American Concrete Institute*). Tabel 5 menunjukkan perbandingan antara rumus ASTM dan rumus yang terdapat pada ACI.

Tabel 5. Nilai modulus elastisitas dengan berbagai rumus

Kode Benda Uji	Mutu Beton ($f'c$) (MPa)	Berat Jenis (kg/m^3)	Modulus Elastisitas (E) (MPa)		
			Menurut ASTM	Menurut SNI	
			$E_c = \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - 0,00005}$	$w_c = 1400 - 2560 \text{ kg/m}^3$ $E_c = 0.043 w^{1,5} \sqrt{f'c}$	Beton Normal $E_c = 4700 \sqrt{f'c}$
S.1	69.80	2235.4328	46154.8326	37972.2524	39269.3134
S.2	98.91	2243.9254	54576.6170	45457.0719	46743.1765
S.3	62.90	2224.1094	45670.4700	35771.2102	37275.9568
S.4	66.29	2217.5041	46591.9906	36560.9499	38269.2735
S.5	94.89	2263.7414	54951.6954	45114.8595	45783.4776
S.6	69.24	2192.0264	44711.5064	36721.8264	39109.7463

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis modulus elastisitas pada beton berserat tanpa agregat kasar bertipe *reactive powder concrete* (RPC) yang dilaksanakan di Laboratorium Konstruksi dan Teknologi Beton, Universitas Tarumanagara, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Beton berserat tanpa penggunaan agregat kasar dalam penelitian ini menunjukkan berat jenis yang berada dalam kisaran 2192,0264 kg/m^3 hingga 2263,7414 kg/m^3 pada benda uji silinder berukuran 150 mm \times 300 mm. Berdasarkan klasifikasi massa jenis beton pada SNI, sampel beton pada penelitian ini dapat digolongkan sebagai beton ringan karena nilai berat jenisnya tidak melebihi 2400 kg/m^3 .
2. Dengan rancangan campuran (mix design) yang telah disusun sebelumnya serta melalui proses perawatan menggunakan metode steam curing, diperoleh nilai kuat tekan beton ($f'c$) yang berkisar antara 62,90 MPa hingga 98,91 MPa, menunjukkan bahwa beton yang dikembangkan memiliki kekuatan struktural yang cukup tinggi.
3. Dari hasil pengujian terhadap modulus elastisitas, diperoleh nilai antara 44.711,5064 MPa hingga 54.951,6954 MPa pada benda uji silinder berukuran 150 mm \times 300 mm. Nilai-nilai tersebut mencerminkan kemampuan beton dalam menahan deformasi elastis akibat pembebanan.
4. Dalam proses analisis modulus elastisitas, pendekatan perhitungan dilakukan berdasarkan standar yang diterbitkan oleh American Society for Testing and Materials (ASTM). Penggunaan metode tersebut bertujuan agar data yang dihasilkan memiliki validitas tinggi serta sesuai dengan ketentuan pengujian internasional, khususnya dalam menetapkan hubungan antara tegangan dan regangan beton secara lebih akurat.
5. Selama pelaksanaan pengujian kuat tekan dan uji modulus elastisitas terhadap beton berserat tanpa agregat kasar tipe RPC, diperoleh fakta bahwa beton ini tetap mampu mempertahankan bentuk sampel silinder meskipun telah mengalami pembebanan maksimum. Serat yang tercampur di dalam beton berfungsi efektif dalam menahan lepasnya pecahan-pecahan material, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap kerusakan pasca-retak.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Huseiny, M. S., & Nursani, R. (2020). Pengaruh bahan tambah serat fiber terhadap kuat tekan dan lentur beton. *Akselerasi : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 1(2). <https://doi.org/10.37058/aks.v1i2.1505>
- American Society for Testing Material. (2014). *Standard test method for static modulus of elasticity and poisson's ratio of concrete in compression* (ASTM C469/C469M 2014). <https://store.astm.org/standards/c469>
- Aryani, F. D. (2018). Analisis pengaruh variasi semen OPC dan PPC serta penggunaan agregat alwa berbahan limbah styrofoam terhadap kuat tekan beton ringan. <https://doi.org/10.35724/mjce.v4i02.4302>
- Christianto, D., Makarim, C. A., Tavio, T., & Jusuf, A. H. (2022). A proposed formula for predicting size effect on shear strength of concrete beams without coarse aggregate. *International Journal on Engineering Applications (IREA)*, 10(3), 220. <https://doi.org/10.15866/irea.v10i3.20552>
- Davendra, V. (2022). Pengaruh silica fume sebagai bahan tambah terhadap karakteristik beton mutu tinggi. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*, 5(2), 1–8. <https://doi.org/10.14710/potensi.2022.14864>
- Dina, F., Walsen, S., & Tuanakotta, A. (2022). Perencanaan campuran beton menggunakan agregat quarry wai-tunsa dan perawatan dengan air laut dan air tawar. *Journal Agregate*, 1(1), 84–88. <https://doi.org/10.31959/ja.v1i1.1634>
- Gea, P. M., Dohare, G. A., Zebua, M. K., Zebua, A. K., Zebua, D., & Ndruru, R. J. (2024). Pengaruh penambahan serat baja terhadap kuat tekan beton pada berbagai tingkat kepadatan. *Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik*, 1(1), 66–73. <https://doi.org/10.70134/identik.v1i1.246>

- Hendi, S. I., & Aljalawi, N. M. F. (2024). Behavior of reactive powder concrete reinforced with hybrid fibers containing sustainable materials. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(3), 13878–13882. <https://doi.org/10.48084/etasr.7167>
- Kurniati, D. (2024). *Ketahanan Kuat Tekan Beton dengan Serat Fiber Glass sebagai Bahan Tambah*. <https://doi.org/10.32531/jkar.v10i2.898>
- Leonova, L., Elvira, E., & Priadi, E. (2021). Hubungan kuat tekan dan modulus elastisitas terhadap usia beton dengan berbagai variasi kadar superplasticizer. *Jurnal TEKNIK-SIPIL*, 21(1), 1-6. <https://doi.org/10.26418/jtsft.v21i1.50661>
- Linggasari, D., Sutandi, A., & Kushartomo, W. (2019). Pengaruh tepung marmer terhadap sifat mekanik reactive powder concrete. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, 2(2), 556-565.. <https://doi.org/10.24912/jmstkik.v2i2.3013>
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., & Monteiro, P. J. (2006). *Concrete: Microstructure, properties, and materials ; [CD-ROM with 1000+ Powerpoint slides, videos, bonus material, and more]* (3rd ed. [fully rev. and updated]). McGraw-Hill.
- Pangaribuan, M. R. (2013). *Pengaruh Penggunaan Batu Cadas (Batu Trass) sebagai Bahan Pembentuk terhadap Kuat Tekan Beton*". <https://doi.org/10.33369/inersia.v5i2.6734>
- Rompas, G. P., Pangouw, J. D., Pandaleke, R., & Mangare, J. B. (2013). Pengaruh pemanfaatan abu ampas tebu sebagai substitusi parsial semen dalam campuran beton ditinjau terhadap kuat tarik lentur dan modulus elastisitas. *Jurnal Sipil Statik*, 1(2), 82-89. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v2/index.php/jss/article/view/926>
- Sitanggang, R., Hutabarat, N. S., & Ginting, R. (2022). Penggunaan superplasticizer pada beton mutu f'c 25 MPa. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 11(2), 202-209. <https://doi.org/10.46930/tekniksipil.v11i2.2707>