



Perilaku Beton Berserat Baja Terhadap Beban Uniaksial

Purwanto^{1,2}✉, Hermawan²

¹ Program Studi Teknik Sipil Universitas Semarang, Indonesia

² Program Studi Program Profesi Insinyur Universitas Katolik Soegijapranata, Indonesia

DOI: <http://dx.doi.org/10.26623/teknika.v20i2.12216>

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Disubmit : 2025-06-16

Direvisi : 2025-07-16

Disetujui : 2025-10-26

Keywords:

*Compressive strength;
deformation; ductility; steel fiber;
uniaxial compressive loading*

Abstrak

Perkembangan teknologi beton saat ini sangat pesat, dimana banyak dilakukan beberapa eksperimen dengan model dan bahan tambah material beton yang beraneka ragam. Dengan bahan tambah ini diharapkan dapat menaikkan kekuatan menahan tekanan pada beton. Penelitian ini menggunakan campuran serat baja dalam beton yang akan menjadi alternatif untuk menjawab seberapa besar pengaruhnya terhadap kenaikan kuat tekan beton. Variabel yang digunakan adalah dengan menambah volume serat pada beton yaitu sebesar 0%, 1% dan 2%. Alat uji tekan dengan mekanisme pengaturan deformasi digunakan untuk menguji seluruh spesimen secara monotonik terhadap beban tekan uniaksial kapasitas 2.000 kN. Data-data hasil eksperimen beton tersebut digunakan untuk mengembangkan model perilaku tegangan-regangan beton. Berdasarkan hasil pengujian, penambahan serat pada beton mutu normal, menengah dan tinggi secara konsisten meningkatkan kemampuan beton menahan deformasi setelah mencapai tegangan puncak. Penurunan tegangan yang tajam setelah puncak pada beton tanpa serat menunjukkan sifat getas yang dominan. Penambahan serat 1% dan 2% mampu mempertahankan tegangan pada regangan yang lebih besar. Hasil validasi menunjukkan bahwa hasil eksperimen beton berserat baja mengalami kenaikan kuat tekan. Secara umum, penambahan volume fraksi serat, mampu meningkatkan kekuatan dan daktilitas beton.

Abstract

The development of concrete technology is currently advancing rapidly, with numerous experiments being conducted using various models and supplementary materials. These additives are expected to enhance the compressive strength of concrete. This study incorporates steel fibers into concrete as an alternative approach to evaluate their effect on improving compressive strength. The variables used were fiber volume fractions of 0%, 1%, and 2%. A deformation-controlled compression testing machine with a capacity of 2,000 kN was employed to monotonically test all specimens under uniaxial compressive loading. The experimental data were then used to develop a stress-strain behavior model for the concrete. Based on the test results, the addition of fibers to normal, medium, and high-strength concrete consistently improved the concrete's ability to sustain deformation after reaching peak stress. The sharp stress drop after the peak in plain concrete specimens indicated predominantly brittle behavior, while the addition of 1% and 2% fibers was able to maintain stress at higher strain levels. Validation results showed that the steel fiber-reinforced concrete specimens exhibited an increase in compressive strength. Overall, increasing the fiber volume fraction enhanced both the strength and ductility of concrete.

✉ Alamat Korespondensi:

E-mail: purwanto@usm.ac.id

PENDAHULUAN

Material beton sangat populer diaplikasikan pada struktur bangunan. Hingga saat ini, material beton normal telah dapat dirancang dan dibuat dengan kuat tekan lebih dari 100 MPa. Beton mutu tinggi mempunyai kuat tekan >41 MPa. Antonius & Imran (2013), mendefinisikan kuat tekan beton menjadi 3 yaitu beton dengan kuat tekan dibawah 41 MPa disebut beton mutu normal, kuat tekan beton antara 41-59 MPa merupakan beton mutu menengah, dan beton dengan kuat tekan >60 MPa dikatakan beton mutu tinggi. Upaya memperbaiki sifat beton yang buruk dengan penambahan serat kawat pada beton menjadi salah satu solusinya. Konsep dari menambahkan serat ialah untuk memberi fraksi serat pada beton secara random, sehingga retak tidak terjadi karena pembebanan. Penambahan serat dipilih untuk meningkatkan daktilitas pada elemen strukturnya.

Serat baja meningkatkan penyerapan energi yang lebih besar dan mempunyai ketahanan terhadap aus, sifat matrik yang lebih kompak untuk mendapatkan kekakuan (*thoughness*) yang lebih baik. Serat tersebut berfungsi untuk mencegah adanya retak-retak kecil yang membuat beton lebih daktil dibanding dengan beton normal. Selain itu, dapat mencegah terjadinya *spalling* pada selimut beton (Paultre, Eid, Langlois, & Levesque (2010) dan Antonius (2015).

Penelitian semacam ini juga telah dilakukan guna memperbaiki sifat beton yang kurang baik dengan menambahkan serat kedalam adukan beton. Penambahan serat bisa meningkatkan daktilitas, kapabilitas bahan guna mengambil energi, ketahanan pada tarik, ketahanan pada kelelahan, ketahanan pada dampak susutan, ketahanan terhadap beban kejut, dan ketahanan terhadap keausan/abrasi serta ketahanan terhadap pengelupasan permukaan atau *spalling*. Upaya perbaikan kelemahan dan kekurangan beton, beberapa ahli telah menambah serat ke dalamnya. Tujuan penambahan serat adalah untuk mengatasi sifat beton yang lemah dalam menahan gaya tarik. Serat baja, kaca, plastik, dan karbon merupakan serat yang umum dipakai dalam campuran beton.

Beton serat menjadi bahan komposit yang terdiri dari beton pada umumnya serta bahan serat lainnya. Beton serat memiliki banyak keuntungan, seperti mengurangi retak akibat beban dan memiliki kekuatan lentur yang tinggi, yang memungkinkannya menahan beban lentur yang lebih besar. Namun, kekuatan lentur yang tinggi memiliki kekurangan, yakni kerap terjadinya keruntuhan getas atau tiba-tiba. Beton serat, juga dikenal sebagai *fiber concrete*, telah digunakan sejak lama untuk memperkuat pasta semen dan batu bata dengan jerami. Beton serat dibuat dari campuran agregat kasar, semen hidrolis, serat dalam dan agregat halus proporsi tertentu (Gani, 1997).

Macam *fiber* tersebut mempunyai beberapa kelemahan antara lain biaya yang relatif mahal karena harus impor dari luar negeri, sehingga untuk mengatasi solusi tersebut digunakan serat lokal dengan biaya yang relatif lebih murah. Serat baja, yang terdiri dari bagian kawat bendrat dengan kekuatan tarik yang relatif lebih besar, sekarang merupakan bentuk serat lokal yang paling sering digunakan. Selain itu, serat bendrat tahan terhadap korosi jika tidak terlindungi dengan baik oleh beton; serat bendrat tidak mudah berubah bentuk karena ikatan semen yang bersifat basa. Permeabilitas beton dapat ditingkatkan dengan menambahkan serat baja dari potongan bendrat, yang dapat membuat beton menjadi lebih berpori. Kekuatan tekan dan tarik beton dapat ditingkatkan dengan menambahkan serat bendrat (Miswar, Kurnia, & Yusmanda, 2023), (Widodo, 2012).

Ukuran serat baja berdasarkan *ACI Committee 544* (1998), adalah serat dengan ukuran 12,7-63,5 mm. Serat baja dengan diameter ukuran 0,45 mm sampai dengan ukuran 1 mm paling banyak diaplikasikan. Penambahan serat baja dalam adukan beton mengoptimalkan sifat beton yaitu kuat kejut, penyerapan energi, lentur, *fatigue*, serta kemampuan menahan retak. Umumnya beton dengan bahan tambah serat baja tidak menaikkan kekuatan tekan dengan substansial dibanding dengan beton normal, tetapi pada saat beban ultimit kuat tekan dapat meningkat. Beton serat baja atau *steel fiber-reinforced concrete* merupakan beton dengan bahan tambah potongan serat baja yang disebar ke dalam

campurannya. Dikelompokkan kedalam jenis beton komposit, dimana tersusun dari material agregat, serat baja, serta semen (Makul, 2020).

Thomas & Ramaswamy (2007), menyajikan hasil penelitian yang dilakukan melalui program eksperimen dan evaluasi analitis untuk mengkaji dampak penambahan fraksi serat terhadap sifat-sifat mekanik beton. Simulasi yang dihasilkan berdasarkan uji statistik berupa analisis regresi dengan jumlah data sebanyak 60 variabel termasuk sifat-sifat mekanik beton bertulang berserat baja. Kajian ini mencakup pengujian kuat tekan kubus dan spesimen, regangan-tegangan tekan puncak, modulus elastisitas, kuat tarik belah, *Poisson ratio*, modulus pecah dan kinerja pasca retak. Temuan penelitian menunjukkan bahwa interaksi antara matriks dan serat memiliki pengaruh cukup besar terhadap kenaikan sifat mekanik beton yang diperoleh akibat dari penambahan serat. Terdapat peningkatan yang relatif kecil yaitu <10% pada kuat tekan beton, modulus elastisitas dan *Poisson ratio*. Sementara itu, kuat tarik belah dan modulus pecah meningkat hingga 40%. Adapun kinerja pasca-retak menunjukkan peningkatan signifikan seiring bertambahnya jumlah serat. Peningkatan maksimal pada regangan terkait kuat tekan puncak tercatat sekitar 30%.

Khadake & Konapure (2013), menyatakan bahwa berat jenis beton mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase serat baja, sedangkan besarnya nilai slump beton cenderung menurun. Vairagade & Kene (2012), menjelaskan bahwa beton serat mampu meningkatkan kemampuan struktur beton dalam hal kuat tarik, kuat lentur, kuat tekan dan daktilitasnya. Shireesha, Murugan, & Kumar (2015), menjelaskan bahwa penambahan fraksi serat pada campuran beton dapat memperkuat beton dalam hal kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik. Penambahan kawat bendrat sebagai serat baja dalam campuran beton bisa menaikkan kuat tekan yakni 4,72% serta peningkatan kuat tarik yakni 12,14%. Domski (2013), mengungkapkan bahwa mencampurkan serat baja dan limbah pasir pada campuran beton dapat menaikkan Penambahan serat meningkatkan daktilitas dan *fracture toughness* beton, sehingga mampu mengurangi sifat getas dan meningkatkan kemampuan pengendalian retak. Song & Hwang (2004), mengkaji perilaku mekanik beton bertulang dengan tambahan serat baja pada kasus beton mutu tinggi dengan variasi fraksi serat ($V_f = 0-2\%$). Temuan kajian memperlihatkan bahwasanya kuat tekan beton mengalami kenaikan dengan penambahan serat hingga $V_f = 1,5\%$, sementara variasi kuat tarik belah serta modulus pecah mengikuti korelasi linier dengan fraksi volume serat.

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, maka tujuan dari kajian ini ialah guna mengkaji kuat tekan beton berserat baja dengan mutu normal hingga mutu tinggi, yang menggunakan berbagai variasi fraksi serat. Selanjutnya dianalisis perilaku tegangan-regangan akibat pengaruh beban uniaksial dengan variasi persentase fraksi serat baja dan mutu beton.

METODE

Material

Penelitian ini akan mencakup 2 aspek studi yaitu studi literatur dan studi eksperimental. Berdasarkan studi literatur sudah banyak yang melakukan penelitian tentang pengembangan beton serat, khususnya serat yang digunakan adalah serat baja. Dimana dengan menggunakan bahan tambah serat baja pada beton sangat baik karena dapat meningkatkan daktilitas beton. Material serat baja mengikuti kriteria ASTM C1116 (2011). Serat baja yang hendak dimanfaatkan pada kajian ini ditampilkan dalam Gambar 1.

Mix Design

Persamaan desain perilaku beton normal mengacu pada SNI 2847:2019 (2019). Sedangkan SNI 2493:2011 (2011) menjadi acuan dalam tahap pembuatan dan perawatan beton di lokasi laboratorium. Mutu beton yang dirancang ada 3 macam yaitu beton mutu rendah 30 MPa, mutu menengah 50 MPa serta mutu tinggi 70 MPa dengan campuran serat 0%, 1% dan 2%. Metode rancangan campuran beton

normal merujuk pada SNI 03-2834-2000 (2000). Hasil rancangan campuran beton tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Serat Baja

Tabel 1. Rancangan Campuran Beton Serat 0%

Bahan		Kuat Tekan (f_c)		
		30 (MPa) W/C=0,53	50 (MPa) W/C=0,38	70 (MPa) W/C=0,28
Semen	(kg)	350	419,98	485
<i>Fly Ash</i>	(kg/m ³)	-	72,05	82,83
Air	(lt/m ³)	186	160	136
Agregat Halus	(kg/m ³)	722,9	646,62	622,07
Agregat Kasar	(kg/m ³)	886,8	1.044,93	1.086,22
<i>Viscocrete (Sp)</i>	(kg/m ³)	1,75	7,38	10,68
Serat Bendrat	(kg/m ³)	-	-	-

Tabel 2. Rancangan Campuran Beton Serat 1%

Bahan		Kuat Tekan (f_c)		
		30 (MPa) W/C=0,53	50 (MPa) W/C=0,38	70 (MPa) W/C=0,28
Semen	(kg)	350	419,98	485
<i>Fly Ash</i>	(kg/m ³)	-	72,05	82,83
Air	(lt/m ³)	186	160	136
Agregat Halus	(kg/m ³)	722,9	646,62	622,07
Agregat Kasar	(kg/m ³)	886,8	1.044,93	1.086,22
<i>Viscocrete (Sp)</i>	(kg/m ³)	1,75	7,38	10,68
Serat Bendrat	(kg/m ³)	21,45	24,02	24,59

Tabel 3. Rancangan Campuran Beton Serat 2%

Bahan		Kuat Tekan (f_c)		
		30 (MPa) W/C=0,53	50 (MPa) W/C=0,38	70 (MPa) W/C=0,28
Semen	(kg)	350	419,98	485
<i>Fly Ash</i>	(kg/m ³)	-	72,05	82,83
Air	(lt/m ³)	186	160	136
Agregat Halus	(kg/m ³)	722,9	646,62	622,07
Agregat Kasar	(kg/m ³)	886,8	1.044,93	1.086,22
<i>Viscocrete (Sp)</i>	(kg/m ³)	1,75	9,84	14,19
Serat Bendrat	(kg/m ³)	42,91	48,03	49,18

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian berupa observasi visual dan data hasil uji laboratorium, yang ditampilkan berbentuk tabel dan grafik. Rancangan kuat tekan terdiri dari tiga bagian yaitu beton dengan mutu

normal, menengah, dan tinggi. Pengujian kuat tekan untuk benda uji silinder merujuk pada ASTM C39 (1996) dan SNI 1974:2011 (2011). Hasil eksperimen tegangan dan regangan puncak beton serta *Toughness Index (TI)* disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Tekan Beton

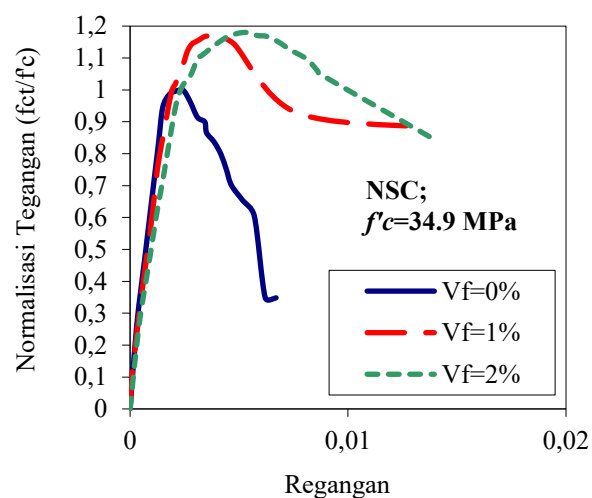
Jenis Spesimen	Kode Spesimen	V_f (%)	ε'_c	f'_c (MPa)	TI
Beton Mutu Normal	NFUC1	0	0,0027	34,9	0,23
	NFUC2	1	0,0068	40,9	0,65
	NFUC3	2	0,0086	41,2	0,77
Beton Mutu Menengah	NFUC4	0	0,003	50,6	0,48
	NFUC5	1	0,0061	57,0	0,82
	NFUC6	2	0,0089	57,5	0,85
Beton Mutu Tinggi	NFUC7	0	0,0045	70,5	0,60
	NFUC8	1	0,0062	71,1	0,75
	NFUC9	2	0,0093	80,6	0,85

Berdasarkan Tabel 4, diketahui kuat tekan beton meningkat seiring penambahan persentase fraksi serat baja. Peningkatan kuat tekan beton tersebut terjadi pada ketiga jenis mutu beton. Hasil validasi menunjukkan bahwa hasil eksperimen beton berserat baja mutu normal hingga mutu tinggi dengan berbagai variasi fraksi serat 0%, 1%, dan 2% mengalami kenaikan kuat tekannya.

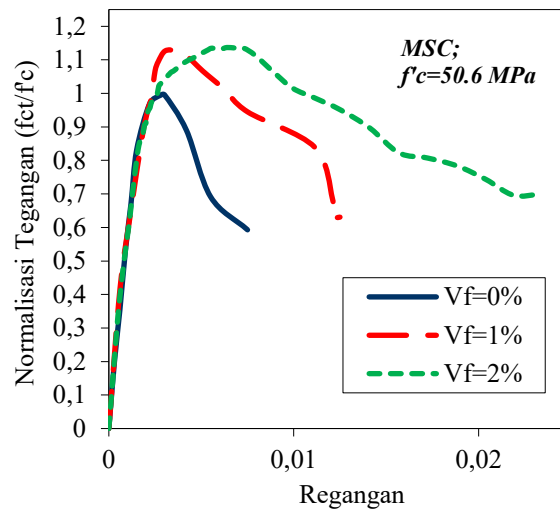
Hasil eksperimen sebagaimana Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai TI meningkat secara linier terhadap meningkatnya volume fraksi serat pada setiap kelompok kuat tekan beton. Hasil ini sejalan dengan teori dasar beton berserat bahwa serat memegang peranan signifikan terhadap peningkatan energi yang mampu diserap spesimen atau dengan kata lain semakin tinggi serat yang dikandung didalam beton maka material tersebut semakin meningkat daktilitasnya.

Perilaku Tegangan Regangan Beton

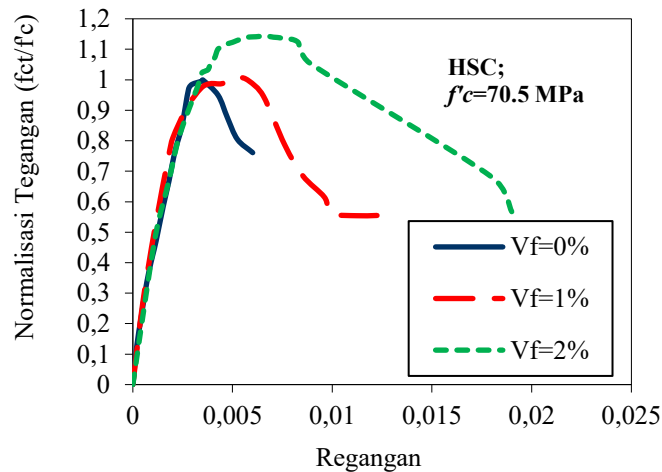
Untuk mengetahui perilaku benda uji sebelum dan sesudah tegangan puncak (*peak*), analisis perilaku tegangan-regangan dilakukan untuk setiap spesimen. Perilaku tegangan ditunjukkan dengan normalisasi tegangan terhadap kuat tekan beton, ditampilkan untuk setiap mutu beton. Hubungan antara normalisasi tegangan dengan regangan untuk setiap mutu beton dengan variasi serat baja ditunjukkan sebagaimana Gambar 2 s.d Gambar 4.



Gambar 2. Pengaruh Serat pada Spesimen Beton Mutu Normal



Gambar 3. Pengaruh Serat pada Spesimen Beton Mutu Menengah



Gambar 4. Pengaruh Serat pada Spesimen Beton Mutu Tinggi

Berdasarkan Gambar 2, kurva tegangan-regangan awal untuk ketiga variasi hampir sama hingga mencapai puncak. Beton tanpa serat mengalami tegangan yang turun drastis setelah mencapai puncak, dimana bersifat getas dan retak menyebar cepat. Variasi serat 1% mengindikasikan tegangan turun lebih lambat, sedikit peningkatan daktilitas kapasitas deformasi. Variasi serat 2% menunjukkan tegangan relatif tetap tinggi meskipun regangan bertambah. Terjadi efek bridging oleh serat, dimana mampu menahan beban meski retak berkembang. Kondisi kasus penambahan serat untuk beton mutu normal memberikan peningkatan *post peak toughness* cukup signifikan, dimana beton normal biasanya getas menjadi lebih ulet.

Gambar 3 menunjukkan kenaikan tegangan menuju puncak lebih curam dimana *stiffness* awal lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal. Beton tanpa serat mengalami penurunan tegangan cukup cepat, dengan sifat getas tetap dominan. Kurva variasi serat 1% dan 2% menunjukkan tegangan setelah puncak stabil dan menurun lebih lambat. Meskipun beton lebih kuat dibanding beton normal, penambahan serat tetap meningkatkan kapasitas daktilitas dan kemampuan menahan retak pasca kondisi puncak.

Perilaku tegangan regangan pada beton mutu tinggi pada Gambar 4 untuk beton mutu tinggi tanpa serat secara alami lebih getas, sehingga penurunan pasca puncak paling tajam dibanding beton normal dan mutu menengah. Penambahan serat 1% mengakibatkan perbaikan terbatas dengan tegangan masih turun relative cepat, sedangkan pada serat 2% menunjukkan kondisi pasca puncak menjadi lebih datar tegangan bertahan pada level tinggi dengan deformasi yang jauh lebih besar dibandingkan kondisi tanpa serat. Penambahan serat pada kondisi ini menjadi lebih krusial karena sifat beton HSC sangat getas, serat mampu mengubah perilaku *brittle* menjadi lebih ulet.

Perbandingan secara umum benda uji beton tanpa serat menunjukkan bahwa perilaku pasca tegangan puncak, cenderung bersifat getas ketika kuat tekan beton juga mengalami peningkatan. Penambahan serat baja pada beton berfungsi didalam peningkatan daktilitas beton, perilaku tersebut dapat dilihat dari tegangan pasca puncak cenderung lebih landai terhadap beton tanpa serat.

SIMPULAN

Serat baja dalam campuran beton telah terbukti meningkatkan kekuatan menahan tekanan pada beton, terutama dengan penambahan volume fraksi serat sebesar 1% dan 2%. Hasil uji tekan dengan beban uniaksial menunjukkan bahwa beton berserat baja dengan mutu normal, mutu menengah, dan mutu tinggi, mengalami peningkatan signifikan dalam kuat tekan. Secara keseluruhan, penambahan fraksi serat mampu meningkatkan kekuatan dan daktilitas beton, menjadikannya alternatif yang menjanjikan dalam teknologi beton masa depan. Perilaku tegangan-regangan beton dengan bahan tambah serat baja menunjukkan bahwa adanya peningkatan daktilitas yang ditunjukkan oleh bentuk kurva pasca puncak yang cenderung lebih landai dibandingkan dengan beton normal atau beton tanpa serat.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. (1996). *ASTM C 39 - 96: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Annual Book of ASTM Standards Section 4 Construction, volume 04.02 Concrete and Aggregates. USA: ASTM. https://binamarga.pu.go.id/otomasi9/index.php?p=show_detail&id=10654&keywords=
- ASTM. (2015). *ASTM C 1116: Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete*. USA: ASTM. https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/1769/preview_1769-1-5.pdf
- SNI 03-2834-2000. (2000). *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/peraturan/dokumen/pedoman-penggunaan-abu-terbang-dalam-campuran-beton-sedikit-semen-portland>
- SNI 1974:2011. (2011). *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder yang dicetak*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/peraturan/dokumen/pedoman-penggunaan-abu-terbang-dalam-campuran-beton-sedikit-semen-portland>
- SNI 2493:2011. (2011). *Tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/peraturan/dokumen/pedoman-penggunaan-abu-terbang-dalam-campuran-beton-sedikit-semen-portland>
- SNI 2847:2019. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/peraturan/dokumen/pedoman-penggunaan-abu-terbang-dalam-campuran-beton-sedikit-semen-portland>
- Antonius, A., & Imran, I. (2013). Experimental Study of Confined Low, Medium and High-Strength Concrete Subjected to Concentric Compression. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 44(3), 252-269. <https://doi.org/10.5614/itbj.eng.sci.2012.44>.
- Gani, M. (1997). *Cement and Concrete*. London: Chapman & Hall. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1526260>

- Khadake, S. N., & Konapure, C. G. (2013). An Experimental Study of Steel Fiber Reinforced Concrete with Fly Ash for M35 Grade. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 3(1), 950-953. Retrieved from https://www.ijera.com/papers/Vol3_issue1/ER31950953.pdf
- Makul, N. (2020). Modern sustainable cement and concrete composites: Review of current status, challenges and guidelines. *Sustainable Materials and Technologies*, 25, e00155. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2020.e00155>
- Miswar, K., Kurnia, R. I., & Yusmanda, R. (2023). Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Pada Beton Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Belah. *Jurnal Rekayasa Teknik Dan Teknologi*, 7(1), 12-17. <https://doi.org/10.51179/rkt.v7i1.1829>
- Paultre, P., Eid, R., Langlois, Y., & Levesque, Y. (2010). Behavior of Steel Fiber-Reinforced High-Strength Concrete Columns under Uniaxial Compression. *Journal of Structural Engineering*, 136(10), 1225-1235. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000211](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000211)
- Shireesha, N., Murugan, S. B., & Kumar, G. N. (2015). Experimental Studies on Steel Fiber Reinforced Concrete. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(9), 598-602. Retrieved from <https://www.ijer.net/getabstract.php?paperid=SUB158078>
- Song, P. S., & Hwang, S. (2004). Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 18(9), 669-673. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.04.027>
- Thomas, J., & Ramaswamy, A. (2007). Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(5), 385-392. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:5\(385\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:5(385))
- Vairagade, V. S., & Kene, K. S. (2012). Experimental Investigation on Hybrid Fiber Reinforced Concrete. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2(3), 1037-1041. Retrieved from https://www.ijera.com/papers/Vol2_issue3/FY2310371041.pdf