

PENGARUH DOSIS DAN ASPEK RASIO SERAT BAJA TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS PADA BETON NORMAL DAN BETON MUTU TINGGI

Dwi Nuur Musyaffa¹⁾, Sholihin As'ad²⁾, Wibowo,³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2),3)} Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: musyaffa02.civil@gmail.com

Abstract

The problem in the application of concrete material is its brittle characteristic. In general increase of the strength of concrete give consequence decrease of ductility. Adding fiber is expected to solved this problem. Steel fiber reinforcement greatly increases the energy absorption and ductility of concrete. The character of steel fiber reinforced concrete is influence by the fiber material type, fiber geometric, orientation of fiber, and dossage of fiber.

This research is conducted to find the effect of increased fiber dossage and a different steel fiber aspect ratio on normal concrete and high strength concrete. This research's purposes is to recognize the concrete characteristic such as compressive strength, modulus of elasticity, and fiber distribution. This research is using an experiment method with 54 sample, 3 sample for each variety of increased dossage of fiber which are 0 kg/m³, 20 kg/m³, 40 kg/m³, 60 kg/m³, and 80 kg/m³. The type of fiber that is used in this research is the end hooked type with two different aspect ratios (l/d) 80/60 BN (type A) dan RC 65/35 BN (type B). Each type of sample is used for compressive strength and modulus elasticity tested. The size of the sample cylinder is 15 cm for diameter and 30 cm for height.

The test is done after the concretes are 28 days of concrete ages. The test result shows that the addition of 60 kg/m³ steel fibers give the maximum of compressive strength and modulus elasticity except on high strength concrete with aspect ratio of 80. The maximum increase of compressive strength on normal concrete are 10,54% (type A) and 10,81% (type B) and on a high strength concrete are 12,41% (type A with addition 80 kg/m³) and 12,41% (type B). The maximum increase of modulus elasticity on normal concrete is 25,10% on type B and high strength concrete is 10,98% on type A. The amount of steel fiber in the distribution test on fresh mixture and the concrete after the test with the amount of teoritical fibers are different. The fibers dossage has a better effect on increasing compressive strength and modulus elasticity than the amount of fibers.

Key word : normal concrete, high strength concrete, compressive strength, modulus elasticity, steel fibers, aspect ratio, dossage

Abstrak

Masalah yang sering muncul dalam hal penggunaan beton adalah sifatnya yang getas. Kuat tekan beton yang semakin besar maka beton mempunyai daktilitas yang rendah.. Penambahan serat diharapkan dapat mengatasi hal tersebut. Serat baja dapat menambah penyerapan energi yang lebih besar dan meningkatkan daktilitas beton. Karakter dari beton serat dipengaruhi oleh tipe material serat, geometri serat, distribusi serat, orientasi serat, dan konsentrasi serat.

Penelitian ini mencari besar pengaruh dosis serat yang ditambahkan dan aspek rasio serat baja yang berbeda pada beton normal dan beton mutu tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik beton yaitu kuat tekan, modulus elastisitas, dan disrtibusi serat. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan 54 benda uji, 3 benda uji untuk setiap variasi penambahan serat antara lain 0 kg/m³, 20 kg/m³, 40 kg/m³, 60 kg/m³, dan 80 kg/m³. Serat yang digunakan adalah tipe serat *end hooked* dengan 2 aspek rasio (l/d) yang berbeda yaitu RC 80/60 BN (tipe A) dan RC 65/35 BN (tipe B). Masing- masing benda uji digunakan untuk pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas. Ukuran benda uji yang digunakan adalah silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan dosis serat baja sebesar 60 kg/m³ menghasilkan kuat tekan dan nilai modulus elastisitas maksimum kecuali pada beton mutu tinggi aspek rasio 80. Besar kenaikan kuat tekan maksimum pada beton normal sebesar 10,54% (tipe A) dan 10,81% (tipe B) dan beton mutu tinggi sebesar 12,41% (tipe A penambahan 80 kg/m³) dan 12,41%. Peningkatan maksimum nilai modulus elastisitas pada beton normal adalah 25,10% pada tipe B sedangkan pada beton mutu tinggi sebesar 10,98% pada tipe A. Jumlah serat pada saat pemeriksaan distribusi pada beton segar dan beton setelah diuji terhadap jumlah serat teoritis terdapat perbedaan. Dosis serat lebih berpengaruh terhadap kenaikan kuat tekan dan modulus elastisitas daripada jumlah seratnya.

Kata kunci : beton normal, beton mutu tinggi, kuat tekan, modulus elastisitas, serat baja, *aspect ratio*, dosis

PENDAHULUAN

Kuat tekan beton yang semakin besar maka beton mempunyai daktilitas yang rendah. Hubungan berbanding terbalik antara kekuatan dan daktilitas menjadi masalah yang serius ketika menggunakan beton mutu tinggi. Untuk mengatasi dua masalah tersebut dapat ditambahkan bahan serat pendek. Penambahan serat dapat mengatasi masalah daktilitas beton. Serat baja dapat menambah penyerapan energi. Pada penelitian ini menggunakan serat tipe ujung berkait (*end hooked*) dengan dua aspek rasio yang berbeda. Penelitian ini akan ditinjau kuat tekan dan modulus elastisitas pada beton normal dan beton mutu tinggi.

LANDASAN TEORI

Beton adalah pencampuran semen portland, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan (admixture) tertentu. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton. Penambahan serat baja akan menjadikan beton memiliki tulangan-tulangan dalam ukuran mikro. Tulangan-tulangan mikro tersebut tersebar secara merata dan acak. Penggunaan serat dalam campuran beton harus memperhatikan 1) jenis (ukuran dan bentuk) serat 2) aspek rasio serat 3) Konsentrasi serat. Spesifikasi serat yang dipakai dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi Serat

Jenis serat	Panjang (l) (mm)	Diameter (d) (mm)	aspek rasio (l/d)	Kuat tarik (N/mm ²)	Modulus elastis (N/mm ²)
RC 80/60 BN	60	0,75	80	1225	210000
Rc 65/35 BN	35	0,55	65	1100	210000

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan 54 benda uji, 27 benda uji beton normal dan 27 benda uji beton mutu tinggi dengan 3 benda uji untuk setiap variasi penambahan serat 0 kg/m³, 20 kg/m³, 40 kg/m³, 60 kg/m³, dan 80 kg/m³. Serat yang digunakan adalah tipe serat *end hooked* dengan 2 *aspect ratio* (l/d) yang berbeda. Masing-masing benda uji digunakan untuk pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas. Ukuran benda uji yang digunakan adalah silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Rancang campur beton yang ditargetkan adalah 30 Mpa untuk beton normal dan 50 Mpa untuk beton mutu tinggi. Sebelum melakukan penelitian di laboratorium maka peneliti menyiapkan alat dan bahan. Melakukan uji pendahuluan terhadap agregat halus dan agregat kasar. Membuat adukan beton. Membuat benda uji kuat tekan. Perawatan benda uji. Melakukan pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, dan distribusi serat. Melakukan analisis data hasil pengujian. Pada tahap akhir peneliti melakukan pengambilan kesimpulan dan saran dari analisis pengujian yang berhubungan dengan tujuan penelitian.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

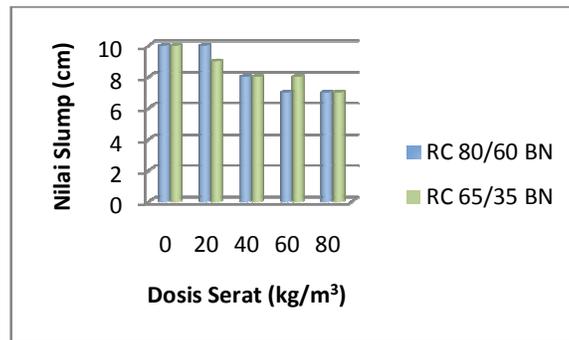
Rancang Campur Beton

Perhitungan rencana campuran adukan beton normal menggunakan Standar Nasional Indonesia (SK SNI T-15-1990-03), dari perhitungan tersebut didapat kebutuhan bahan per 1 m³ (berat beton 2320 kg). Beton mutu tinggi menggunakan perencanaan campuran yang telah dipublikasikan oleh M. Mazloom et al (2004). Kemudian dilakukan *trial error mix design*.

Tabel 2 Rancang Campur Beton

Jenis Beton	Semen (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Air (liter)	Silicafume (kg)	SP (liter)
Normal	450	643,5	1006,5	225	0	0
Mutu Tinggi	450	647	1203	175	50	11,71

Pengujian Slump



Gambar 1. Nilai Slump

Nilai slump cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya dosis serat baik itu untuk serat tipe RC 80/60 BN maupun tipe RC 65/35 BN. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat mengakibatkan *workability* beton mengalami penurunan. Penurunan *workability* ini diakibatkan oleh adanya gaya gesekan antar serat maupun antara serat dengan agregat penyusun beton yang mengakibatkan agregat tersebut tidak bisa leluasa bergerak. Selain itu penambahan serat juga mengakibatkan bertambahnya luasan permukaan yang harus dilumasi oleh air yang mengakibatkan kandungan air bebas menjadi berkurang dan mengurangi kelecakan beton.

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari dengan menggunakan *Compression Testing Machine* untuk mendapatkan beban maksimum yaitu beban saat beton hancur ketika menerima beban tersebut (P_{max}). Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Serat

Beton Normal	Penambahan Serat	Kuat Tekan Rata-Rata	Selisih Kuat Tekan		Beton Mutu Tinggi	Penambahan Serat	Kuat Tekan Rata-Rata	Selisih Kuat Tekan	
			MPa	%				MPa	%
34,90	20 (A)	37,25	2,36	6,76	50,18	20 (A)	51,40	1,23	2,44
	40 (A)	38,20	3,30	9,46		40 (A)	52,16	1,98	3,95
	60 (A)	38,57	3,68	10,54		60 (A)	54,14	3,96	7,89
	80 (A)	37,82	2,92	8,38		80 (A)	56,40	6,22	12,41
	20 (B)	35,37	0,47	1,35		20 (B)	51,68	1,51	3,01
	40 (B)	36,31	1,41	4,05		40 (B)	53,57	3,40	6,77
	60 (B)	38,67	3,77	10,81		60 (B)	56,40	6,22	12,41
	80 (B)	38,48	3,58	10,27		80 (B)	52,44	2,26	4,51

Kuat tekan pada beton serat cenderung mengalami kenaikan baik pada beton normal maupun mutu tinggi. Kadar optimum yang terjadi saat kuat tekan maksimum adalah saat penambahan 60 kg/m³. Kemudian setelah itu mengalami penurunan kuat tekan beton saat penambahan serat pada dosis 80 Kg/m³ terjadi karena banyaknya serat mengakibatkan serat saling mengikat satu dengan yang lainnya dan menggumpal dalam adukan beton (proses *balling*). Hal ini dapat dilihat dalam perhitungan distribusi serat terlihat bahwa jumlah serat dalam jumlah banyak terkumpul dalam satu tempat. Kenaikan maksimum untuk beton normal sekitar 10,81% pada tipe serat B dan pada beton mutu tinggi sebesar 12,41% pada tipe serat A (80 kg/m³) maupun tipe B (60 kg/m³)

Pengujian Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan suatu ukuran nilai yang menunjukkan kekakuan dan ketahanan beton untuk menahan deformasi (perubahan bentuk). Modulus elastisitas beton ditentukan dari hubungan antara tegangan-regangan beton pada daerah elastis

Tabel 4. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Beton Normal	Penambahan Serat	Modulus Elastisitas	Selisih Kuat Tekan		Beton Mutu Tinggi	Penambahan Serat	Modulus Elastisitas	Selisih Kuat Tekan	
			MPa	%				MPa	%
22119,67	20 (A)	24179,67	2060,00	9,31	30738,00	20 (A)	31390,00	652,00	2,12
	40 (A)	26187,67	4068,00	18,39		40 (A)	31893,67	1155,67	3,76
	60 (A)	27523,00	5403,33	24,43		60 (A)	33323,67	2585,67	8,41
	80 (A)	26040,33	3920,67	17,72		80 (A)	34113,00	3375,00	10,98
	20 (B)	22486,33	366,67	1,66		20 (B)	31368,33	630,33	2,05
	40 (B)	24035,67	1916,00	8,66		40 (B)	32014,33	1276,33	4,15
	60 (B)	27670,67	5551,00	25,10		60 (B)	33418,00	2680,00	8,72
	80 (B)	25870,67	3751,00	16,96		80 (B)	31258,67	520,67	1,69

Hasil yang didapat dari pengujian adalah nilai modulus elastisitas yang berbanding lurus dengan nilai kuat tekannya. Semakin besar nilai kuat tekan maka semakin besar nilai modulusnya. Pada beton serat ini kadar optimum terjadi pada penambahan serat 60 kg/m³ kecuali pada beton mutu tinggi tipe serat A. Kenaikannya maksimum nilai modulus sebesar 25,10% pada beton normal tipe serat B dan 10,98% pada beton mutu tinggi serat A. Kenaikan nilai modulus elastisitas beton serat didapatkan karena nilai modulus elastisitas serat baja lebih besar daripada beton. Perpaduan antara beton dan serat inilah yang dapat meningkatkan nilai modulusnya karena gaya ikat antar atom juga berubah.

Pengujian Distribusi Serat

Beton Segar

Pengujian segar dilakukan sebelum adukan beton dimasukkan kedalam bekisting. Pengambilan sampel sebanyak 200 ml dalam 5 kali pengambilan. Distribusi serat teoritis dicari dari jumlah serat per kilogramnya dikalikan dosis serat baja yang ditambahkan. Akan terlihat sebaran serat seperti ditunjukkan pada gambar 2



Gambar 2. Distribusi Serat Beton Segar

Tabel 5. Hasil Pengujian Distribusi Serat Beton Segar

Dosis Serat (kg/m ³)	Tipe Serat	Hasil Uji		Teoritis		Selisih		Persentase (%)	
		Normal	Mutu Tinggi	Normal	Mutu Tinggi	Normal	Mutu Tinggi	Normal	Mutu Tinggi
20	A	17	8	19	10	2	2	10,53	20,00
40	A	28	14	37	19	9	5	24,32	26,32
60	A	43	20	56	28	13	8	23,21	28,57
80	A	65	29	74	37	9	8	12,16	21,62
20	B	54	24	59	30	5	6	8,47	20,00
40	B	100	42	117	59	17	17	14,53	28,81

60	B	157	78	175	88	18	10	10,29	11,36
80	B	185	76	233	117	48	41	20,60	35,04

Beton Setelah Diuji

Penghitungan serat di lapangan dilakukan dengan cara menghitung jumlah serat pada beton yang selesai diuji berdasarkan potongan serat yang nampak pada permukaan beton yang telah dipotong.



Gambar 3. Distribusi Serat Setelah Beton Dipotong

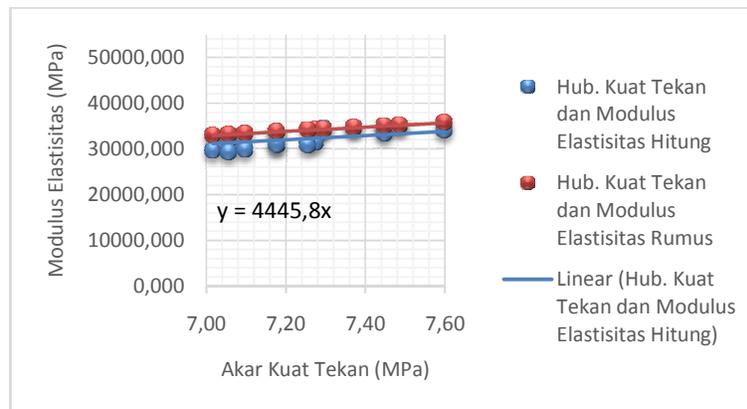
Tabel 6. Hasil Pengujian Distribusi Serat Beton Setelah Diuji

Dosis Serat (kg/m ³)	Tipe Serat	Hasil Uji		Teoritis		Selisih		Persentase (%)	
		Normal	Mutu Tinggi	Normal	Mutu Tinggi	Normal	Mutu Tinggi	Normal	Mutu Tinggi
20	A	61	37	65	65	4	27	6,64	42,39
40	A	111	73	130	130	19	57	14,36	44,06
60	A	90	125	194	194	104	70	53,71	35,96
80	A	138	151	259	259	121	108	46,63	41,62
20	B	57	67	118	118	61	52	52,03	43,70
40	B	72	165	236	236	165	71	69,73	30,16
60	B	181	277	354	354	173	78	48,83	21,88
80	B	232	253	472	472	240	220	50,90	46,52

Berdasarkan tabel di atas terlihat bahwa distribusi serat dari berbagai penggunaan dosis bervariasi. Secara teoritis semakin banyak dosis serat maka distribusi serat pun akan semakin sulit dikendalikan. Pemeriksaan distribusi serat yang dilakukan pada beton segar dan pada benda uji balok terlihat bahwa selisih jumlah serat teoritis dengan di lapangan tak ada yang lebih dari 59%. Hal ini masih sesuai dengan *spacing concept* yang menyatakan bahwa volume serat efektif serat hanya dapat dianggap 41 % dari volume sebenarnya. Selisih jumlah serat teoritis dan di lapangan pada pemeriksaan distribusi serat pada benda uji silinder yang lebih dari 59% kemungkinan dikarenakan orientasi serat yang random sehingga tidak ikut terhitung saat beton dipotong.

Hubungan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Dari hasil pengujian dan perhitungan, diketahui bahwa kenaikan modulus elastisitas diikuti pula dengan kenaikan kuat tekan. Maka dari itu dapat dicari rumus empiris hubungan antara modulus elastisitas dengan kuat tekan hasil penelitian. Hubungan tersebut digambarkan dalam gambar grafik dibawah.



Gambar 4. Hubungan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Dari grafik pada gambar diatas dapat diketahui bahwa hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan pada penelitian memiliki rumus empiris sebagai berikut:

$$E_c = 4129,4 \sqrt{f_c} \quad (\text{beton normal serat A})$$

$$E_c = 4036,2 \sqrt{f_c} \quad (\text{beton normal serat B})$$

$$E_c = 4445,8 \sqrt{f_c} \quad (\text{beton mutu tinggi serat A})$$

$$E_c = 4370,8 \sqrt{f_c} \quad (\text{beton mutu tinggi serat B})$$

(Rumus empiris hasil regresi *linear* dari grafik)

Simpulan

sebagai berikut :

1. Penambahan serat pada dosis 60 Kg/m³ cenderung menghasilkan kuat tekan maksimum untuk serat tipe A maupun B. Beton normal untuk tipe serat 80/60BN dan 65/35BN berturut turut mempunyai kuat tekan 38,57 MPa, naik sebesar 10,54% dan 38,67 MPa naik sebesar 10,81%. Berbeda dengan beton normal, serat dengan aspek rasio 80 terus mengalami kenaikan kuat tekan hingga 12,41% dari kuat tekan mutu tinggi tanpa serat pada dosis 80 Kg/m³ yaitu sebesar 56,40 MPa.
2. Peningkatan kuat tekan beton akibat penambahan serat baja disebabkan karena terjadinya ikatan – ikatan yang lebih baik antara serat baja dengan beton. Dengan ikatan yang lebih baik maka beton akan lebih kuat menahan beban yang lebih besar,
3. Hasil modulus elastisitas tertinggi ditunjukkan oleh beton normal dengan penambahan serat baja tipe B sebesar 60 kg/m³ yaitu sebesar 27670,667 MPa atau sebesar 25,10 % dari beton normal tanpa serat. Pada beton mutu tinggi dengan penambahan 80 Kg/m³ serat tipe A justru mempunyai nilai modulus elastisitas tertinggi sebesar 34113 MPa.
4. Distribusi serat berpengaruh terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton. Korelasi yang lebih positif ditunjukkan pada hubungan modulus elastisitas dengan jumlah serat. Penggunaan data sekunder menunjukkan bahwa pemotongan secara horisontal menunjukkan korelasi yang lebih positif antara jumlah serat dengan kuat tekan maupun modulus elastisitas.
5. Secara teoritis semakin banyak dosis serat maka distribusi serat pun akan semakin sulit dikendalikan. Hal yang berpengaruh terhadap distribusi serat adalah 1) pemotongan sampe, sampel dipotong secara horisontal sehingga serat yang berada dalam posisi sejajar terhadap potongan tidak dapat dihitung., 2) terjadinya *balling effect* yaitu kondisi serat satu dengan yang lain saling mengunci sehingga terjadi rongga pada beton, 3) distribusi dari agregat khususnya kerikil

REKOMENDASI

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai aspek rasio serat baja yang berbeda dengan menambah jumlah variabel untuk melihat kecenderungan kuat tekan dan modulus elastisitas terhadap efektifitas serat baja.

2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai kadar serat baja yaitu antara $0,3\% < \% \text{ serat} < 0,45\%$ dan $0,45\% < \% \text{ serat} < 0,6\%$ untuk melihat kecenderungan kuat tekan dan modulus elastisitas terhadap perubahan kadar serat
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui sifat mekanis beton serat baja secara keseluruhan.
4. Dilakukan pemotongan secara vertikal maupun horisontal terhadap sampel untuk mengetahui pengaruh optimal serat terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas.
5. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk melihat pengaruh distribusi serat terhadap sifat mekanis beton bertulang yang diharapkan akan lebih optimal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada, Dr. (Techn). Ir. Sholihin As'ad, MT dan Wibowo,S.T., DEA yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- As'ad, Sholihin. (2010). Pengaruh Bentuk Dan Orientasi Serat Terhadap Perilaku Cabut (Pullout) Serat Baja. Seminar dan Pameran HAKI 2010 : Perkembangan dan Kemajuan Konstruksi Indonesia
- Cement and Concrete Institute. 2002. *Fibre reinforced concrete*. Cement and Concrete Institute publication.
- F. Bayramov. (2004). "Optimisation of Steel Fibre Reinforced Concrete by Means of Statistical Response Surface Method". Cement and Concrete Composite. Vol. 26. Pp665-675.
- Hardjasaputra, Harianto. 2009. "Ultra High Performance Concrete-Beton Generasi Baru berbasis Teknologi Nano", Universitas Pelita Harapan.
- Ikhsanudin. (2011). Kajian Kuat Desak dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Agregat Daur Ulang Dan Serat Baja Limbah Ban. Skripsi. Universitas Sebelas Maret : Surakarta.
- McCormac, Jack C. (2000). Desain Beton Bertulang. Edisi Kelima. Jakarta: Penerbit Erlangga, 2000.
- Mulyono, Tri. (2003). Teknologi Beton. Cetakan Kedua. Jakarta: Penerbit Andi, 2003.
- Nawy, Edward G. (2001). Beton Prategang. Edisi Ketiga Jilid Satu. Jakarta: Penerbit Erlangga, 2001.
- Rixom, R. and Mailvaganam, N., "Chemical Admixtures for concrete", E & FN Spon, London (1999).
- Schmidth, M. (2009). "Ultra High Performance Concrete – Research And Application In Germany And Around The World", Proceedings of the 7th Asia Pasific Structural Engineering and Construction Conference (APSEC 2009) & 2nd European Asian Civil Engineering Forum (EACEF 2009): Innovative & Sustainable Construction for Mankind, Awana Porto Malai, Langkawi Kedah Darul Aman, Malaysia, Agustus, pp15-20
- Soroushian, P. And Bayasi, Z. 1987. *Concept of Fibre Reinforced Concrete*. Michigan State University, Michigan
- Sukoyo. (2011). Pengaruh Penambahan Fiber Baja Terhadap Tegangan- Regangan Beton Mutu Normal dan Mutu Tinggi. Wahana Teknik Sipil/ Vol.15 No.1, pp 30-42.
- Sukoyo. (2011). Peningkatan Kuat Tekan dan Kuat Tarik dengan Penambahan Fiber Baja. Jurnal Orbith/ Vol. 7 No.3 November 2011. Politeknik Negeri Semarang: Indonesia, pp360-365.
- Sukoyo. (2011). Rekayasa Peningkatan Karakteristik Beton dengan Menggunakan Serat. Jurnal Teknis/ Vol. 6 No.2 Agustus 2011. Politeknik Negeri Semarang: Indonesia, pp 73-77.
- Supriyanto, Joko (2014) "Pengaruh Penambahan Serat Baja Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Kinerja Tinggi Grade 80". Skripsi, Universitas Sebelas Maret: Surakarta.
- Tjokrodimulyo, Kardiyono. (1996). Teknologi Beton. Teknik Sipil Universitas Gajah Mada: Yogyakarta, 1996.
- Widi N.,Murwani (2011) "Tinjauan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Berserat Baja Dengan Menggunakan Filler Nanomaterial". Skripsi, Universitas Sebelas Maret: Surakarta.
- Yang, Yuanxia. (2002). "Methods Study on Dispersion of Fibers in CFRC". Cement and Concrete Research. Vol. 32. Pp747-750.
- Zollo, R.F. 1997. "Fibre-Reinforced Concrete, an Overview after 30 Years of Development. Cement and Concrete Composite", Vol 19, pp.170.