

Pengaruh Paku Sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Tarik Belah Beton

Gede Sarya¹, Nurul Rochmah², Indra Lukmansyah³

¹Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jl. Semolowaru 45, Surabaya 60118

²Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jl. Semolowaru 45, Surabaya 60118
nurulita889@gmail.com

³Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jl. Semolowaru 45, Surabaya 60118

Abstract

The use of concrete for construction materials is currently in demand because the concrete has advantages such as high compressive strength, easy maintenance after the concrete is crushed and easily formed to suit the needs. Among the advantages of the concrete also has a defect that is brittle and has a tensile strength of about ten percent of the compressive strength. Disadvantages of the concrete can be overcome by adding fiber to the concrete mixture, can be called fiber concrete (fiber concrete). In this study the use of special stainless steel factory-made as an additional material will be replaced with other materials that is nails. The results to be tested include compressive strength and tensile strength of the variation of spikes 0%, 2% and 4% were tested for 7 days and 28 days of test subjects of 36 units. The results obtained from this research process is a decrease in compressive strength as the variation of spikes increases and vice versa increases the tensile strength as the spikes increase.

Keywords: Normal Concrete. Fiber Concrete. Fiber Steel

Pendahuluan

Penggunaan beton untuk bahan konstruksi saat ini masih diminati karena beton mempunyai keunggulan seperti kuat tekan yang tinggi, perawatan yang mudah setelah beton menggeras dan mudah dibentuk menyesuaikan kebutuhan. Diantara kelebihan tersebut beton juga mempunyai kekurangan yaitu bersifat getas dan mempunyai kuat tarik sekitar sepuluh persen dari kuat tekannya (Nawy, 1995). Kekurangan yang dimiliki beton bisa diatasi dengan penambahan tulangan pada daerah tarik, dikenal dengan beton bertulang (reinforced concrete) atau dengan menambahkan serat pada campuran beton, bisa disebut beton serat (fiber concrete).

Menurut ACI (American Concrete Institute) Committee 544 beton serat (fiber concrete) adalah campuran antara semen, agregat kasar dan halus, air dan material tambahan berupa serat yang disebar secara

acak untuk mencegah retak-retak yang terjadi akibat pembebanan, akibat panas hidrasi, maupun penyusutan. Bahan yang digunakan untuk serat tersebut dikategorikan menjadi dua, yaitu serat alami yang mempunyai modulus elastisitas yang rendah seperti jerami, serabut kelapa, ijuk dll. Serta serat buatan yang memiliki modulus elastisitas lebih tinggi dari beton, misalnya serat baja (fiber steel), serat sintetik dan serat kaca. Penelitian tentang beton serat dengan menggunakan bahan tambahan fiber steel yang mempunyai permukaan kasar, ujung berangkur, bergelombang dan beberapa bentuk lain terbukti sangat efektif untuk meningkatkan kapasitas kekuatan beton dengan signifikan (Thomas J, 2007). Dengan peningkatan kekuatan beton yang ditambah dengan serat juga menimbulkan penurunan workability yang mengakibatkan beton sulit untuk dipadatkan dan penambahan serat akan

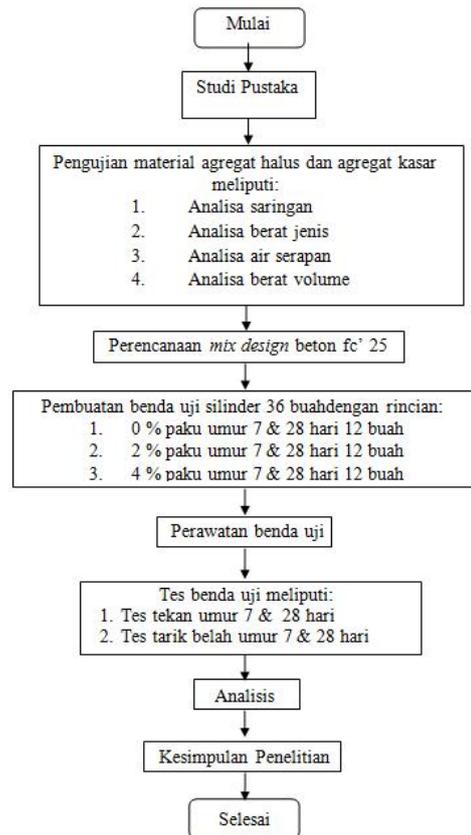
menyebabkan waktu ikat awal beton lebih cepat. Beton serat banyak diaplikasikan untuk slab beton struktural pada permukaan tanah, shotcrete, composite metal decks, perkerasan jalan raya dan parkir, struktur hidrodinamik, fondasi mesin, dan beton pracetak (Oslejs J, 2008).

Pada penelitian ini penggunaan fiber steel khusus buatan pabrik sebagai bahan tambahan akan digantikan dengan bahan material lain yaitu paku yang merupakan bahan lokal dikarenakan fiber steel masih sulit didapatkan dengan harga yang mahal. Pemilihan paku sebagai bahan tambahan ini dikarenakan paku adalah material bahan bangunan yang mudah didapatkan di toko bangunan, tidak seperti fiber steel atau bahan tambah yang lain yang masih sulit didapatkan. Paku adalah logam yang berbentuk panjang dengan salah satu ujung yang runcing dan ujung yang lain berbentuk tumpul. Penggunaan paku umumnya adalah untuk melekatkan dua benda dengan cara menembus bagiannya dengan bantuan palu atau paku tembak. Pengujian laboratorium dilakukan untuk menguji kuat tekan beton dan kuat tarik belah pada variasi material tambahan tersebut. Harapannya dengan penelitian ini akan dihasilkan material tambahan untuk beton serat yang mudah didapat dan mempunyai hasil kuat tarik belah yang lebih baik daripada beton biasa.

Metode Penelitian

Diagram Alir Penelitian

Adapun alur dari penelitian dapat dilihat dari *flowchart* berikut ini



Gambar 2.1. Diagram Alir Penelitian

Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan dan perawatan benda uji adalah sebagai berikut :

1. Persiapan material dan peralatan dalam rangka pencampuran (benda uji) telah disiapkan terlebih dahulu.
2. Material-material pembentuk beton perlu diperiksa sehingga nantinya kuat tekan rencana sesuai dengan yang direncanakan, yaitu pemeriksaan agregat yang meliputi gradasi agregat (Modulus Halus Butiran), pemeriksaan berat jenis, pemeriksaan berat volume agregat.
3. Sebelum melakukan pencampuran perlu dilakukan mixdesain, dan apabila pencampuran antar proporsi berjeda lama, maka perlu diadakan pengtesan ulang kadar air dan resapan agregat, sehingga hasil sesuai dengan keadaan material sebenarnya..
4. Disediakan material dengan berat sesuai dengan hasil perhitungan mixdesai/ perencanaan..

5. Pengadukan bahan didahului dengan memasukkan semen dan agregat halus kemudian diaduk, kemudian baru kerikil dan air dimasukkan secara bergantian.
6. Setelah adukan homogen, tuang adukan ke alas campuran beton.
7. Diukur nilai slump dari adukan tersebut, kemudian cetakan silinder dimasukkan adukan beton. Pertama-tama cetakan silinder diisi 1/3 dari tinggi cetakan, kemudian 2/3 lalu penuh. Tiap pahat dimampatkan dengan alat tongkat yang terbuat dari baja dimana ukuran alat tersebut berdiameter 16 mm dengan panjang adalah 60 cm yang mana bulat ujungnya. Penumbukan dilakukan sebanyak 25 kali.
8. Setelah padat dan cetakan penuh, kemudian permukaannya diratakan.
9. Kemudian beton dalam cetakan ditempatkan di tempat yang sejuk serta tidak ada getaran dan gangguan-gangguan selama 24 jam. Setelah waktu 24 jam usai, cetakan diambil benda ujinya kemudian mengukur tinggi, diameter serta berat., Perendaman benda uji dilakukan 28 hari guna sebagai Perawatan yang mencegah dari pengelupasan..
10. Untuk menguji kuat tekan beto, dilakukan dengan mesin uji tekan sesuai dengan perencanaan masing-masing umur.

Pengujian Pada Beton

Tes Berat Volume Beton (ASTM C 138 – 77)

Berat volume beton diketahui dengan melakukan tes ini. Dalam kondisi baru ditiriskan dari molen. Percobaannya dilakukan seperti pengujian berat volume batu pecah dengan cara rojok.

Dilakukan dengan mengisi 1/3 bagian mol dengan adonan/pasta campuran beton. Kemudian dirojok 25 kali sampai penuh. Lalu ratakan permukaanya dan timbang beratnya dengan rumus :

Berat Volume Beton Segar :

$$\frac{W_2 - W_1}{V} \dots\dots\dots 3.11$$

Dimana :

W₁ = Berat takaran silinder.

W₂ = Berat beton + silinder.

V= Volume takaran silinder.

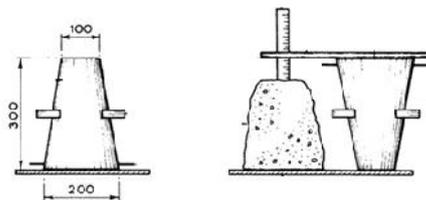
Slump Test (ASTM C 143 -78)

Workability suatu campuran beton diketahui dengan melakukan tes slum ini.

Metode pengerjaannya dilakukan menggunakan alat kerucut besi terpancung, dengan diameter sebesar 10 cm bagian atas, sedangkan 20 cm bagian bawah serta tinggi 30 cm.

Prosedur pengerjaannya dimulai dengan mengisi cetakan kerucut sampai penuh dengan pasta beton, dalam pengisiannya dibagi menjadi tiga bagian. Pada tiap bagian dipadatkan dengan alat perojok sebanyak 25 kali secara merata.

Setelah pematatan pada lapisan terakhir selesai, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat, tunggu 30 detik. Lalu benda uji diambil dari cetakan. Ukur benda uji yang runtuh akibat pengangkatan yang terjadi dengan rumus adalah nilai *slump*.



Gambar 3.7. Nilai *Slump* Pada Perencanaan Beton **Ketentuan Pembuatan Benda Uji**

- Cetakan untuk benda uji harus presisi ukurannya dan juga tertutup rapat sehingga tidak memungkinkan air beton keluar dari cetakan.
- Memposisikan benda uji yang telah ditimbang ke dalam mesin uji tekan setepat mungkin agar pembebanan tepat ditengah benda uji agar mendapatkan hasil yang tepat.
- Agar hasil lebih bagus permukaan beton yang akan diuji harus di *capping* terlebih dahulu agar permukaannya lebih datar.
- Pengadukan campuran beton dengan cara manual.

- Perawatan beton dengan perendaman selama 28 hari di dalam air bersih.

Evaluasi Mutu Beton (ASTM C 805 – 94)

Pengujian ini dilakukan pada dua tempat yaitu di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya dan di Laboratorium Beton Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tes ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan beton dengan persyaratan yang sudah ditentukan. Proses pengujiannya dimulai dengan mengoleskan permukaan beton dengan belerang (*capping*) kemudian beton diangkat dari cetakan *capping* dan dilakukan tes uji tekan. Setelah didapat nilai beban maksimum pada beton, dapat dihitung nilai kuat tekannya dengan rumus:

Kuat Tekan Beton Individu :

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan :
 P = Beban maksimum (kg).
 A = Luas penampang benda uji (cm²).
 f_c' = Kuat tekan beton karakteristik (kg/cm²)

Sedangkan untuk kuat tarik belah *test* yang biasa digunakan adalah standar ASTM C 496 – 96. Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tarik belah beton adalah:

$$F_{ct} = \frac{2P}{LD} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :
 F_{ct} = Kuat Tarik Belah (MPa).
 P = Beban Uji Maksimu (N).
 L = Panjang Benda Uji (cm).
 D = Diameter Benda Uji (cm).

Analisa Mix Design Pasir, Kerikil, Serat Ijuk

Tabel 3.1 *Mixdesign/* Perencanaan Campuran Beton

No	Uraian	Ketentuan Acuan	Nilai
1	Kuat tekan yang di syaratkan	Ditetapkan	25 Mpa
2	Deviasi Standart (s)	Tidak ada data untuk menghitung deviasi standart	0 Mpa
3	Nilai tambah (M)	SNI 03-2847-2013	8.3 Mpa
4	Kekuatan rata-rata yang hendak dicapai (f'cr)	(1 +3)	33.3 Mpa
5	Jenis semen	Ditetapkan	Pc Type I
6	Jenis Agregat : Kasar	Ditetapkan	Batu Pecah 1/2
	Jenis Agregat : Halus	Ditetapkan	Pasir Lumajang
7	Faktor Air Semen	Grafik FAS SNI 03-2834-2000	0.54
8	Faktor Air Semen Maksimum	SNI 03-2834-2000	0.6
9	Slump	PBI 1971 N.I.-2 dan SNI 03-2834-2000	100 mm
10	Ukuran Agregat maksimum	SNI 03-2834-2000	40 mm
11	Kadar air bebas	SNI 03-2834-2000	185.0 kg/m ³
12	Kadar semen	(11 : 7)	342.59
13	Kadar semen maksimum	Ditetapkan	342.59
14	Kadar semen minimum	SNI 03-2834-2000	275
15	Faktor air semen yang disesuaikan		-
16	Susunan besar butir agregat halus	SNI 03-2834-2000	Zone 3
17	Susunan Agregat Gabungan		
18	Persen	SNI 03-	31%

	agregat halus	2834-2000	
19	Berat jenis relatif, agregat Gabungan (kering permukaan)	SNI 03-2834-2000	2.479
20	Berat Isi Beton (Agregat gabungan)	SNI 03-2834-2000	2300
21	Kadar agregat gabungan	19 - 12 - 11	1772.41
22	Kadar agregat halus	20 * 17	549.45
23	Kadar agregat kasar	20 - 21	1222.96

Perhitungan Mix Design

Proporsi campuran Dari langkah no.1 hingga no.23 kita dapatkan susunan campuran beton teoritis untuk tiap m³ sebagai berikut:

- Semen Portland = 342.59 kg
- Air = 185 Kg
- Pasir = 549.45 Kg
- Kerikil = 1222.96 kg
- Paku 2 % = 6.85 kg
- Paku 4 % = 13.70 kg

Dalam mixdesign/ perencanaan campuran hasil proporsi masing-masing agregat, semen serta air hanya memperoleh proporsi teoretis, dalam pencampuran *mixdesain* di laboratorium beton dipakai hasil proporsi aktual, proporsi aktual mencakup perhitungan kadar air dan resapan masing-masing agregat, sehingga nantinya akan diperoleh campuran beton segar yang bagus dan sesuai rencana:

- 1) $\text{air} = B - (\text{Ck}-\text{Ca}) \times \text{C}/100 - (\text{Dk} - \text{Da}) \times \text{D}/100;$
 $= 185 - (3.52 - 1.21) \times (549.45 / 100) - (2.06 - 3.86) \times (1222.96 / 100)$
 $= 194.30 \text{ kg}$
- 2) $\text{agregat halus} = C + (\text{Ck}-\text{Ca}) \times \text{C}/100;$
 $= 549.45 + (3.52 - 1.21) \times (549.45 / 100)$
 $= 562.14 \text{ kg}$

- 3) $\text{agregat kasar} = D + (\text{Dk}-\text{Da}) \times \text{D}/100$
 $= 1222.96 + (2.06 - 3.86) \times (1222.96 / 100)$
 $= 1200.97 \text{ kg}$
 Dengan:
 B adalah banyaknya air
 C adalah banyaknya agregat halus
 D adalah banyaknya agregat kasar
 Ca adalah hasil absorpsi pada pasir (%)
 Da adalah hasil absorpsi pada kerikil(%)
 Ck adalah banyaknya air dalam pasir (%)
 Dk adalah banyaknya air dalam kerikil (%)

Setelah didapatkan kebutuhan aktual untuk campuran beton fc 25 mpa untuk 1 m³ sedangkan alat pecampur beton yang digunakan hanya mampu untuk 5 benda uji maka jumlah material aktual tersebut dikonversi untuk kebutuhan sekali adukan yaitu 5 buah benda uji dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 Silinder} &= \pi r^2 \times t \\ &= 3,14 \times 7,5^2 \times 30 \\ &= 5298,75 \text{ cm}^3 \\ &= 5,299 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{benda uji} \\ \text{Air Untuk 5 Silinder} &= (194.30 \times 5.299 \times 10^{-3} \times 5) = 5.15 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Semen Untuk 5 Silinder} &= (342.59 \times 5.299 \times 10^{-3} \times 5) = 9.08 \text{ kg} \\ \text{Pasir Untuk 5 Silinder} &= (562.15 \times 5.299 \times 10^{-3} \times 5) = 14.9 \text{ kg} \\ \text{Kerikil Untuk 5 Silinder} &= (1200.97 \times 5.299 \times 10^{-3} \times 5) = 31.82 \text{ kg} \\ \text{Paku 2 \% Untuk 1 Silinder} &= (6.85 \times 5.299 \times 10^{-3}) = 0.036 \text{ kg} = 36 \text{ gr} \\ \text{Paku 4 \% Untuk 1 Silinder} &= (13.7 \times 5.299 \times 10^{-3}) = 0.073 \text{ kg} = 73 \text{ gr} \end{aligned}$$

Perencanaan slump untuk campuran beton ini adalah 10 cm dengan toleransi 2 cm dan hasilnya adalah sebagai berikut :

1. Umur 7 hari dilakukan 4 kali adukan dengan hasil slump
 - 10 cm
 - 10 cm
 - 10 cm
 - 10 cm
2. Umur 28 hari dilakukan 4 kali adukan dengan hasil slump

- 11 cm
- 10 cm
- 12 cm
- 10 cm

Dengan hasil yang didapatkan pada waktu pengujian slump maka campuran beton masih memenuhi syarat untuk dituangkan ke cetakan.

Hasil Dan Pembahasan Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian Kuat Tekan Beton

Tabel 3.1 Rekap Hasil Kuat Tekan

Uraian Benda Uji	Kuat Tekan Rata-Rata (N/mm ²)
0 % Paku	27.7
2 % Paku	25.0
4 % Paku	23.5

(Sumber: Hasil Olahan)



Gambar 3.1. Grafik Kuat Tekan

Dilihat dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan paku untuk serat dalam campuran beton normal akan menurunkan kuat tekan secara signifikan. Hasil dari grafik diatas adalah:

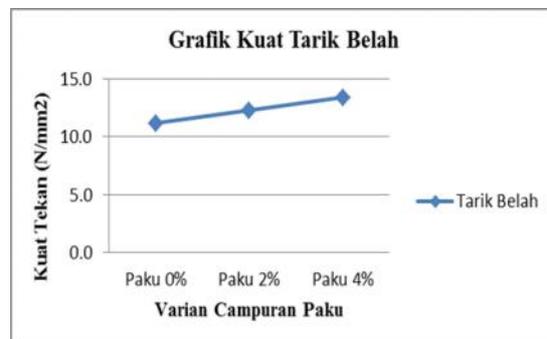
- Hasil kuat tekan beton saat umur 28 hari mengalami penurunan yaitu pada kuat tekan rata-rata beton normal variasi paku 0% sebesar 27.7 MPa , beton variasi paku 2% mengalami penurunan sebesar 9.8% dari beton normal dengan nilai 25 Mpa dan hasil beton variasi paku 4% mengalami penurunan sebesar 15.1% dari beton normal sengan nilai 23.5 Mpa.

- Pemilihan paku dengan variasi 2% dapat dikatakan menjadi porsi pemilihan yang ideal karena pada variasi benda uji tersebut walaupun menurunkan kuat tekannya tetapi kuat tekan yang diperoleh tepat seperti perencanaan awal yaitu 25 MPa. Dengan melihat hasil uraian diatas ada beberapa faktor yang menyebabkan kenapa kuat tekan yang dihasilkan beton menurun jika ditambah dengan paku yaitu:
- Dengan penambahan paku proses pemadatan untuk pembuatan benda uji akan menjadi lebih sulit dikarenakan paku yang digunakan bersifat kaku tidak seperti fiber steel yang lebih fleksibel. Penggunaan paku akan mempengaruhi kepadatan benda uji itu sendiri sehingga akan menyebabkan rongga-rongga dalam benda uji.
- Penampang paku yang halus mempengaruhi pengikatan dengan material yang digunakan untuk pembuatan beton yaitu semen tidak bisa maksimal.

Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Tabel 3.2 Rekap Hasil Kuat Tarik Belah

Uraian Benda Uji	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (N/mm ²)
0 % Paku	11.2
2 % Paku	12.3
4 % Paku	13.4



Gambar 3.2. Grafik Kuat Tarik Belah

Dilihat dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan paku untuk serat dalam campuran beton normal

akan meningkatkan kuat tarik belah secara signifikan. Hasil dari grafik diatas adalah:

- Hasil kuat tarik belah beton variasi benda uji pada umur 28 hari jika ditambah paku mengalami peningkatan yang signifikan, yaitu pada beton normal dengan 0% paku nilai hasil kuat tariknya sebesar 11.2 MPa dan untuk beton variasi 2 % paku nilai kuat tarik belah mengalami peningkatan sebesar 10 % dari beton normal dengan nilai 12.3 MPa, sedangkan untuk benda uji variasi 4% paku juga mengalami peningkatan sebesar 20 % dari beton normal dengan nilai 13.4 MPa.

Dengan melihat hasil uraian diatas ada beberapa faktor yang menyebabkan kenapa kuat tarik belah yang dihasilkan beton meningkat seiring bertambahnya paku yaitu:

- Dengan penambahan paku ikatan yang terjadi didalam beton lebih solid karena paku mengikat antar campuran pembentuk beton sehingga kuat tarik belah yang dihasilkan meningkat secara signifikan. Dengan hasil yang diterima dari proses penelitian mulai dari awal hingga akhir dapat disimpulkan bahwa penggunaan paku sebagai bahan campuran beton serat akan meningkatkan kuat tarik belahnya secara signifikan tetapi ada kerugian jika diterpakan yaitu kuat tekan beton mengalami penurunan. Dengan proporsi campuran paku 2 % dinilai paling efisien karena kuat tekan yang didapat seperti perencanaan awal pada saat mix design dan juga meningkatkan kuat tarik belahnya sebesar 10 %.

Simpulan Dan Saran

Simpulan

1. Karakteristik kuat tekan beton dengan campuran paku sebagai pengganti serat mengalami penurunan yang signifikan karena beberapa faktor sesuai yang dijelaskan diatas. Karakteristik kuat tarik belah beton untuk variasi campuran paku 2% mengalami kenaikan 10% dan 4% mengalami peningkatan sampai 20% terhadap beton normal. Peningkatan kuat tarik

belah ini dapat dimanfaatkan untuk struktur yang membutuhkan kuat tarik yang tinggi.

2. Pemilihan paku sebagai bahan pengganti serat sudah memenuhi yaitu terjadi peningkatan kuat tarik belahnya.

Saran

Adapun yang harus diperhatikan guna untuk mencapai mutu beton yang sesuai dengan yang direncanakan adalah dengan mengecek hal-hal berikut :

1. Pematatan beton serat sebaiknya menggunakan alat vibrator agar tidak terjadi rongga-rongga yang menyebabkan penurunan kuat tekan beton.
2. Menambahkan zat adiktif tipe A agar faktor air semen berkurang dengan harapan mengurangi terjadinya korosi pada paku untuk jangka panjang.

Referensi

- BSN. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2013. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Dipohusodo, Istimawan. 1999. Struktur Beton Bertulang. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta
- Gregor, J.G.M. 1997. Reinforced Concrete Mechanics and Designs, Third Edition. Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey.
- Mulyono, Tri. 2005. Teknologi Beton SNI 03-2461-2002. Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural.
- SNI 03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.
- SNI 03-2834-2002. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.
- SNI 03-2847-2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. SNI 2847:2013. 2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta

- Siswanto, Antonius. 2011. Pengaruh Fiber Baja pada Kapasitas Tarik dan Lentur Beton. Teknik, Sipil. "Serat Ijuk Alam Indonesia". 12 Juni 2010. <http://arengabroom.blogspot.com/2009/08/serat-ijuk-merupakan-serat-alam-terbaik.html>
- Tjokrodinuljo, K.1996. Teknologi Beton. Yogyakarta : Nafiri.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 2007. Teknologi beton. Yogyakarta: KMST FT Universitas Gajah Mada
- Widodo, Slamet. 2007. Struktur Beton. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Avella, L., Fernandez,E., and Vazquez, C,J. 2001. "Anaysis of Manufacturing strategy as an explanatatory factor of competitiveness in the large spainsh industrial firm" *Int J.Production Economi*, Volume 72,pages 139-157.
- Choiri, Mochamad dan Yuniarti, Rahmi. 2006. Analisis Resiko Operasional Departemen Logistik Dengan Metode FMEA
- Darmawi, Herman 2004. Manajemen Risiko. Bumi Aksara, Jakarta
- Demeter,K. 2003. Manufacturing Strategy and Compepetitiveness", *Interntional Journal of Production Economics*", Volume 81, page 205-213
- Iswanto, A.,Rambe,A., Jabbar M., dan Ginting. 2013. Aplikasi metode Taguchi Analysis dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk perbaikan kualitas produk di PT XYZ. *E-Jurnal Teknik Industri USU*.2(2): 13-18
- Muslich, Muhammad. 2007. Manajemen Risiko Operasional. Bumi Aksara, Jakarta
- Parwati,C.I., dan Sakti, R,M. 2012. Pengendalian kualitas produk cacat dengan pendekatan kaizen dan analisis masalah dengan seven tools, dalam prosiding seminar nasioanal aplikasi sains dan teknologi (SNATS) Periode III 2012, hal 16-24. Yogyakarta: Institut Sains dan Teknologi AKPRIND
- Roger S. Pressman. 2002. Rekayasa Perangkat Lunak Pendekatan Praktisi. Andi, Yogyakarta
- Tchankova, Lubka. 2002. Risk identification-basic in risk management, *Enviromental Management and Health*, Vol. 13 Iss. Pp. 290-297.