Available online at:http://jtb.ulm.ac.id/index.php/JTB
Volume 6 Nomor 2
ISSN: 2302-8394 (print)

PERILAKU STRUKTUR JEMBATAN BERSUDUT (*SKEW BRIDGE*) MENGGUNAKAN BETON MUTU NORMAL

Fitria Handayani[1]
[1]Faculty of Engineering, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari

ABSTRAK

Pengertian jembatan bersudut adalah suatu jembatan yang sumbu tengahnya tidak tegak Lurus terhadap jalan. Perilaku dan karakteristik jembatan bersudut akan berpengaruh terhadap besarnya gaya yang bekerja pada jembatan dan kekuatan jembatan menahan beban diatasnya. Tujuan penelitian ini yaitu: mendapatkan beban ultimit, sudut miring maksimum, mengetahui perilaku retak dan perilaku pondasi dengan sistem spring (semi elastis). Metode penelitian menggunakan Analisa Elemen Hingga ANSYS Ed. 9.0. Bentuk profil jembatan yaitu gelagar I beton bertulang dengan panjang 20 m dan lebar 10 m. Variasi sudut miring jembatan adalah 0^o, 5^o, 10^o, 15^o, 20^o, 25^o, dan 30^o. Mutu gelagar beton yaitu f_c'= 53 MPa (mutu tinggi) dan mutu beton untuk dek f_c'= 28 MPa (mutu normal). Jarak antar gelagar 1,2 m dengan Tebal dek 230 mm. Tegangan leleh tulangan baja yang digunakan adalah f_y = 400 MPa untuk tulangan utama dan f_y = 240 MPa untuk tulangan sengkang. Nilai tegangan regangan beton mutu normal menggunakan kurva tegangan regangan Hognested, nilai beton mutu tinggi menggunakan kurva tegangan regangan Papovich, nilai regangan Park dan Paulay (1975). Pedoman perhitungan yang dipakai yaitu SNI 03-1725-1989 untuk jembatan, SNI 03-2847-2002 untuk beton, dan ACI untuk batas izin lendutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi sudut miring pada jembatan mempengaruhi kekuatan balok dan pola retak. Semakin besar sudut miring jembatan semakin berkurang kemampuan balok memikul beban dan pola retak semakin besar. Defleksi dan tegangan terbesar terjadi pada jembatan dengan sudut kemiringan 30^o.

Kata Kunci: Jembatan bersudut, beton bertulang, pondasi *spring*, beban, defleksi, tegangan, regangan, *von Misses*, pola retak, *ANSYS Ed. 9.0.*

1. PENDAHULUAN

Pengertian jembatan bersudut (*bersudut bridge*) adalah suatu jembatan yang sumbu tengahnya tidak tegak lurus terhadap jalan. Karakteristik dan perilaku jembatan bersudut sangat berbeda dengan karakteristik dan perilaku jembatan pada umumnya (SNI-03-2833-2002). Perbedaan perilaku dan karakteristik ini akan berpengaruh terhadap besarnya gaya yang bekerja pada jembatan dan kekuatan jembatan menahan beban di atasnya. Perilaku adalah reaksi jembatan ketika menerima gaya-gaya yang bekerja pada jembatan, seperti besarnya *stress countur*, pola retak, dan beban ultimit, sedangkan karakteristik adalah bentuk dan gaya yang dimiliki jembatan bersudut. Penelitian tentang jembatan bersudut diantaranya dilakukan oleh Minalu (2010), Gupta dan Misra (2007) dan Menasa, dkk (2007). Asumsi sudut maksimum sebesar 30^o mengacu pada penelitian Gupta dan Misra (2007) karena reaksi gaya diatas sudut 30^o menjadi negatif.

Analisis balok pada penelitian jembatan bersudut menggunakan beton bertulang mutu tinggi K-530 untuk girder dan mutu normal K-280 untuk dek mengacu pada penelitian Minalu (2010) karena pada jembatan umumnya menggunakan balok komposit. Beton normal ialah beton yang mempunyai berat isi 2200-2500 kg/m^3, menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah yang tidak menggunakan bahan tambahan. Pada penelitian ini berat isi beton normal yang digunakan 2400 kg/m^3 sedangkan mutu beton normal yang digunakan adalah klasifikasi mutu beton sedang karena f_c' = 28 MPa untuk dek jembatan dan mutu tinggi karena f_c' = 53 MPa untuk gelagar jembatan. Klasifikasi mutu beton berdasarkan Departemen PU (Puslitbang Prasarana Transportasi, Divisi 7 – 2005) dapat dilihat pada Tabel 1.

Correspondence: Fitria Handayani
Email : flp_f3@yahoo.com

Tabel 1. Tabel Mutu Beton dan Penggunaannya

Jenis Beton	f_c' (Mpa)	Uraian
Mutu Tinggi	35-65	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, plat beton prategang, dan sejenisnya.
Mutu Sedang	20-<35	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti plat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang dan bangunan bawah jembatan.
Mutu Rendah	15-<20	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu.
	10-<15	Digunakan sebagai lantai kerja dan penimbunan kembali dengan beton.

Sumber: Klasifikasi mutu beton berdasarkan Departemen PU (Puslitbang Prasarana Transportasi, Divisi 7 – 2005).

Karakteristik jembatan bersudut sebagai berikut:

a. Sudut jembatan tidak tegak lurus bidang di bawahnya.
b. Beban roda kendaraan tidak simetris terhadap jembatan.
c. Gaya inersia pada bangunan bawah jembatan.
d. Memiliki gaya lateral dalam arah tegak lurus sumbu jembatan dan gaya lateral dalam arah sumbu jembatan pada bangunan bawah (SNI-03-2833-2002).

Beberapa alasan yang menyebabkan dibangunnya jembatan bersudut yaitu untuk memperpendek jarak tempuh kendaraan. menghindari terbentuknya tikungan tajam pada jalan, terbatasnya lahan untuk jembatan. di bawah jembatan terdapat jalan transportasi lain seperti jalan raya. Dan penggunaan untuk jalan kereta api yang mengharuskan jembatannya bersudut. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu penelitian perilaku struktur jembatan bersudut (*skew bridge*) menggunakan beton mutu normal

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Jumlah Model

Jumlah model ditentukan berdasarkan variasi parameter sudut berjumlah lima model, yaitu sudut 5^o, 10^o, 15^o, 20^o, 25^o, 30^o. Adapun analisa elemen hingga untuk model menggunakan bantuan *ANSYS* 9.0. Panjang jembatan 20 meter. Balok jembatan selebar 10 meter sebanyak delapan buah gelagar profil I tampak melintang pada Gambar 3.24. Model jembatan dengan nilai f_c '= 30 MPa dan f_y = 400 MPa untuk tulangan utama dan f_y = 240 MPa untuk tulangan sengkang. Lebar profil I adalah 1.180 mm dan tinggi profil I adalah 1.325 mm.

2.2. Implementasi Model

Analisis awal permodelan ini adalah memodelkan balok jembatan dengan input data yang sesuai dengan sampel balok uji eksperimental terdahulu. Model kemudian dianalisis dan hasilnya akan dibandingkan dengan hasil uji eksperimental sebelumnya. Apabila hasil sudah tervalidasi maka akan dilanjutkan dengan implementasi model balok jembatan Bersudut dengan variasi yang ditetapkan dalam batasan penelitian sebelumnya. Hasil eksperimental yang akan dijadikan acuan validasi permodelan ANSYS adalah hasil eksperimen jembatan bersudut oleh Kassahun K. Minalu dengan variasi sudut jembatan 0^o, 15^o, 30^o, 45^o, 60^o dengan bentuk balok T.

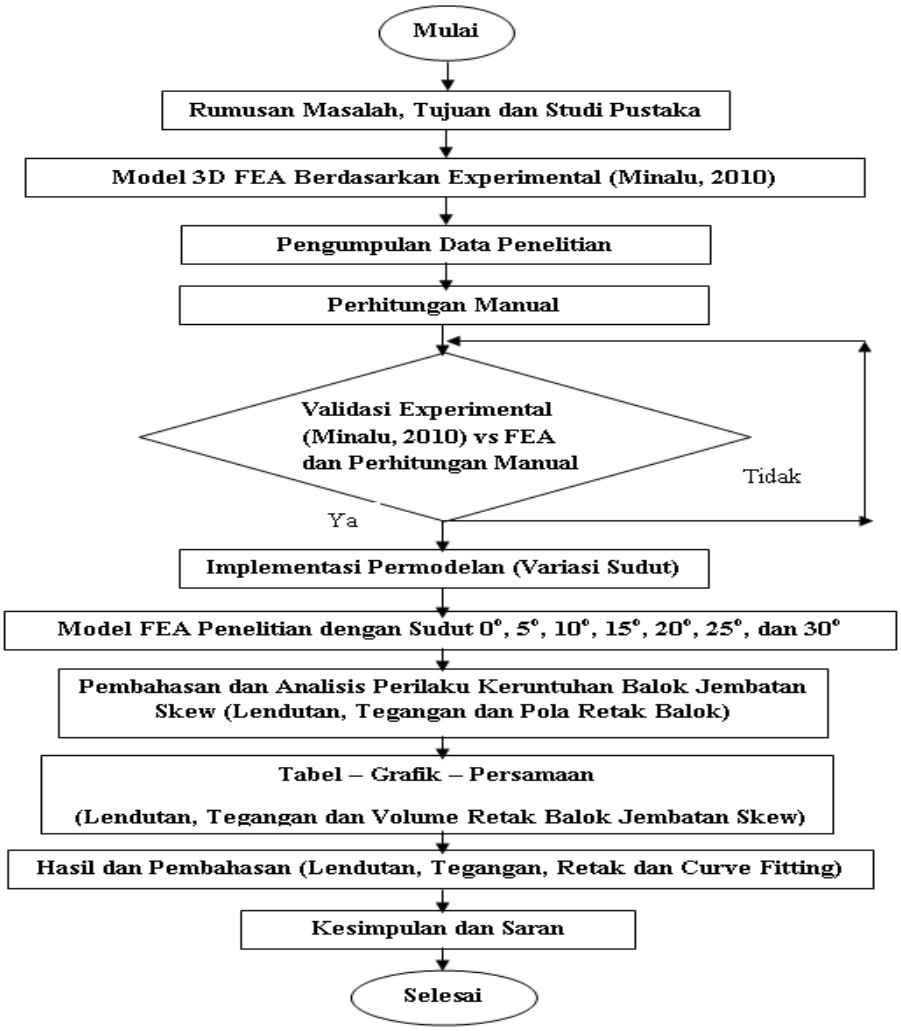
2.3. Alidasi dan Verifikasi Model

Sudut jembatan bersudut implementasi ANSYS akan dibuat dengan dimensi sama dengan dengan jembatan bersudut eksperimental, yang berbeda adalah bentuk baloknya adalah bentuk I. Hasil analisis ANSYS nantinya akan menggambarkan perilaku balok jembatan bersudut terhadap beban ultimit yang diberikan berupa defleksi, retak pertama, dan kehancuran beton. Kemudian hasil tersebut akan dibandingkan dengan hasil eksperimental sebelumnya untuk mendapatkan suatu pola keretakan balok jembatan dengan variasi bentuk I beton bertulang berdasarkan variasi sudut. Untuk

kurva *midspan deflection-load* (lendutan-beban) variabel *x* merupakan besar lendutan yang terjadi dan variabel *y* adalah beban yang diterima balok jembatan. Untuk kurva *stress-strain* (tegangan-regangan) sebagai variabel *x* adalah nilai regangan tekan beton yang terjadi dan variabel y adalah nilai regangan beton. Untuk kurva momen- *kurvatur* variabel *x* merupakan besar kurvatur yang terjadi dan variabel *y* adalah besarnya momen. Untuk kurva momen- kekakuan variabel *x* merupakan besarnya momen dan variabel *y* adalah besarnya nilai kekakuan. Untuk kurva gaya reaksi- sudut jembatan variabel *x* merupakan besarnya sudut jembatan dan variabel *y* adalah besarnya gaya reaksi. Variabel *x* dan *y* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2. Adapun Bagan Alir Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 2. Tabel Variabel *x* dan *y* Fungsi *power model* Penelitian

Curve fitting power model	*Variabel x*	*Variabel y*
Load-Midspan Deflection	*Load* (*P*)	*Midspan deflection* (Δ)
Stress-Strain	*Stress* (*f*)	*Strain* (ε)



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Model Tes Menggunakan Perhitungan Manual

Balok beton mutu normal dianalisis secara manual mengggunakan model pendekatan dengan perhitungan manual. Hal ini diperlukan untuk menilai beban maksimal dan lendutan yang terjadi pada kondisi ultimit secara teoritis. Perhitungan manual sebagai berikut.

1. Menghitung nilai lendutan

$$\delta_{ijin} = \left(\frac{L}{240}\right) sampai\ dengan\ \left(\frac{L}{360}\right)$$

$$\delta_{ijin} = \left(\frac{L}{240}\right) = \left(\frac{20.000}{240}\right) = 83{,}33\ mm$$

$$\delta_{ijin}\ \left(\frac{L}{360}\right) = \left(\frac{20.000}{360}\right) = 55{,}55\ mm$$

2. Menghitung momen crack dan momen ultimit pada kondisi Ultimate Limit States (ULS)
   a. Momen crack (retak pertama)

$$M_{cr} = \frac{0{,}3\sqrt{f_{c\prime}}}{y_t} I_g = 295{,}6\ kNm$$

   b. Momen Ultimit

$$M_u = A_s f_y d\left(1 - \frac{1}{2k}\right) + A_{s\prime} f_{s\prime}(0{,}5k_d - d') = 3464{,}34\ kNm$$

3. Menghitung beban retak pertama

$$M_{cr} = P_{cr} a$$

a = jarak beban dengan tumpuan = 1000 mm

$$P_{cr} = \left(\frac{M_{cr}}{a}\right) = \frac{3464340072}{1000} = 3464340$$
$$= 2 \times 3464340$$
$$= 6928680N$$
$$= 6.928{,}68\ kN$$

4. Menghitung momen nominal

$$M_n = (A_s f_s)\left(1 - \frac{k}{3}\right) d$$
$$= 3.298.284.876\ Nmm$$
$$= 3.298{,}284 kNm$$

5. Menghitung momen ultimit

$$M_u = \emptyset M_n = 0{,}8 \times 3.298.284.876$$
$$= 2.638.627.901\ Nmm$$
$$= 2.638{,}627\ kNm$$

6. Menghitung beban ultimit

$$P_{u1} = \frac{M_u}{a} = \frac{2.638.627.901}{1000}$$
$$= 2.638.627{,}901N$$
$$= 2.638{,}627kN$$
$$P_u = 2 \times P_{u1} = 5277{,}254\ kN$$

3.2. Hasil Pengujian Lendutan Jembatan *Bersudut*

Tabel 3 s.d 5 serta Gambar 2 s.d. 6 menunjukkan penelitian yaitu: besarnya lendutan maksimum, besarnya tegangan retak pertama, besarnya tegangan retak ultimit, besarnya lendutan retak pertama, dan besarnya lendutan retak ultimit

Tabel 3. Tabel besarnya lendutan jembatan bersudut 0º-30º

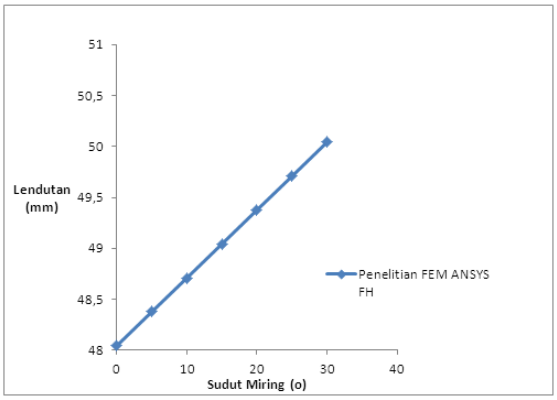
No.	Kode Model	Sudut	Lendutan (δ) maksimum	Lendutan (δ) Retak Pertama	Lendutan (δ) Retak ultimit	L/240 dan L/360
		(º)	mm	mm	mm	mm
1	FH0	0º	48,042	5,164	43,569	83,33 dan 55,55
2	FH5	5º	48,376	5,185	43,590	83,33 dan 55,55
3	FH10	10º	48,708	5,206	43,611	83,33 dan 55,55
4	FH15	15º	49,042	5,227	43,632	83,33 dan 55,55
5	FH20	20º	49,376	5,248	43,653	83,33 dan 55,55
6	FH25	25º	49,708	5,271	43,674	83,33 dan 55,55
7	FH30	30º	50,042	5,292	43,695	83,33 dan 55,55

Tabel 4. Tabel besarnya tegangan retak pertama jembatan bersudut 0^o-30^o

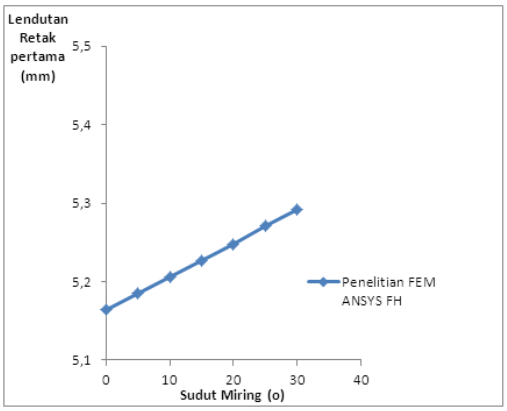
Besarnya tegangan Retak pertama (Mpa)	Besarnya sudut miring (^{o})
6,859	0
8,529	5
10,199	10
11,869	15
13,539	20
15,209	25
16,879	30

Tabel 5. Tabel besarnya tegangan retak ultimit jembatan bersudut 0^o-30^o

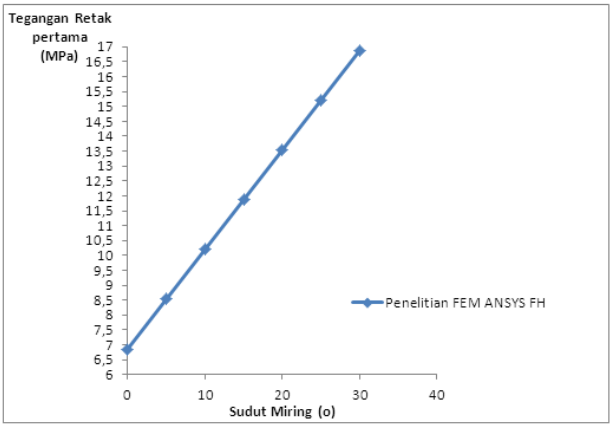
Besarnya tegangan retak ultimit (Mpa)	Besarnya sudut miring (^{o})
21,599	0
23,269	5
24,939	10
26,609	15
28,279	20
29,949	25
31,619	30



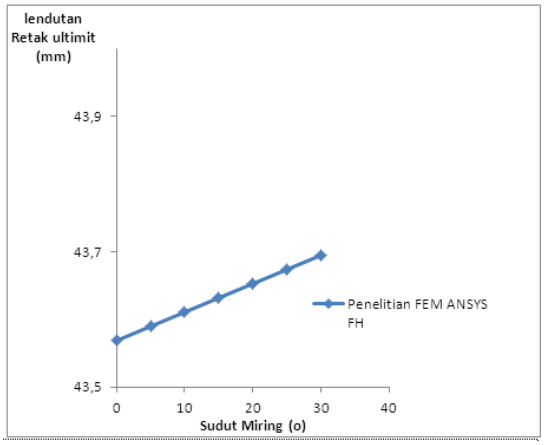
Gambar 2. Besarnya lendutan dengan beban 200 kN



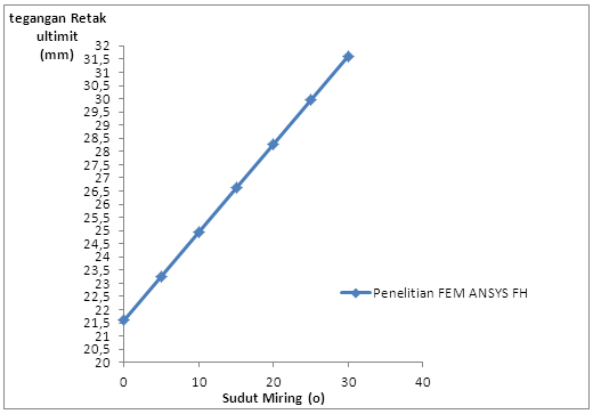
Gambar 3. Grafik besarnya lendutan retak pertama



Gambar 4. Grafik besarnya lendutan retak ultimit



Gambar 5. Grafik besarnya tegangan retak pertama



Gambar 6. Grafik besarnya tegangan retak ultimit

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil permodelan yang diperoleh dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai lendutan yang terjadi di tengah bentang akan semakin kecil jika nilai sudut miring pada balok jembatan semakin kecil. Pada kondisi beban ultimit nilai tegangan pada daerah serat atas juga berkurang.
2. Volume retak pada daerah lapangan atau di tengah bentang akan semakin berkurang jika nilai sudut miring pada balok jembatan semakin kecil.
3. Penggunaan sudut miring jembatan 0^o sampai dengan 30^o masih aman untuk dimensi balok jembatan dengan panjang 20 meter dan lebar 10 meter.
4. Penggunaan sistem spring pada jembatan bersudut memperkecil besarnya lendutan dan meminimalkan volume retak yang terjadi pada balok jembatan.

DAFTAR RUJUKAN

ACI Committee 318. (2008). *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. (ACI 318M-08), American Concrete Institute.

Anonim. *Bridge Component*. https://www.google.com.

Anonim. *Bersudut Bridge*. gwr.bersudut.bridge-feeder-canal-179444 (yourlocalweb.co.uk).

ANSYS, Realease 9.0. (2007). *Programmer's Manual for ANSYS Incorporations and ANSYS Europe*, Ltd.

http://ansys.com.

Azizinamini. (1994). *Seismic Behaviour of Square High Strenght Concrete Columns*, ACI Structural Journal, V91 N0. 3. Pp.336-345.

Dipohusodo, Istimawan. (1999). *Struktur Beton Bertulang*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Menassa, dkk. (2007). *Influence of Skee Angle on Reinforced Concrete Slab Bridge*. The Journal of Bridge Engineering, March 1, 2007, Vols.Vol. 12, No. 2.

Minalu, Kassahun K. (2010). *Finite Element Modelling of Bersudut Slab-Girder Bridges*. Faculty of Civil Engineering and Geosciences Technical University of Delft.

http://homepage.tudelft.nl/p3r3s/MSc_projects/reportminalu.pdf.

(diakses pada tanggal 15 April 2012).

Gere, James M., Stephen P. Timoshenko. (2000). *Mekanika Bahan (Jilid 2 Edisi keempat)*. Erlangga. Jakarta.

Gupta, Trilok dan Anurag Misra. (2007). *Effect on Support of T-Beam Bersudut Bridge Decks. vol 2, No.1, February 2007*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.

http://www.com/jeas/research_papers/sp_2007/jeas_0207_31.pdf.

(diakses pada tanggal 30 September 2011).

Nawy, Edward G. (1998). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. PT. Refika Aditama. Bandung.

Park, R. and T. Paulay. (1975). *Reinforced Concrete Struktures*. John Wiley and sons. New York. US.

Parvanova, Sonia. L., et al. (2004). *Modeling The Nonlinier Behaviour of R/C Beam with Moderate Shear Span and without Strirrups Using Ansys*. National Science Fund. Bulgaria.

Pramana, Sangga. (2010). *Bangunan Atas dan Bawah Jembatan*. https://docs.google.com

SNI 03-1725-1989. *Tata Cara Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya.*

SNI 03-2847-2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.*

Taufik, Syahril. (2008). *Behaviour of Bolted Connection with High Strength and Stainless Steel, PhD Thesis*. Swansea University. UK.

Tjitradi, Darmansyah. (2008). *Bahan Ajar Struktur Beton Lanjut*. Program Pasca Sarjana Studi Magister Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin.

Wahyudi, L., Syahril A. Rahim. *Struktur Beton Bertulang Standar Baru SNI T-15-1991-03*. PT. Gramedia. Jakarta.

Wang, Chu-Kia, Charles G. Salmon. (1985). *Reinforced Concrete Design (fouth edition)*. Harper and Row Publisher. New York.

Wolanski, Anthony J. (2004). *Flexural Behavior Of Reinforced And Prestressed Concrete Beams Using Finite element Analysis. Thesis Marquette University*. Milwaukee. Wisconsin. http://www.eng.mu.edu/foleyc/MS_Theses/wolanski_2004_MS.pdf.

(diakses pada tanggal 31 Januari 2011).

Xiang, Gang, Andrzej Pownuk, Olga Kosheleva, and Scoot A. Starks. *Von Mises Failure Criterion in Mechanics of Materials: How to Efficiently Use it Under Interval and Fuzzy Uncertanty.* University of Texas at El Paso. http://www.cs.utep.edu/vladik/2007/tr07-24.pdf.

(diakses pada tanggal 15 April 2012).

Zhenhua, Wu. (2006). *Behaviour of High-Strenght Concrete Members Under Pure Flexure and Axial-Flexural Loadings*. Disertation Civil Engeneering North Carolina State University. Raleigh, North Carolina.