

PERENCANAAN PORTAL BAJA MENGGUNAKAN METODE LRFD PADA GEDUNG FAKULTAS ILMU KEOLAHRAHAAN UNIVERSITAS NEGERI MALANG

JB. I Wayan Andika Wibisana P.¹, Sudirman Indra², Agus Santosa³
^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang
Email : Awibisana1@gmail.com¹

ABSTRACT

Nowadays, the construction of multi-storey buildings is becoming a trend in big cities because of limited land. However, in the planning it is also necessary to consider factors such as safety, design strength, stability, and efficiency in the process. Encased steel column structure is an alternative in building planning, where WF steel profiles are combined with concrete. The advantage that can be obtained from the use of Encased column structure is that the column can bear a large load of both press and pull. In this case the planning uses the Load and Resistance Factor Design (LRFD) method listed in the SNI code 03-1729-2015. From the calculation results, the optimal size of the WF steel profile for the main beam is WF. 450.200.9.14, joist 1 WF. 350.175.7.11 and joist 2 WF 200.150.6.9. For the Encased 1 column, the dimensions of 800 x 500 with WF 600.300.12.20 are obtained, and the Encased 2 column has dimensions of 650 x 400 with WF 450.200.9.14. In the joint beam-column joints on the flanges used the type of end plate connection with a thickness of 20 mm and the number of bolts 4 - Ø22 mm, the connection of the joist beam - joist 1 using the elbow connection L 80.80.8 mm with the number of bolts 4 - Ø22 mm, the connection joist 1 - joist 2 using 80.80.8 mm L-elbow joint with 4 - Ø22,225 mm bolt, and for base plate dimensions of base plate is 1000,700.30 mm with anchor number 9 - Ø19,05 mm long by 750 mm.

Keywords : *Upper Structure, WF Beam, Encase Column, Steel Connection.*

ABSTRAK

Sekarang ini, pembangunan gedung bertingkat menjadi *tren* di kota – kota besar karena terbatasnya lahan. Namun dalam perencanaannya perlu juga diperhatikan faktor – faktor seperti faktor keamanan, kekuatan desain, stabilitas, serta efisiensi dalam pengerjaannya. Struktur kolom baja *Encased* merupakan alternatif dalam perencanaan bangunan, dimana profil baja WF yang dikombinasikan dengan beton. Keuntungan yang di dapat dari digunakannya struktur kolom *Encased* adalah kolom yang dapat memikul beban yang besar baik tekan maupun Tarik. Dalam hal ini perencanaan menggunakan *metode Load and Resistance Faktor Design* (LRFD) yang tercantum dalam kode SNI 03-1729-2015. Dari hasil perhitungan didapatkan ukuran optimal profil baja WF untuk balok induk yaitu WF. 450.200.9.14, balok anak 1 WF. 350.175.7.11 dan balok anak 2 WF 200.150.6.9. Untuk kolom *Encased* 1 didapatkan dimensi 800 x 500 dengan WF 600.300.12.20, kolom *Encased* 2 didapatkan dimensi 650 x 400 dengan WF 450.200.9.14. Pada sambungan balok induk - kolom bertemu pada flens digunakan jenis sambungan end plate dengan tebal 20 mm dan jumlah baut 4 – Ø22 mm, sambungan balok induk - balok anak 1 menggunakan sambungan siku L 80.80.8 mm dengan jumlah baut 4 - Ø22 mm, sambungan balok anak 1 - balok anak 2 menggunakan sambungan siku L 80.80.8 mm dengan jumlah baut 4 – Ø22,225 mm, dan untuk base plate diperoleh dimensi pelat landasan 1000.700.30 mm dengan jumlah angkur 9 – Ø19,05 mm panjang 750 mm.

Kata Kunci : *Struktur Atas, Balok WF, Kolom Encase, Sambungan Baja.*

1. PENDAHULUAN

Perencanaan struktur atas suatu bangunan gedung meliputi perencanaan balok, kolom, pelat lantai, dan juga atap. Perencanaan ini juga berfungsi untuk mendukung beban yang bekerja pada suatu bangunan. Sedangkan perencanaan struktur bawah meliputi pondasi, yang berfungsi untuk menahan dan menyalurkan beban dari struktur atas ke dalam tanah yang kemudian akan disalurkan kedalam pondasi. Dalam perencanaannya, ada beberapa factor yang

harus diperhatikan, meliputi keamanan, kekuatan, *stability*, dan efisiensi dalam pembangunannya. Adapun dalam perencanaan struktur portal ini mengacu pada peraturan SNI 1729:2015 tentang spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural. Spesifikasi ini memberikan kriteria untuk desain, fabrikasi dan ereksi bangunan gedung baja struktural dan struktur lainnya, dimana struktur lainnya didefinisikan dalam cara yang sama pada bangunan gedung. Menurut SNI 1729:2015, metode LRFD

(Load and Resistance Factor Design) adalah metode yang memproporsikan komponen struktur sedemikian sehingga kekuatan desain sama atau melebihi kekuatan perlu komponen akibat aksi kombinasi beban DFBK.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka perlu dibuat suatu perumusan masalah. Adapun perumusan masalah yang penulis kemukakan adalah sebagai berikut :

1. Berapa dimensi profil baja WF (Wide Flange) yang dibutuhkan untuk balok komposit ?
2. Berapa dimensi profil baja WF (Wide Flange) yang dibutuhkan untuk kolom komposit ?
3. Berapa dimensi sambungan dan base plate ?
4. Berapa jumlah baut dan panjang angkur yang dibutuhkan pada base plate ?

Maksud dan Tujuan

Maksud dari perencanaan struktur ini adalah untuk merencanakan struktur portal baja pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang. Adapun tujuan dilakukannya perencanaan tersebut, yaitu :

1. Menghitung dimensi profil baja WF yang dibutuhkan untuk balok komposit.
2. Menghitung dimensi profil baja WF yang dibutuhkan untuk kolom komposit.
3. Menghitung dimensi sambungan dan base plate.
4. Menggambar detail rencana sesuai perhitungan.

2. DASAR TEORI

Material Baja

Berikut merupakan sifat-sifat mekanis baja struktural berdasarkan SNI baja Indonesia:

1. Modulus Elastisitas, E : 200.000 MPa
2. Modulus Geser, G : 80.000 Mpa
3. Angka Poisson, μ : 0,30
4. Koefisien Pemuaian, α : $14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Sedangkan berdasarkan tegangan leleh dan regangan putusnya, mutu material baja dibagi menjadi beberapa kelas mutu sebagai berikut :

Tabel 1. Jenis Mutu Baja

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum f_u (MPa)	Tegangan Leleh Minimum f_y (MPa)	Regangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 52	520	360	14
BJ 55	550	410	13

Sumber : SNI 03-1729-2002, p11.

Pembebanan Struktur

• Beban Mati

Beban mati yang digunakan dalam perencanaan bangunan gedung dan struktur lain adalah berat dari suatu gedung yang bersifat tetap yang mengacu pada PPURG 1987 dan berat sendiri bangunan yang dihitung oleh program ETABS dengan input *selfweight* pada program.

• Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan dalam perencanaan bangunan gedung dan struktur lain harus beban minimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam Tabel 4-1 SNI 1727:2013.

• Beban Gempa

Untuk pembebanan gempa mengacu pada SNI 1726:2012 dengan menggunakan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Tahun 2017 sebagai acuan dalam perhitungan.

• Kombinasi Beban

Menurut SNI 1727:2013 dan SNI 1726:2012 kombinasi beban yang harus diperhitungkan adalah :

- a. 1,4D
- b. 1,4D + 1,6L
- c. $1,2D + L + Q_{Ex}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D) + Q_{Ey}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D)$
- d. $1,2D + L - Q_{Ex}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D) + Q_{Ey}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D)$
- e. $1,2D + L + Q_{Ex}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D) - Q_{Ey}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D)$
- f. $1,2D + L - Q_{Ex}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D) - Q_{Ey}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D)$
- g. $1,2D + L + Q_{Ex}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D) + Q_{Ey}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D)$
- h. $1,2D + L - Q_{Ex}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D) + Q_{Ey}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D)$
- i. $1,2D + L + Q_{Ex}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D) - Q_{Ey}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D)$
- j. $1,2D + L - Q_{Ex}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D) - Q_{Ey}(\Omega_0 + 0,2S_{DS}D)$
- k. $0,9D + L + Q_{Ex}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D) + Q_{Ey}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D)$
- l. $0,9D + L - Q_{Ex}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D) + Q_{Ey}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D)$
- m. $0,9D + L + Q_{Ex}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D) - Q_{Ey}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D)$
- n. $0,9D + L - Q_{Ex}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D) - Q_{Ey}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D)$
- o. $0,9D + L + Q_{Ex}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D) + Q_{Ey}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D)$
- p. $0,9D + L - Q_{Ex}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D) + Q_{Ey}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D)$
- q. $0,9D + L + Q_{Ex}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D) - Q_{Ey}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D)$
- r. $0,9D + L - Q_{Ex}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D) - Q_{Ey}(\Omega_0 - 0,2S_{DS}D)$

Teori Load And Resistance Factor Design (LRFD) Struktur Baja

Desain harus dilakukan sesuai dengan persamaan:

$$R_u \geq \phi R_n \quad \dots\dots\dots 1$$

Keterangan :

ϕ : Faktor Ketahanan

R_n : Kekuatan Nominal

ϕR_n : Kekuatan desain

R_u : Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban LRFD

Faktor reduksi dalam perencanaan struktur berdasarkan *Load and Resistance Factor Design (LRFD)* ditentukan dalam SNI 1729:2015.

• Batang Tarik Baja Profil

Dinyatakan bahwa semua komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor sebesar P_u , harus memenuhi :

$$P_u \leq \phi P_n \quad \dots\dots\dots 2$$

Keterangan :

P_u : gaya aksial terfaktor

P_n : kuat tarik nominal

ϕ : faktor tahanan (0,9)

Kondisi leleh Tarik pada penampang bruto

$$P_n = A_g \cdot f_y \quad \dots\dots\dots 3$$

Keterangan :

P_n : kuat tarik normal

A_g : luas penampang bruto (mm²)

f_y : tegangan leleh (Mpa)

Kondisi keruntuhan tarik pada penampang netto

$$P_n = A_e \cdot f_u \quad \dots\dots\dots 4$$

Keterangan :

P_n : kuat tarik normal

f_u : tegangan tarik putus (Mpa)

Luas Netto Efektif

$$A_e = A_n U \quad \dots\dots\dots 5$$

Keterangan :

A : luas penampang (mm²)

U : faktor reduksi $(1 - (x/L)) \leq 0,90$

x : eksentrisitas sambungan,

L : panjang sambungan dalam arah gaya Tarik

• Batang Tekan Baja Profil

Kekuatan tekan desain, $\phi_c P_n$, dan kekuatan tekan tersedia, P_n/Ω_c , ditentukan sebagai berikut :

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus nilai terendah yang diperoleh berdasarkan pada keadaan batas dari tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk torsi-lentur.

$$\phi_c = 0,90$$

• Panjang Efektif

Faktor panjang efektif, K , untuk perhitungan kelangsingan komponen struktur, KL/r .

Keterangan :

L : panjang tanpa dibreising lateral dari komponen struktur, in. (mm)

r : radius girasi, in. (mm)

Untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif KL/r , sebaiknya tidak melebihi 200.

Tahan Tekan Nominal

Komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor P_u , menurut SNI 1729:2015, Pasal E1 harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$P_u \leq \phi_c \cdot P_n \quad \dots\dots\dots 6$$

Keterangan :

ϕ : faktor reduksi kekuatan ($\phi = 0,85$)

P_u : beban terfaktor

P_n : kuat tekan nominal komponen struktur, Daya dukung nominal P_n struktur tekan dihitung sebagai berikut :

$$P_n = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} \quad \dots\dots\dots 7$$

Dengan besarnya ω ditentukan oleh τ_c , yaitu :

a. Untuk $\tau_c < 0,25$ maka $\omega = 1$

b. Untuk $0,25 < \tau_c < 1,2$ maka $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \tau_c}$

c. Untuk $\tau_c < 1,2$ maka $\omega = 1,25 \tau_c^2$

$$f_{cr} = \left(\frac{f_{cry} + f_{crz}}{2H} \right) \times 1 \sqrt{1 - \frac{4 \cdot f_{cry} \cdot f_{crz} \cdot H}{(f_{cry} + f_{crz})^2}}$$

$$f_{crz} = \left(\frac{GJ}{A \cdot r_0^2} \right)$$

$$r_0^2 = \frac{I_x + I_y}{A} + x_0^2 + y_0^2$$

$$H = 1 - \frac{t_1^2 + t_2^2}{r_0^2}$$

Keterangan :

- x_0, y_0 merupakan koordinat pusat geser terhadap titik berat, $x_0 = 0$ untuk siku ganda dan profil T.

$$f_{crz} = \frac{f_y}{w_{iy}}$$

- G adalah modulus geser, $G = \left(\frac{E}{2(1+\nu)} \right)$

- J adalah konstanta puntir, $J = \sum \frac{1}{3} b \cdot t^3$

Baja Profil WF (Wide Flange)

Kontrol Tekuk Torsi – Lateral

(SNI 1729:2015, Pasal F2, hal 51)

Pembatasan panjang L_p dan L_r ditentukan sebagai berikut :

$$L_p = 1,76r \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = 1,95 r t_s \frac{E}{0,7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o}} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E} \right)^2}$$

Komponen Struktur Menahan Tekanan Aksial

(SNI 1729:2015,table B4.1a, Hal. 17-18)

$$\text{Sayap } \lambda = b/t \leq 0,64 \sqrt{\frac{K_c E}{F_y}}$$

$$\text{Badan } \lambda = h/t_w \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Kekuatan tekan desain ditentukan dari (SNI 1729:2015,hal 35)

$$P_c = \phi_c \cdot P_n$$

Keterangan :

P_c = kekuatan tekan desain

ϕ_c = koefisien tekan = 0,90

P_c = Kekuatan tekan nominal ($F_{cr} \cdot A_g$)

F_{cr} = tegangan kritis

A_g = luas penampang

Komponen Struktur Menahan Tekanan Lentur

(SNI 1729:2015,table B4.1b)

Kompak ($\lambda < \lambda_p$)

$$\text{Sayap } \lambda = b/t \leq \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\text{Badan } \lambda = \frac{h}{t_w} \leq \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Kekuatan tekan desain ditentukan dari (SNI 1729:2015,hal 47)

$$M_b = \phi_b \cdot M_n$$

Keterangan :

M_b = kekuatan tekan desain

ϕ_b = koefisien tekan = 0,90

M_n = kekuatan tekan nominal

Kontrol desain komponen struktur untuk kombinasi lentur dan tekan

(SNI 1729:2015,hal 79)

Bila $\frac{P_r}{P_c} \leq 0,2$ menggunakan persamaan

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0$$

Bila $\frac{P_r}{P_c} \leq 0,2$ menggunakan persamaan

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0$$

Keterangan :

P_r = Kekuatan aksial perlu, N

M_r = kekuatan lentur perlu, Nmm

X = Sumbu kuat lentur

Y = Sumbu lemah lentur

Faktor Panjang Tekuk (Kc)

Faktor panjang tekuk kolom ujung-ujung ideal disajikan dalam tabel dibawah ini :

Tabel 2. Nilai Kc untuk kolom dengan ujung-ujung yang ideal

Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai K _c teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Nilai k _c yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0,65	0,8	1,2	1,0	2,1	2,0
Kode ujung	Jepit	Jepit	Jepit	Jepit	Rol tanpa putaran sudut	Rol tanpa putaran sudut
	Sendi	Sendi	Sendi	Sendi	Ujung Bebas	Ujung Bebas

Sistem rangka batang (truss) adalah struktur yang terbentuk dari elemen – elemen batang lurus, dimana sambungan antar ujung – ujung batang diasumsikan sendi sempurna. Struktur seperti ini dapat dipandang sebagai struktur pada gambar, dimana nilai Kc adalah 1.

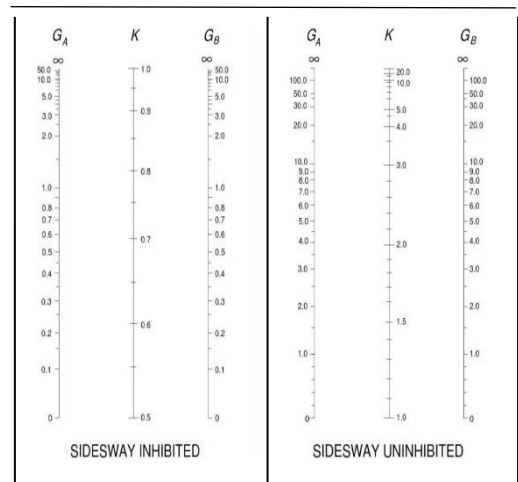
Untuk kolom berujung sendi, panjang ekivalen ujung sendi KL merupakan panjang L sebenarnya; dengan demikian K = L. Panjang efektif kolom (Lk) didapat dengan mengalihkan suatu faktor panjang efektif (k) dengan panjang kolom (L), nilai “k” didapat dari nomograf (AISC, LRFD; Manual Of Steel Counstruction, Column Design 3-6), dengan menghitung nilai G, yaitu :

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_{kolom}}{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_{balok}}$$

Keterangan :

I : Momen kelembaman kolom/balok (cm⁴)

L : Panjang kolom/balok (cm)



Gambar 1. Nomograf panjang tekuk kolom

Perencanaan Sambungan Baut

Kontrol jarak antar baut :

- Jarak baut ke tepi (S1)
Jarak Tepi Minimum SNI 1729:2015, Tabel J3.4, Hal.127
- Jarak antar baut (S2)
Jarak antara pusat – pusat standar, ukuran berlebih, atau lubang – lubang slot tidak boleh kurang dari 2 2/3 kali diameter nominal, d, dari pengencang, jarak 3d yang lebih umum.
(Sumber : SNI 1729:2015, Pasal J3 p129)

Kuat nominal terhadap tarik dan geser :

(SNI 1729:2015, Pasal J3, Hal. 129)

$$Rn = fn \cdot Ab$$

Keterangan :

Rn : Kuat tarik nominal
 $\emptyset$: Faktor reduksi tarik (0,75)
 Fn : Tegangan tarik nominal, fnt , atau tegangan geser, fnv (MPa)
 Ab : Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir (mm²)

Kuat nominal tumpu pada lubang – lubang baut :

(SNI 1729:2015, Hal.132)

$$Rn = 1,2 \cdot lc \cdot tp \cdot fu \leq 2,4 \cdot d \cdot tp \cdot fu$$

Keterangan :

Rn = Kuat tumpu nominal
 $\emptyset$ = Faktor reduksi tumpu (0,75)
 fu = Kuat tarik putus terendah dari baut atau plat (MPa)
 tp = Tebal plat (mm)
 d = Diameter baut nominal (mm)
 lc = Jarak bersih, dalam arah gaya, antara tepi lubang dan tepi lubang yang berdekatan atau tepi dari baut atau plat (mm)

Kuat nominal terhadap tarik dan geser :

(SNI 1729:2015, Pasal J3, Hal. 129)

$$Rn = fn \cdot Ab$$

Keterangan :

Rn : Kuat tarik nominal
 $\emptyset$: Faktor reduksi tarik (0,75)
 Fn : Tegangan tarik nominal, fnt , atau tegangan geser, fnv (MPa)
 Ab : Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir (mm²)

Menentukan Jumlah Baut :

$$n = \frac{Ru}{\emptyset \cdot Rn}$$

Keterangan :

n = Jumlah baut
 Rn = Tahanan nominal baut
 Ru = Beban terfaktor

Kombinasi terhadap tarik dan geser :

$$Rn = f'nt \cdot Ab$$

(SNI 1729:2015, Pasal J3, Hal.129)

$$f'nt = 1,3 \cdot fnt - \frac{fnt}{\emptyset \cdot fnv} frv \leq fnt$$

(SNI 1729:2015, Pasal J3, Hal.130)

Keterangan :

Ab : Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir (mm²)
 $f'nt$: Tegangan tarik nominal yang dimodifikasi mencakup efek tegangan geser (MPa)
 $\emptyset$: Faktor reduksi (0,75)
 fnt : Tegangan tarik nominal (MPa)
 fnv : Tegangan geser (MPa)
 frv : Tegangan geser yang diperlukan menggunakan kombinasi beban DFBK (MPa)

Kontrol terhadap momen :

(SNI 1729:2015, Pasal J3, Hal.129)

$$\emptyset \cdot Mn = \frac{0,9 \cdot fy \cdot a^2 \cdot b}{2} + \sum_{i=1}^n T \cdot di$$

$$a = \frac{0,75 \cdot fu^b \cdot nb \cdot n \cdot Ab}{fy \cdot b}$$

$$\sum_{i=1}^n T \cdot di = 0,75 \cdot fu^b \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot Ab \cdot (di \text{ terjauh})$$

Keterangan :

n_1 : Jumlah kolom baut
 n_2 : Jumlah baris baut
 Ab : Luas penampang baut
 b : Lebar balok
 a : Tinggi penampang tekan
 fu^b : Kuat tarik nominal baut
 fy : Tegangan leleh

Perencanaan Sambungan Las

Kontrol sambungan las

(SNI 1729:2015)

$$Ru \leq \emptyset Rnw$$

Keterangan :

Ru : Beban terfaktor las
 Rnw : Tahanan nominal per satuan panjang las
 $\emptyset$: Faktor reduksi (0,75)

Tegangan nominal dari logam las :

$$fnw = 0,60 F_{exx} (1 + 0,50 \sin^{1,5} \emptyset)$$

Keterangan :

F_{exx} : kekuatan klasifikasi logam pengisi (MPa)
 $\emptyset$: sudut pembebanan yang diukur dari sumbu longitudinal las, derajat

Tahanan nominal Las :

$$\emptyset Rnw = \emptyset \cdot te \cdot 0,6 fuw$$

Keterangan :

$\emptyset$: Faktor reduksi (0,75)
 te : Tebal efektif las (0,707a) dengan a = tebal las sudut
 fuw : Mutu las

Throat Efektif untuk las sudut :

$$T_e = 0.707 \cdot a$$

Keterangan :

T_e : tebal efektif (mm)
 a : ukuran minimum las sudut (mm)

Panjang Las maksimum :

$$L_w = 2 \cdot (b_b - t_w)$$

Keterangan :

L_w : Panjang maksimum las
 t_w : Tebal badan(web) profil baja
 b_b : Lebar plat ujung

Kekuatan yang diberikan oleh sambungan las

$$\phi M_n = \phi M_p$$

Keterangan :

M_n : Momen nominal
 M_p : Momen plastis
 ϕ : Faktor reduksi (0,9)

$$T_u \text{ maks} = \frac{\phi \cdot M_n}{h_b - t_{fb}}$$

Keterangan :

M_n : Momen nominal
 h_b : Tinggi plat ujung
 t_{fb} : Tebal plat ujung
 ϕ : Faktor reduksi (0,9)

$$T_u \text{ maks} > L_w \cdot \phi \cdot R_{nw}$$

Keterangan :

L_w : Panjang maksimum las
 $T_u \text{ maks}$: Gaya tarik terbesar

Plat Landasan (Base Plate)

Luas Bidang Base Plate

Desain luas plat dasar harus lebih besar dari luas baja yang ada.

$$P_u \leq \phi \cdot P_p$$

$$P_u \leq \phi \cdot (0.85 \cdot f'_c \cdot A)$$

Keterangan :

P_p : Kekuatan penampang profil
 P_u : Beban ultimate
 f'_c : Kuat tekan beton
 A : Luas penampang base plate

Dimensi Base Plate

$$\Delta = \frac{0.95 \cdot d - 0.80 \cdot bf}{2}$$

$$N = \sqrt{A} + \Delta$$

$$B = \frac{A}{N}$$

Keterangan :

Δ : Jarak antara ujung terluar baja dengan tepi base plate
 N : Tinggi base plate
 B : Lebar base plate
 d : Tinggi profil baja
 bf : Lebar profil baja
 A : Luas penampang base plate

Tebal Base Plate

$$m = \frac{(N - 0.95 \cdot d)}{2}$$

$$n = \frac{(B - 0.8 \cdot bf)}{2}$$

$$\text{Maka : } tp = (m \text{ atau } n) \sqrt{\frac{2 \cdot P_u}{0.9 \cdot f_y \cdot B \cdot N}}$$

Keterangan :

tp : Tebal base plate
 B : Lebar base plate
 N : Tinggi base plate
 f_y : Tegangan leleh baja
 bf : Lebar profil baja

Perhitungan Angkur

$$f_p = \frac{P_u}{A} \pm \frac{M_u}{W}$$

3. METODE PENELITIAN

Data – Data Perencanaan

Data perencanaan Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang Atas Gedung Giant Mall Sukun, Malang :

Data Struktur

Lokasi Gedung : Jalan Semarang No. 5 Malang
Fungsi Bangunan : Gedung Kuliah
Jumlah Lantai : 8 Lantai
Panjang Bangunan : 70 meter
Lebar Bangunan : 28 meter
Tinggi Bangunan : 37,750 meter
Struktur Bangunan : Portal baja

Data Material

Profil baja struktur : WF (Wide Flange)
Jenis profil baja : BJ 52
Tegangan leleh profil (f_y) : 360 MPa
Tegangan putus profil (f_u) : 520 MPa
Modulus Elastisitas Baja (E_s) : 200000 MPa
Modulus Geser Baja (G) : 80000 MPa
Mutu Beton (f'_c) : 30 MPa
Modulus Elastisitas Beton (E_c) : 25742,96 MPa

4. PEMBAHASAN

Perhitungan Pembebanan Beban Hidup Terdistribusi Bangunan

Tabel 3. Beban Hidup Terdistribusi Bangunan

Ruang Kantor	2, 4 kN/m ²
Atap datar, terhubung, lengkung	0,96 kN/m ²
Loteng yang dapat didiami	1,96 kN/m ²
Ruang Kuliah (kelas)	1,92 kN/m ²
Ruang Penyimpanan	7,18 kN/m ²
Perpustakaan	2,87 kN/m ²
Koridor	4,79 kN/m ²
Tanggan dan Bordes	4,79 kN/m ²
Ruang Makan	4,79 kN/m ²
Ruang Mesin Elevator	0,13 kN/m ²
Balkon	4,79 kN/m ²
Laboratorium	2,87 kN/m ²

Ruang Arsip dan Komputer	4,79 kN/m ²
Gym	4,79 kN/m ²
Lobby	4,79 kN/m ²
Panggung Pertemuan	4,79 kN/m ²
Lantai Podium	7,18 kN/m ²

Beban Gempa

Beban gempa dalam skripsi ini dihitung dengan metode analisis static ekuivalen berdasarkan SNI 1726:2012. Adapun dari Analisa beban gempa, parameter – parameter yang diperoleh adalah sebagai berikut :

- Kategori resiko bangunan
- Factor keutamaan gempa (I_e) : 1,5
- Klasifikasi Situs : SD
- Respon spectra percepatan
 - Periode pendek (S_s) : 0,77
 - Periode 1 dtk (S_1) : 0,34
- Koefisien situs
 - Periode pendek (F_a) : 1,192
 - Periode 1 dtk (F_v) : 1,720
- Parameter respon percepatan
 - Periode pendek (S_{MS}) : 0,918
 - Periode 1 dtk (S_{M1}) : 0,585
- Parameter percepatan spectral desain
 - Periode pendek (S_{DS}) : 0,612
 - Periode 1 dtk (S_{D1}) : 0,390
- Kategori desain seismik (KDS) : D
- Koefisien R, Cd, dan Ω_0
 - R : 8
 - Cd : 3
 - Ω_0 : 5,5
- Periode Struktur Fundamental (T_a) : 0,7
- Koefisien Respon Gempa (C_s) : 0,075
- Desain Base Shear (V) : 1840,787 Kn

Tabel 4. Gaya Lateral Per Lantai

Lantai	C_{v_x}	C_{v_y}	V_x (kN)	V_y (kN)	F_x (kN)	F_y (kN)
Atap	0,2521	0,2521	1840,787	1840,79	464,102	464,102
Lantai RL	0,2185	0,2185	1840,787	1840,79	402,184	402,184
Lantai 7	0,1540	0,1540	1840,787	1840,79	283,433	283,433
Lantai 6	0,1269	0,1269	1840,787	1840,79	233,543	233,543
Lantai 5	0,1021	0,1021	1840,787	1840,79	187,927	187,927
Lantai 4	0,0785	0,0785	1840,787	1840,79	144,560	144,560
Lantai 3	0,0505	0,0505	1840,787	1840,79	92,906	92,906
Lantai 2	0,0161	0,0161	1840,787	1840,79	29,597	29,597
Lantai 1	0,0014	0,0014	1840,787	1840,79	2,535	2,535
TOTAL					1840,787	1840,787

Tabel 5. Kontrol Simpangan EX Batas Layan

Lantai	Ketinggian (mm)	Simpangan (mm)		Δ_s		Batas izin (mm)	Cek
		X	Y	X	Y		
Kuda	2000	32,605	60,684	1,003	2,035	7,5	Ok
RL	5000	31,602	58,649	4,029	9,331	18,75	Ok
7	4000	27,573	49,318	3,060	5,180	15	Ok
6	4000	24,513	44,138	3,528	5,958	15	Ok
5	4000	20,985	38,180	4,031	6,944	15	Ok
4	4000	16,954	31,236	4,223	7,510	15	Ok
3	4000	12,731	23,726	4,637	7,944	15	Ok
2	4000	8,094	15,783	6,427	12,452	15	Ok
1	5500	1,667	3,331	1,667	3,331	20,625	Ok
Basement	3500	0,000	0,000	0,000	0,000	13,125	Ok

Tabel 6. Kontrol Simpangan EY Batas Layan

Lantai	Ketinggian (mm)	Simpangan (mm)		Δ_s		Batas izin (mm)	Cek
		X	Y	X	Y		
Atap	1750	32,605	60,684	1,003	2,035	6,5625	Ok
RL	2000	31,602	58,649	4,029	9,331	7,5	Ok
7	5000	27,573	49,318	3,060	5,180	18,75	Ok
6	4000	24,513	44,138	3,528	5,958	15	Ok
5	4000	20,985	38,180	4,031	6,944	15	Ok
4	4000	16,954	31,236	4,223	7,510	15	Ok
3	4000	12,731	23,726	4,637	7,944	15	Ok
2	4000	8,094	15,783	6,427	12,452	15	Ok
1	5500	1,667	3,331	1,667	3,331	20,625	Ok
Basement	3500	0,000	0,000	0,000	0,000	13,125	Ok

Tabel 7. Kontrol Simpangan EX Batas Ultimate

Lantai	Ketinggian (mm)	Simpangan X	Simpangan antar tingkat	Faktor Pengali	$\Delta_s \times \xi$	Batas izin (mm)	Cek
Atap	1750	32,605	1,003	5,600	5,616	35	Ok
RL	2000	31,602	4,029	5,600	22,562	40	Ok
7	5000	27,573	3,060	5,600	17,136	100	Ok
6	4000	24,513	3,528	5,600	19,755	80	Ok
5	4000	20,985	4,031	5,600	22,576	80	Ok
4	4000	16,954	4,223	5,600	23,647	80	Ok
3	4000	12,731	4,637	5,600	25,967	80	Ok
2	4000	8,094	6,427	5,600	35,99	80	Ok
1	5500	1,667	1,667	5,600	9,336	110	Ok
Basement	3500	0,000	0,000	0,000	0,000	13,125	Ok

Tabel 8. Kontrol Simpangan EY Batas Ultimate

Lantai	Ketinggian (mm)	Simpangan Y	Simpangan antar tingkat	Faktor Pengali	$\Delta_s \times \xi$	Batas izin (mm)	Cek
Atap	1750	60,684	2,035	5,600	11,397	35	Ok
RL	2000	58,649	9,331	5,600	35,252	40	Ok
7	5000	49,318	5,180	5,600	29,009	100	Ok
6	4000	44,138	5,958	5,600	33,364	80	Ok
5	4000	38,180	6,944	5,600	38,886	80	Ok
4	4000	31,236	7,510	5,600	42,056	80	Ok
3	4000	23,726	7,944	5,600	44,485	80	Ok
2	4000	15,783	12,452	5,600	79,827	80	Ok
1	5500	3,331	3,331	5,600	18,654	110	Ok
Basement	3500	0,000	0,000	0,000	0,000	13,125	Ok

Perencanaan Balok Komposit

Direncanakan dimensi balok :

Balok Induk : WF 450.200.9.14

Balok Anak 1 : WF 350.175.7.11

Balok Anak 2 : WF 200.150.6.9

Hasil Kontrol Stabilitas Penampang pada Web dan Flange

Tabel 9. Kontrol Stabilitas pada Flange

Elemen	λ_{pf}	λ_f	Ket.
Balok Induk	8,96	7,143	Kompak
Balok Anak 1	8,96	7,955	Kompak
Balok Anak 2	8,96	8,33	Kompak

Tabel 10. Kontrol Stabilitas pada Web

Elemen	λ_{pw}	λ_w	Ket.
Balok Induk	88,6	42,889	Kompak
Balok Anak 1	88,6	42,86	Kompak
Balok Anak 2	88,6	27,667	Kompak

Tabel 11. Kontrol Kuat Lentur Balok (Momen Positif)

Elemen	M_u/ϕ (Nmm)	M_p (Nmm)	Ket
Balok Induk	974878949,6	195694600	OK
Balok Anak 1	557903494,9	100580200	OK
Balok Anak 2	246813235,7	18859600	OK

Tabel 12. Kontrol Kuat Lentur Balok (Momen Negatif)

Elemen	M_u/ϕ (Nmm)	M_p (Nmm)	Ket.
Balok Induk	558669177	195694600	OK
Balok Anak	305182378,6	100580200	OK
Balok Anak	117179490,6	18859600	OK

Tabel 13. Kontrol Kuat Geser Balok

Elemen	ϕV_n (N)	V_u (N)	Ket.
Balok Induk	675345,6	288234,8	OK
Balok Anak 1	408240	200218,5	OK
Balok Anak 2	193622,4	123872,1	OK

Tabel 14. Kontrol Lendutan Balok Komposit

Elemen	Δ (mm)	Δ_{izin} (mm)	Ket.
Balok Induk	5,879	22,22	OK
Balok Anak 1	10,535	22,22	OK
Balok Anak 2	4,069	14,86	OK

Tabel 15. Jumlah Stud pada Balok Komposit

Elemen	Stud
Balok Induk	42 $\Phi 22$
Balok Anak 1	40 $\Phi 19$
Balok Anak 2	24 $\Phi 19$

Perencanaan Kolom Encase

Direncanakan Kolom Encase dengan dimensi 800 mm x 500 mm menggunakan Profil WF 600.300.12.20. Adapun kontrol – kontrol yang ada pada kolom encase ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 16. Kontrol pada Kolom Encase

Kontrol	Nilai	Ket
Geser	$\phi_c V_n \geq V_e$ 1213056 N $\geq$ 295276,1 N	OK
Tekan	$\phi_c \geq P_u$ 3725848,3 N $\geq$ 2527159 N	OK
Lentur Penampangan	$\phi_c \geq M_u$ 1396116000 Nmm $\geq$ 1241487060 Nmm	OK
Tekuk Lateral	$\phi_c \geq M_u$ 2542204620 Nmm $\geq$ 1241487060 Nmm	OK

Interaksi Gaya Aksial dan Lentur	$\frac{P_u}{P_n} + \frac{8}{9} \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{\phi_b M_n + \phi_b M_{ny}} \leq 1$ $0,828 \leq 1$	OK
----------------------------------	--	----

Perencanaan Sambungan

1. Sambungan Balok – Balok

Data Sambungan Balok – Balok :

- Plat siku penyambung 80.80.8
- Mutu plat siku BJ 52
fyp : 360 MPa
fup : 520 MPa
- Mutu baut A325
fub : 620 MPa
fnv : 372 MPa
- Diameter baut : 22,225 mm

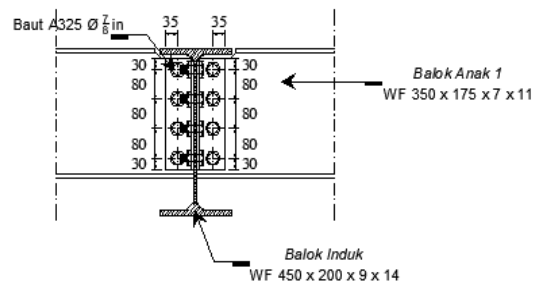
Dari hasil perencanaan, didapat hasil kontrol sambungan balok – balok sebagai berikut :

Tabel 17. Kontrol Geser Sambungan Balok

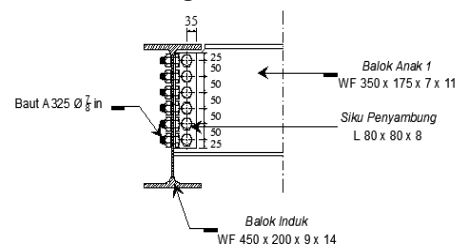
Sambungan	V_{ub} (N)	ϕR_{nv} (N)
Anak 1 – Induk Kondisi 1	50054,626	216365,192
Anak 1 – Induk Kondisi 2	33369,751	108182,596
Anak 1 – Anak 2	30968,038	108182,596

Tabel 18. Kontrol Tumpu Sambungan Balok

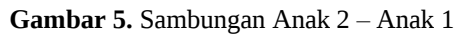
Sambungan	V_n (N)	ϕR_n (N)
Anak 1 – Induk Kondisi 1	1126,088	145618,2
Anak 1 – Induk Kondisi 2	1126,088	166420,8
Anak 1 – Anak 2	696,694	124815,6



Gambar 3. Sambungan Anak 1 – Induk Kondisi 1



Gambar 4. Sambungan Anak 1 – Induk Kondisi 2



Data Sambungan Balok – Balok :

- Dari hasil perencanaan, didapat hasil kontrol sambungan balok induk–kolom sebagai berikut :

Vub	<	ϕR_{nv}
72058,688 N	<	1088182,596 N

Pu	<	φPn
288234,753 N	<	588946,41 N

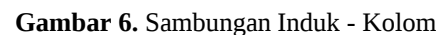
Dari perhitungan didapat dimensi plat penyanggung 10 mm x 300 mm

- ### Kontrol Plat Penyambung Pada Badan Kolom ke *Flange* Balok

Dari perhitungan didapat dimensi plat penyambung 30 mm x 300 mm

- Kontrol Kuat Tekan Plat Penyambung

ϕ Pn	>	Puf
3036754,925 N	>	1379430,07 N

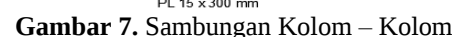


Data Sambungan Kolom – Kolom :

- Dari hasil perencanaan, didapat hasil kontrol sambungan kolom –kolom sebagai berikut :

Dari perhitungan didapat dimensi plat penyambung 15 mm x 300 mm pada *flange* kolom dan plat penyambung 15 mm x 200 mm pada *web* kolom, dengan kontrol :

- Kontrol Baut pada Sumbu Global X-X
 $\phi R_{nv} > V_{ub}$
 $265803,48 \text{ N} > 1448,538 \text{ N}$
- Kontrol Baut pada Sumbu Global Y-Y
 $\phi R_{nv} > F_{max}$
 $265803,48 \text{ N} > 204075,016 \text{ N}$



Perencanaan Base Plate

Data Sambungan Base Plate :

- Mutu plat sambungan BJ 52
fyp : 360 MPa
fup : 520 MPa
- Mutu baut A325
fub : 620 MPa
fnv : 372 MPa
- Diameter baut : 22,225 mm
- Diameter angkur : 19,05 mm
- Las : Elektrode E7024
F_{EXX} : 510 MPa

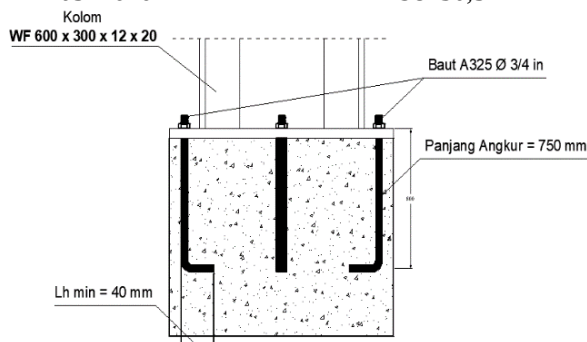
Dari perhitungan, didapat data base plate sebagai berikut :

- Lebar base plate : 700 mm
- Panjang base plate : 1000 mm
- Tebal base plate : 30 mm
- Jumlah angkur tiap sisi : 3 buah
- Panjang angkur : 750 mm
- Lh min (sisi bengkok angkur) : 40 mm

Adapun kontrol angkur terhadap gaya yang bekerja adalah :

$$\phi P_n > P_u$$

$$10574626 \text{ N} > 1198730,5 \text{ N}$$



Gambar 8. Penampang Base Plate

5. PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan struktur baja pada pembangunan Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang menggunakan metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD), dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dimensi profil baja yang dibutuhkan untuk balok induk komposit menggunakan WF 450.200.9.14, balok anak 1 komposit menggunakan WF 350.175.7.11, dan balok anak 2 komposit menggunakan WF 200.150.6.9.
2. Dimensi kolom komposit yang dibutuhkan adalah kolom 1 dengan dimensi 800 mm x 500 dengan profil baja yang digunakan adalah WF 600.300.12.20, serta kolom 2 dengan dimensi 650 mm x 400 mm dengan profil baja yang digunakan adalah WF 450.200.9.14.
3. Dari hasil analisa pada sambungan, maka digunakan sambungan las maupun sambungan baut dengan rincian sebagai berikut :

Mutu baut = A325
Kuat Tarik baut (f_{ub}) = 620 MPa
Tegangan geser baut (f_{nv}) = 372 MPa
Mutu las yang digunakan = E7014
F_{EXX} = 482 MPa

• Sambungan balok induk – balok anak

Digunakan plat siku penyambung dengan dimensi 80 x 80 x 8

Kondisi 1 :

Diameter baut (d_b) = 22,225 mm
Jumlah baut (1 sisi) = 4 baut
Jarak baut ke tepi (S1) = 30 mm
Jarak antar baut (S) = 80 mm

Kondisi 2 :

Diameter baut (d_b) = 22,225 mm
Jumlah baut (1 sisi) = 6 baut
Jarak baut ke tepi (S1) = 25 mm
Jarak antar baut (S) = 50 mm

• Sambungan balok anak 1 – balok anak 2

Digunakan plat siku penyambung dengan dimensi 80 x 80 x 8

Diameter baut (d_b) = 22,225 mm
Jumlah baut (1 sisi) = 4 baut
Jarak baut ke tepi (S1) = 30 mm
Jarak antar baut (S) = 50 mm

• Sambungan balok induk – kolom

Sambungan badan balok pada kolom dengan rincian :

Plat penyambung = 10 mm x 300 mm
Diameter baut (d_b) = 22,225 mm
Jumlah baut (1 sisi) = 4 baut
Jarak baut ke tepi (S1) = 30 mm
Jarak antar baut (S) = 80 mm
Mutu las = E7014
Tebal las rencana (a) = 6 mm

Sambungan flens balok pada kolom dengan rincian :

Plat penyambung = 30 mm x 300 mm
Diameter baut (d_b) = 22,225 mm
Jumlah baut (1 sisi) = 4 baut
Jarak baut ke tepi (S1) = 50 mm
Jarak antar baut (S) = 100 mm
Mutu las = E7014
Tebal las rencana (a) = 10 mm

• Sambungan kolom - kolom

Sambungan antar flens kolom dengan rincian sebagai berikut :

Mutu Baut = A490
Plat penyambung = 15 mm x 300 mm
Diameter baut (d_b) = 22,225 mm
Jumlah baut = 8 baut
Jarak baut ke tepi (S1) = 60 mm
Jarak antar baut (S) = 180 mm

Sambungan web kolom dengan rincian sebagai berikut :

Plat penyambung = 15mmx200mm
Diameter baut (d_b) = 22,225 mm
Jumlah baut = 8 baut

- Jarak baut ke tepi (S1) = 60 mm
Jarak antar baut (S) = 100 mm
4. Base plate dengan rincian sebagai berikut :
Dimensi base plate = 1000 mm x 700 mm
Ketebalan base plate = 30 mm
Jumlah angkur yang = 9 buah
Diameter angkur = 19,05 mm
Jumlah baut (1 sisi) = 3 baut
Panjang angkur = 750 mm

Saran

Berdasarkan hasil perencanaan yang dilakukan pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang diatas, maka penulis memberikan saran :

1. Perencanaan struktur portal baja komposit dapat dianalisis dalam berbagai program bantu seperti ETABS, SAP2000, Staadpro, dll. Namun dalam perencanaannya tetap perlu memperhatikan peraturan – peraturan yang ada, hemat biaya, dan efisiensi dalam pengerjaannya.
2. Dalam merencanakan sambungan harus dihitung perencanaan struktur komposit harus memperhitungkan aspek dari kemudahan dalam pelaksanaan, jangan sampai perencanaan tersebut tidak bias dilaksanakan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, Setiawan. 2013. *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD edisi kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Anonim (1987), *Pembebanan Struktur Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung*.
- Anonim (2002), *SNI 03–1729–2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim (2012), *SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim (2013), *SNI 1727:2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim (2015), *SNI 1729:2015 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*, Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim (2017), *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017*.
- C. G. Salmon, Johnson, J. E. 1995. *Struktur Baja 1, Desain dan Perilaku edisi ketiga*. Jakarta: PT. Gramedia Pusat Utama.
- Dewobroto, Wiryanto. 2010. *Struktur Baja Perilaku, Analisis, & Desain – AISC 2010 edisi kedua*.
- Moestopo, Muslinang. 2014. *Shortcourse HAKI*.