

BAB II

PERANCANGAN STRUKTUR

2.1 Metode Perancangan

2.1.1 Metode Rancang Bangun

Rancang dan Bangun (*Design and Build*) merupakan sebuah sistem penyelenggaraan yang dilakukan pada pengadaan pekerjaan konstruksi, yang telah diperkenalkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) pada tahun 2015. Rancang dan Bangun adalah seluruh pekerjaan yang berhubungan dengan pembangunan suatu bangunan, dengan penyedia sebagai penanggung jawab perancangan maupun pelaksanaan konstruksi. Oleh karena itu, pengguna jasa hanya menyiapkan *basic design*.

2.1.2 Studi Kasus

Dalam melakukan perancangan sebuah konstruksi, perlu dilakukan studi kasus agar perancang dapat mengetahui secara mendalam mengenai bangunan yang akan dirancang. Selain itu, studi kasus perlu dilakukan agar perancang dapat menganalisis kebutuhan yang diperlukan dalam proses perancangan tersebut. Dalam Tugas Akhir Perancangan Infrastruktur, studi kasus dilakukan agar mahasiswa dapat melakukan penyelidikan pada gambar desain yang diberikan dari arsitek.

2.2 Data Perancangan Struktur

2.2.1 Data Umum Bangunan

Data umum dari *Co-Working Space* dengan pendekatan *Healthy Building* adalah sebagai berikut:

Nama bangunan : *Co-Working Space* dengan pendekatan *Healthy Building*
Lokasi : Jl. Kledokan, Babarsari, Yogyakarta

2.2.2 Data Perencanaan

1. Data Bangunan

Jenis Bangunan : Gedung Pertemuan
Lokasi : Jl. Kledokan, Babarsari, Yogyakarta
Jumlah lantai : 2
Panjang Bangunan : 36

Lebar Bangunan	: 36 m
Tinggi Bangunan	: 8 m
Tinggi Antar Lantai	: 4 m
2. Data Bahan	
Mutu Baja (F_y)	: 420 MPa
Mutu Beton (f'_c)	: 4 ksi
Modulus Elastisitas Baja (E_s)	: 200000 kg/cm ²
Modulus Geser Baja (G)	: 77200 MPa
3. Beban Mati	
Beban Fabrikasi Tangga	: 150 psf
4. Beban Hidup	
Beban Pekerja	: 1 kN/m ²
5. Beban Gempa	
Kategori Resiko	: II
Kelas Situs	: SE (Tanah Lunak)

2.3 Preliminary Design

Preliminary Design merupakan tahapan awal yang dilakukan untuk menentukan dimensi penampang profil yang diperlukan elemen struktur sesuai dengan persyaratan yang berlaku. Setelah perancangan awal selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah dilakukan analisis persyaratan dan keamanan struktur. Berikut perancangan awal pada gedung *Co-Working Space* dengan pendekatan *Healthy Building*:

2.3.1 Pelat Lantai

Pelat lantai direncanakan menggunakan pelat komposit, dengan *metal deck* dengan spesifikasi gauge 20, dengan total tebal pelat 6 in. *Metal deck* dapat berfungsi sebagai bekisting dan penulangan positif. *Metal deck* dihubungkan dengan baut ruing. Berdasarkan SNI 1729:2020 Bab I tentang Desain Komponen Struktur Komposit, Kekuatan lentur tersedia pada komposit yang terdiri dari slab beton di atas dek baja bergelombang yang disambungkan ke balok baja harus ditentukan melalui bagian yang sesuai pada pasal I3.2a dan I3.2b, dengan persyaratan berikut:

1. Tinggi rusuk nominal tidak lebih besar dari 3 in. (75 mm). Lebar rata-rata rusuk atau hauns beton, w_r , harus tidak kurang dari 2 in. (50 mm), tetapi tidak boleh diambil dalam perhitungan sebagai lebih dari lebar bersih minimum di dekat bagian paling atas dek baja.
2. Slab beton harus disambungkan ke balok baja dengan angkur baja stad berkepala yang dilas baik melalui dek tersebut atau langsung ke penampang melintang baja. Angkur baja stad berkepala, setelah instalasi, harus diperpanjang tidak kurang dari $1\frac{1}{2}$ in. (38 mm) di atas bagian paling atas dek baja dan harus ada paling sedikit $\frac{1}{2}$ in. (13 mm) selimut beton terspesifikasi di atas bagian paling atas angkur baja stad berkepala.
3. Tebal slab di atas dek baja tidak boleh kurang dari 2 in. (50 mm).
4. Dek baja harus diangkur ke semua komponen struktur pendukung pada spasi tidak melebihi 18 in. (460 mm). Angkur yang demikian harus diberikan dengan angkur baja stad berkepala, kombinasi dari angkur baja stad berkepala dan las *arc spot (puddle)*, atau perangkat lain yang terspesifikasi dalam dokumen kontrak.

Kemudian, apabila rusuk dek diorientasikan tegak lurus balok baja, maka beton di bawah bagian atas dek baja harus diabaikan dalam penentuan properti penampang properti penampang komposit dan dalam perhitungan A_c untuk rusuk dek yang diorientasikan tegak lurus balok baja.

2.3.2 Balok

Profil yang digunakan pada balok struktur baja *Co-Working Space* dengan pendekatan *Healthy Building* adalah profil berpenampang IWF dengan mutu baja A36. Terdapat dua jenis balok yang digunakan, yaitu balok komposit dan non-komposit. Balok komposit merupakan balok yang menggabungkan dua jenis material yaitu baja dan beton. Pada pelat lantai, digunakan *steel deck* yang dipasang tegak lurus pada balok lantai, kemudian disambungkan dengan menggunakan *shear studs*. Sedangkan, pada balok lantai digunakan balok non-komposit.

2.3.3 Kolom

Profil yang digunakan pada kolom *Co-Working Space* dengan pendekatan *Healthy Building* adalah profil dengan penampang IWF dengan mutu baja A36. Selain

profil IWF, digunakan profil *King Cross* (KC) dengan pertimbangan bahwa profil tersebut dapat menahan beban yang lebih besar.

2.4 Pembebanan Struktur

2.4.1 **Beban Gravitasi**

1. Beban Atap

Beban gording profil kanal C $150 \times 65 \times 20 \times 3,2$ = 7,51 kg/m

Berat atap metal zinalume = 4,5 kg/m²

Berat plafon = 5,1 kg/m²

Berat insulasi atap = 1 kg/m²

2. Beban Balok

Beban plat lantai dan dek = 55 psf

Berat sendiri balok = 10 psf

Berat lain-lain = 10 psf

3. Beban Kolom

a. Beban atap yang bekerja pada kolom

Beban Mati = 20 psf

Beban Hidup = 20 psf

Beban Air Hujan = 5 psf

b. Beban lantai yang bekerja pada kolom

Beban Mati = 75 psf

Beban Mati akibat *wall system* = 20 psf

Beban Hidup = 80 psf

4. Beban Tangga

Beban Mati = 150 psf

Beban Hidup = 100 psf

2.4.2 **Beban Gempa**

Beban gempa rencana dapat ditinjau berdasarkan evaluasi struktur bangunan gedung dan non-gedung, serta fasilitas yang berada di dalamnya. Hal tersebut dapat didapatkan berdasarkan SNI 1726:2019 yang berisi mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.

Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung dapat dilihat pada Tabel 3 SNI 1726:2019.

Tabel 2. 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat pemberlanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

Lanjutan Tabel 2.1

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(SNI 1726:2019, Tabel 3)

Berdasarkan pasal 4.1.2 SNI 1726:2019, pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e .

Tabel 2. 2 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(SNI 1726:2019, Tabel 4)

Struktur harus memiliki kategori desain seismik mengikuti pasal 6.5 SNI 1726:2019. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek dan periode 1 detik.

Tabel 2. 3 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(SNI 1726:2019, Tabel 8)

Tabel 2. 4 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{D1} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{D1} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{D1}$	D	D

(SNI 1726:2019, Tabel 9)

Untuk menahan gaya seismik pada masing-masing arah kedua sumbu *orthogonal* struktur, dapat digunakan sistem pemikul gaya seismik yang berbeda. Apabila sistem yang berbeda digunakan masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus diterapkan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat pada tabel berikut.

Tabel 2. 5 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	$4\frac{1}{2}$	3	4	TB	TB	10^k	TI^k	TI^k

Lanjutan Tabel 2.5

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10

(SNI 1726:2019, Tabel 12)

Berikut merupakan perhitungan beban gempa:

Kategori Seismik: II (Gedung Perkantoran), berdasarkan ASCE/SEI 7, Tabel 1.5-1

Faktor keutamaan (I_e): 1

Kelas situs: SE (Tanah Lunak)

$$S_s = 1,2013$$

$$S_1 = 0,5249$$

$$F_a = 0,9389$$

$$F_v = 2$$

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 0,9389 \times 1,2013 \\ &= 1,1279 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_1 \\ &= 2 \times 0,5249 \\ &= 1,1286 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1,1279 \\ &= 0,7519 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 1,1286 \\ &= 0,7524 \end{aligned}$$

Kemudian, menentukan kategori desain seismik, berdasarkan SNI 1726:2019, Tabel 8 dan 9, sehingga diperoleh kategori desain seismik (KDS) D.

2.4.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan pada perencanaan struktur adalah sebagai berikut:

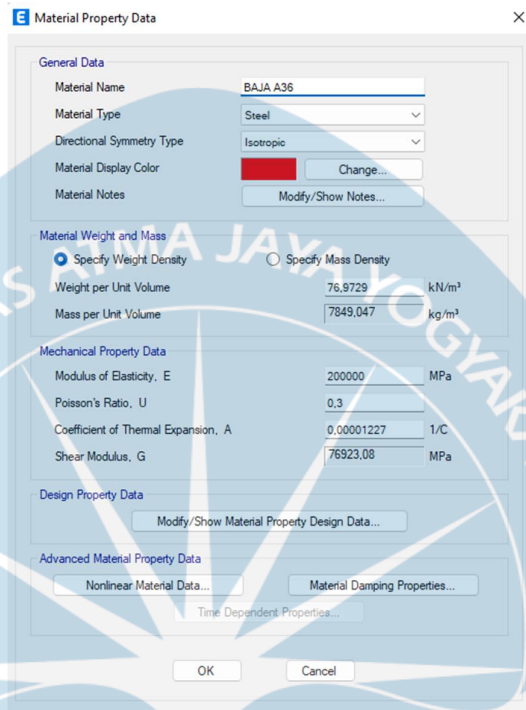
1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r atau R)
3. 1,2 D + 1,6 L (L_r atau R) + (L atau 0,5 W)
4. 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r atau R)
5. 0,9 D + 1,0 W
6. 1,2 D + E_v + E_h + L
7. 0,9 D - E_v + E_h

Namun, apabila pengaruh beban seismik dengan kuat lebih yang ditinjau E_m = f(E_v, E_{mh}) dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik untuk struktur yang harus digunakan adalah:

6. 1,2 D + E_v + E_{mh} + L
7. 0,9 D - E_v + E_{mh}

2.4.4 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan dengan memasukkan beban-beban yang bekerja dengan bantuan *software* ETABS, beban yang dimasukkan meliputi beban mati, beban hidup, dan beban seismik.



The image shows a screenshot of the 'Material Property Data' dialog box in ETABS software, configured for 'BAJA A36'. The dialog is divided into several sections:

- General Data:** Material Name is 'BAJA A36', Material Type is 'Steel', Directional Symmetry Type is 'Isotropic', and Material Display Color is red.
- Material Weight and Mass:** 'Specify Weight Density' is selected. Weight per Unit Volume is 76.9729 kN/m³ and Mass per Unit Volume is 7849.047 kg/m³.
- Mechanical Property Data:** Modulus of Elasticity, E is 200000 MPa; Poisson's Ratio, U is 0.3; Coefficient of Thermal Expansion, A is 0.00001227 1/C; Shear Modulus, G is 76923.08 MPa.
- Design Property Data:** A button to 'Modify/Show Material Property Design Data...' is present.
- Advanced Material Property Data:** Buttons for 'Nonlinear Material Data...', 'Material Damping Properties...', and 'Time Dependent Properties...' are visible.

At the bottom of the dialog are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Gambar 2. 1 *Material Property Data* Baja A36

Material Property Data

General Data

Material Name: Beton 5000Psi
 Material Type: Concrete
 Directional Symmetry Type: Isotropic
 Material Display Color: [Color Picker] Change...
 Material Notes: [Text Area] Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density
 Weight per Unit Volume: 23.5631 kN/m³
 Mass per Unit Volume: 2402.77 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 24855.58 MPa
 Poisson's Ratio, U: 0.2
 Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C
 Shear Modulus, G: 10356.49 MPa

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...
 Time Dependent Properties...

Modulus of Rupture for Cracked Deflections

Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)
 User Specified

OK Cancel

Gambar 2. 2 *Material Property Beton*

Material Property Data

General Data

Material Name: Metal Deck
 Material Type: Aluminum
 Directional Symmetry Type: Isotropic
 Material Display Color: [Color Picker] Change...
 Material Notes: [Text Area] Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density
 Weight per Unit Volume: 26.6018 kN/m³
 Mass per Unit Volume: 2714.472 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 69637.05 MPa
 Poisson's Ratio, U: 0.33
 Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.00002358 1/C
 Shear Modulus, G: 26179.34 MPa

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...
 Time Dependent Properties...

OK Cancel

Gambar 2. 3 *Material Property Metal Deck*

E Frame Section Property Data

General Data

Property Name: W16X36

Material: BAJA A36

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: AISC15 Convert To User Defined

Section Dimensions

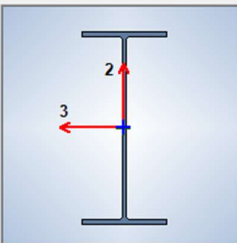
Total Depth	403,9	mm
Top Flange Width	177,5	mm
Top Flange Thickness	10,9	mm
Web Thickness	7,5	mm
Bottom Flange Width	177,5	mm
Bottom Flange Thickness	10,9	mm
Fillet Radius	10,2	mm

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK Cancel


Gambar 2. 4 *Frame Section Property* Profil W16×36

E Frame Section Property Data

General Data

Property Name: W10X22

Material: BAJA A36

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

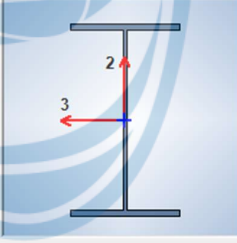
Total Depth	258	mm
Top Flange Width	146	mm
Top Flange Thickness	9,1	mm
Web Thickness	6,1	mm
Bottom Flange Width	146	mm
Bottom Flange Thickness	9,1	mm
Fillet Radius	0	mm

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK Cancel


Gambar 2. 5 *Frame Section Property* Profil W10×22

E Frame Section Property Data

General Data

Property Name: W10X54

Material: BAJA A36

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: AISC15 Convert To User Defined

Section Dimensions

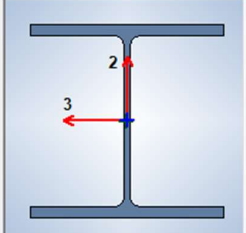
Total Depth	256.5	mm
Top Flange Width	254	mm
Top Flange Thickness	15.6	mm
Web Thickness	9.4	mm
Bottom Flange Width	254	mm
Bottom Flange Thickness	15.6	mm
Fillet Radius	12.8	mm

Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK
Cancel


Gambar 2. 6 *Frame Section Property* Profil W10×54

E Frame Section Property Data

General Data

Property Name: W12X72

Material: BAJA A36

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel I/Wide Flange

Section Property Source

Source: AISC15 Convert To User Defined

Section Dimensions

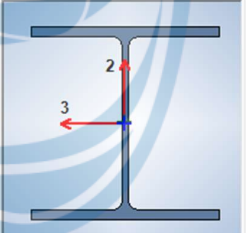
Total Depth	312.4	mm
Top Flange Width	304.8	mm
Top Flange Thickness	17	mm
Web Thickness	10.9	mm
Bottom Flange Width	304.8	mm
Bottom Flange Thickness	17	mm
Fillet Radius	15.2	mm

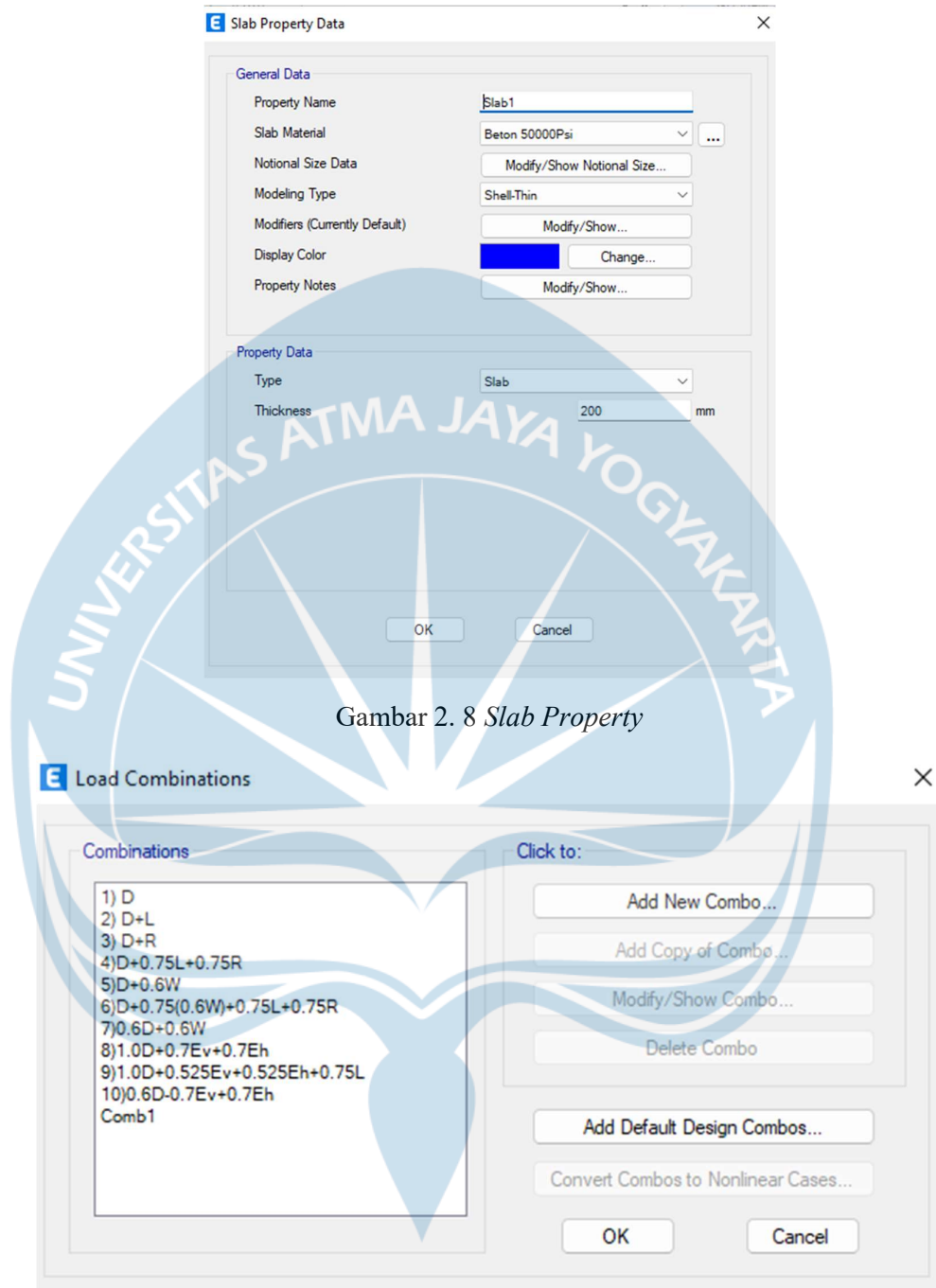
Show Section Properties...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

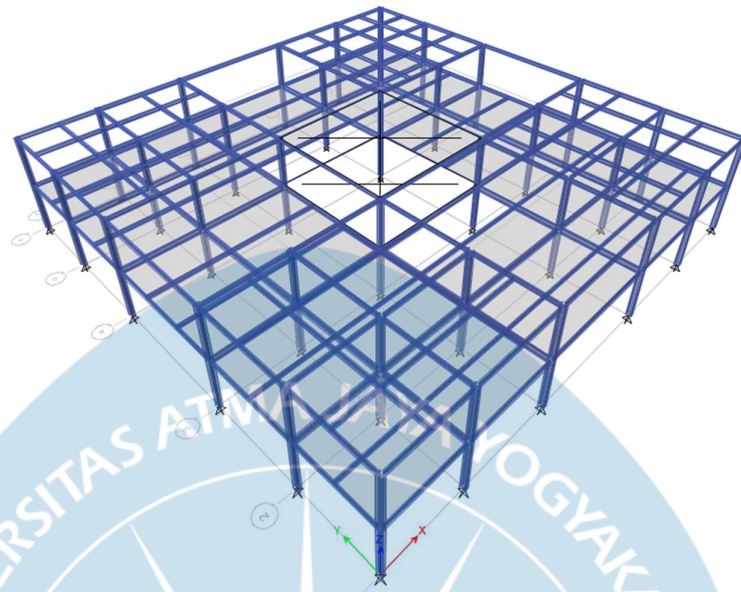
OK
Cancel


Gambar 2. 7 *Frame Section Property* W12×72



Gambar 2. 8 Slab Property

Gambar 2. 9 Load Combinations



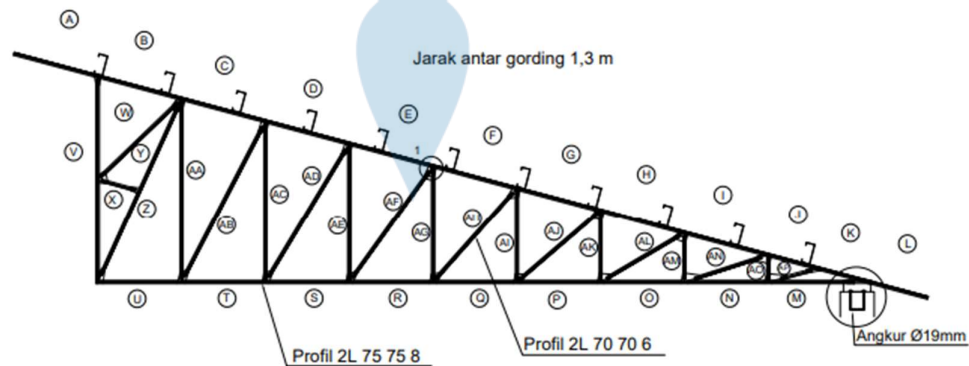
Gambar 2. 10 Pemodelan Struktur 3D

2.5 Perancangan Struktur

Perancangan struktur pada *Co-Working Space* dengan pendekatan *Healthy Building* meliputi perancangan struktur atap, balok, kolom, dan tangga.

2.5.1 Perancangan Struktur Atap

Pada struktur atap *Co-Working Space* dengan pendekatan *Healthy Building* digunakan 3 rangka yang terdiri dari satu rangka primer dan dua rangka sekunder



Gambar 2. 11 Kuda-Kuda Atap Rangka 1

Berat gording	= 7,51 kg/m
Berat penutup atap	= 4,5 kg/m ²
Berat profil	= 18,05 kg/m ²

$$\begin{aligned}\text{Berat plafon} &= 5,1 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat insulasi atap} &= 1 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat profil rangka 3} &= 10 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

Beban P1

$$\begin{aligned}\text{Beban atap} &= \frac{3}{\cos(15^\circ)} \times 10 \times \frac{4,5}{100} = 1,4 \text{ kN} \\ \text{Beban kuda-kuda} &= \frac{2}{2} \times \frac{18,05+1}{100} = 0,28 \text{ kN} \\ \text{Beban plafon} &= 2 \times \frac{5,1+1}{100} = 0,18 \text{ kN} \\ \text{Beban P1} &= 1,86 \text{ kN}\end{aligned}$$

Beban P2

$$\begin{aligned}\text{Beban atap} &= \frac{2}{\cos(15^\circ)} \times 10 \times \frac{4,5}{100} = 0,93 \text{ kN} \\ \text{Beban kuda-kuda} &= 2 \times \frac{18,05+10}{100} = 0,56 \text{ kN} \\ \text{Beban plafon} &= 2 \times 10 \times \frac{5,1+1}{100} = 1,22 \text{ kN} \\ \text{Beban P2} &= 2,71 \text{ kN}\end{aligned}$$

Beban P3

$$\begin{aligned}\text{Beban atap} &= \frac{2}{\cos(15^\circ)} \times 10 \times \frac{4,5}{100} = 0,93 \text{ kN} \\ \text{Beban kuda-kuda} &= 2 \times \frac{18,05+}{100} = 0,56 \text{ kN} \\ \text{Beban plafon} &= 2 \times 10 \times \frac{5,1+1}{100} = 1,22 \text{ kN} \\ \text{Beban P3} &= 2,71 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\text{Beban Hidup (LL)} = 1 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Gording (beban merata)} = 0,04 \text{ N/mm}$$

Perhitungan gaya batang dilakukan dengan menggunakan bantuan program *SAP2000 V.22*.

Perhitungan Profil Kuda-Kuda

Pada batang kuda-kuda digunakan profil double siku dengan ukuran 2L75×75×8 untuk batang eksterior, dan profil 2L70×70×6 untuk batang interior.

Syarat yang digunakan berdasarkan SNI 1729-2020

1. Perencanaan batang tekan profil 2L75×75×8

a. Pemeriksaan kelangsingan penampang

$$L = 1242,3213 \text{ mm}$$

$$\text{Gaya tekan maksimum} = 103,15 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{75}{8} = 9,375$$

$$\lambda_r = 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,45 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 12,990$$

$\lambda < \lambda_r$, maka penampang tersebut merupakan penampang non-langsing.

b. Pemeriksaan Tekuk Lentur

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{1 \times 1242,3213}{22,6} = 54,97$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,97$$

Karena $\frac{KL}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$, maka digunakan rumus berikut:

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

$$\text{Dengan, } F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{54,97^2} = 653,249 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{240}{653,249} \right] 240 = 205,792 \text{ MPa}$$

c. Pemeriksaan Terhadap Tekuk Lentur Torsi

$$\frac{a}{r} = \frac{1242,3213}{22,6} = 54,97$$

Karena, $\frac{a}{r} > 40$, maka digunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \left(\frac{KL}{r} \right)_m &= \sqrt{\left(\frac{KL}{r} \right)^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i} \right)^2} \\ &= \sqrt{(54,97)^2 + 0,5 \times (54,97)^2} = 67,3242 \end{aligned}$$

$$\left(\frac{KL}{r} \right)_m = 67,3242 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,97$$

$$F_c = \frac{\pi^2 \times 200000}{67,3242^2} = 435,4993 \text{ MPa}$$

$$F_{cry} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

$$F_{cry} = \left[0,658 \frac{240}{435,4993} \right] 240 = 190,5623 \text{ MPa}$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g r_0} = \frac{77200 \times 48469,33}{2300 \times 1992,76} = 816,3972 \text{ MPa}$$

Dimana,

G = modulus geser baja = 77.200 MPa

J = konstanta torsi = $2 \times \frac{(71+71) \times 8^3}{3} = 48469,33 \text{ mm}^4$

$$r_0 = \frac{(I_{xg} + I_{yg})}{A_g} + X_0^2 + Y_0^2 = \frac{(1178000 + 27)}{2300} + 0^2 + 17,4^2$$

$$= 1992,76 \text{ mm}^2$$

$$F_{cr} = \left(\frac{190,5623 + 816,3972}{2 \times 0,84807} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 190,5623 \times 816,3972 \times 0,84807}{(190,5623 + 816,3972)^2}} \right]$$

$$= 182,5724 \text{ MPa}$$

F_{cr} yang digunakan yaitu 182,5724 MPa, dengan

$$H = 1 - \frac{X_0^2 + Y_0^2}{r_0} = 1 - \frac{0^2 + 17,4^2}{1992,76} = 0,84807$$

d. Kekuatan tekan design

$$\begin{aligned} \phi_c P_n &= 0,9 \times F_{cr} \times A_g \\ &= 0,9 \times 182,5724 \times 2300 \\ &= 377,925 \text{ kN} \end{aligned}$$

$\phi_c P_n > \text{Gaya Tekan Max}$

$\phi_c P_n > 103,15 \text{ kN (aman)}$

2. Perencanaan Batang Tarik profil 2L75×75×8

L = 2000 mm

Gaya Tarik Maksimum = 99712,54 N

a. Perhitungan Kelangsingan Batang Tarik

$$\lambda = \frac{2000}{22,6} = 88,4956 < 300 \text{ (ok!)}$$

b. Pemeriksaan Leleh Tarik Pada Penampang Bruto

$$\begin{aligned}\phi P_n &= F_y \times A_g \\ &= 240 \times 2300 \\ &= 552 \text{ kN} \\ \phi P_n &> 99,71254 \text{ kN (aman)}\end{aligned}$$

3. Perencanaan batang tekan profil 2L70×70×6

a. Pemeriksaan kelangsingan penampang

$$L = 2414,3335 \text{ mm}$$

$$\text{Gaya tekan maksimum} = 32,2398 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{70}{6} = 11,6667$$

$$\lambda_r = 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,45 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 12,990$$

$\lambda < \lambda_r$, maka penampang tersebut merupakan penampang non-langsing.

b. Pemeriksaan Tekuk Lentur

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{1 \times 2414,3335}{21,4} = 112,8193$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,97$$

Karena $\frac{KL}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$, maka digunakan rumus berikut:

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

$$\text{Dengan, } F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{112,8193^2} = 155,0825 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{240}{155,0825} \right] 240 = 125,5753 \text{ MPa}$$

c. Pemeriksaan Terhadap Tekuk Lentur Torsi

$$\frac{a}{r} = \frac{2414,334}{21,4} = 112,8193$$

Karena, $\frac{a}{r} > 40$, maka digunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}\left(\frac{KL}{r}\right)_m &= \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2} \\ &= \sqrt{(112,8193)^2 + 0,5 \times (112,8193)^2} = 138,1749\end{aligned}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = 138,1749 > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,97$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{138,1749^2} = 103,3883 \text{ MPa}$$

$$F_{cry} = 0,877 \times F_e$$

$$F_{cry} = 0,877 \times 103,3883 = 90,6716 \text{ MPa}$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g r_0} = \frac{77200 \times 19296}{2300 \times 1992,76} = 816,3972 \text{ MPa}$$

Dimana,

$$G = \text{modulus geser baja} = 77.200 \text{ MPa}$$

$$J = \text{konstanta torsi} = 2 \times \frac{(67+67) \times 6^3}{3} = 19296 \text{ mm}^4$$

$$r_0 = \frac{(I_{xg} + I_{yg})}{A_g} + X_0^2 + Y_0^2 = \frac{(742000 + 166300)}{1626} + 0^2 + 16,3^2$$

$$= 1744,78 \text{ mm}^2$$

$$F_{cr} = \left(\frac{90,6716 + 525,0775}{2 \times 0,847723} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 90,6716 \times 525,0775 \times 0,847723}{(90,6716 + 525,0775)^2}} \right]$$

$$= 87,97524 \text{ MPa}$$

F_{cr} yang digunakan yaitu 87,97524 MPa, dengan

$$H = 1 - \frac{X_0^2 + Y_0^2}{r_0} = 1 - \frac{0^2 + 16,3^2}{1744,78} = 0,847723$$

d. Kekuatan tekan design

$$\begin{aligned} \phi_c P_n &= 0,9 \times F_{cr} \times A_g \\ &= 0,9 \times 87,97524 \times 1626 \\ &= 128,743 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi_c P_n > \text{Gaya Tekan Max}$$

$$\phi_c P_n > 32,23985 \text{ kN (aman)}$$

4. Perencanaan Batang Tarik profil 2L70×70×6

$$L = 4395 \text{ mm}$$

$$\text{Gaya Tarik Maksimum} = 25,921 \text{ kN}$$

a. Perhitungan Kelangsingan Batang Tarik

$$\lambda = \frac{4395}{21,4} = 205,3738 < 300 \text{ (ok!)}$$

b. Pemeriksaan Leleh Tarik Pada Penampang Bruto

$$\begin{aligned}\phi P_n &= F_y \times A_g \\ &= 240 \times 1626 \\ &= 390,24 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi P_n > 25,9207 \text{ kN (aman)}$$

Perencanaan Sambungan Baut

1. Perencanaan Baut

$$db = 16 \text{ mm}$$

$$f_{nv} = 372 \text{ (terdapat ulir pada bidang geser)}$$

$$\text{dimensi plat} = 6 \times 150 \text{ mm}$$

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$F_y \text{ baja} = 240 \text{ MPa}$$

$$F_u \text{ baja} = 370 \text{ MPa}$$

2. Pemeriksaan Leleh Tarik

$$A_g = 6 \times 150 = 900 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,9 \times F_y \times A_g \\ &= 0,9 \times 240 \times 900 \\ &= 194,4 \text{ kN}\end{aligned}$$

3. Pemeriksaan Keruntuhan Tarik

$$\begin{aligned}A_n &= 150 - (2 \times (16+2)) \times 6 \\ &= 684 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_n \text{ max} &= 0,85 \times 900 \\ &= 765 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_e = 684 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,75 \times F_u \times A_e \\ &= 0,75 \times 370 \times 684 \\ &= 189,81 \text{ kN}\end{aligned}$$

4. Kekuatan Tumpu Baut

$$\begin{aligned}R_n &= 2,4 \times db \times t \times F_u \\ &= 2,4 \times 16 \times 6 \times \frac{370}{1000} \\ &= 85,248 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varphi R_n &= 0,75 \times R_n \\
 &= 0,75 \times 85,248 \\
 &= 63,936 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5. Kekuatan Geser Baut

$F_{nv} = 372$ (terdapat ulir pada bidang geser)

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nv} \times A_b \\
 &= 372 \times 201,06 \times 2 \\
 &= 149590,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varphi R_n &= 0,75 \times R_n \\
 &= 0,75 \times 149,590 \\
 &= 112,1926 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6. Perhitungan Jumlah Baut

$$\text{Jumlah baut} = \frac{150}{63,936} = 2,35 \text{ baut}$$

Minimal jumlah baut yang digunakan = 3 buah

7. Jarak antar pusat baut

$$2,667 \times db = 2,667 \times 16 = 42,672 \text{ mm}$$

8. Jarak tepi minimal baut

22 mm

Tabel 2. 6 Rekapitulasi Ukuran Profil Pada Atap

Nama Rangka	Letak	Ukuran Profil	Jumlah Baut yang Digunakan
Rangka 1	Eksterior	2L75×75× 8	3 buah
	Interior	2L70×70×6	3 buah
Rangka 2	Eksterior	2L70×70×6	3 buah
	Interior	2L65×65×8	3 buah
Rangka 3	Eksterior	2L65×65×8	3 buah
	Interior	2L60×60×6	3 buah

2.5.2 Perancangan Balok

Pada perancangan balok lantai, digunakan balok komposit dimana balok tersebut mengandalkan aksi komposit balok terhadap plat lantai yang terjadi akibat adanya penghubung geser. Sedangkan, pada balok atap digunakan balok non-komposit.

Contoh perhitungan balok komposit dengan bentang 10,9252 ft

- Memperkirakan momen inersia

$$W_D = 10,9252 \times \frac{65}{1000} = 0,7101 \text{ kip/ft}$$

$$I_{req} = \frac{0,7101 \times 22,9659^4}{1290 \times 2} = 76,5697 \text{ in}^4$$

- Beban Hidup (LL) Konstruksi

$$W_L = 10,9252 \times \frac{20}{1000} = 0,2185 \text{ kip/ft}$$

- Momen akibat beton basah

$$W_u = 1,4 \times 0,7101 = 0,9942 \text{ kip/ft}$$

$$M_u = \frac{0,9942 \times 22,9659^2}{8} = 65,5462 \text{ kips} - \text{ft}$$

- Momen akibat beton basah dan beban hidup konstruksi

$$W_u = 1,2 \times 0,7101 + 1,6 \times 0,2185 = 1,2018 \text{ kip/ft}$$

$$M_u = \frac{0,2018 \times 22,9659^2}{8} = 79,2317 \text{ kips} - \text{ft (controls)}$$

Mencari ukuran profil dengan $I_x \geq 76,5679 \text{ in}^4$. Pilih profil $W10 \times 22$, dengan $I_x = 118 \text{ in}^4$, inersia melebihi momen inersia yang dibutuhkan.

Berdasarkan AISC Manual Table 6-2, kuat lentur tersedia untuk balok *fully braced* ($L_b = 0$) adalah sebagai berikut:

$$\phi bM_n = 97,5 \text{ kips} - \text{ft} > 79,2317 \text{ kips} - \text{ft} \text{ (OK!)}$$

Memeriksa kemungkinan reduksi beban hidup berdasarkan ASCE/SEI 7, Section 4.7-2.

Berdasarkan ASCE/SEI 7, Table 4.7-1, untuk balok interior:

$$K_{LL} = 2$$

Dengan tributary area:

$$A_T = 10,9252 \times 22,9659 = 250,9071 \text{ ft}^2$$

Sehingga:

$K_{LL}A_T = 2 \times 250,9071 = 501,8141 \text{ ft}^2 > 400 \text{ ft}^2$, beban hidup dapat direduksi.

Beban hidup direduksi:

$$L = L_0 \left(0,25 + \frac{15}{\sqrt{K_{LL}A_T}} \right) = 80 \left(0,25 + \frac{15}{\sqrt{501,8141}} \right) = 73,5685 \text{ psf}$$

Karena beban hidup direduksi lebih besar dari $0,5 \times 80 = 40 \text{ psf}$, maka beban hidup yang digunakan sebesar 73,5685 psf

- Menentukan Gaya dan Momen Rencana

$$W_u = 1,2 \times \frac{75}{1000} \times 10,9252 + 1,6 \times \frac{73,5685}{1000} \times 10,9252 = 2,2593 \text{ kips/ft}$$

$$R_u = 2,2593 \times \frac{10,9252}{2} = 25,9438 \text{ kips}$$

$$M_u = \frac{2,2593 \times 10,9252^2}{8} = 148,9556 \text{ kips} - \text{ft}$$

- Kapasitas Momen Lentur pada Balok Komposit, dengan asumsi $a = 1 \text{ in}$

$$Y_2 = Y_{con} - \frac{a}{2} = 6 - \frac{1}{2} = 5,5 \text{ in}$$

Berdasarkan AISC Manual Table 3-19, untuk profil $W12 \times 22$ dengan $Y_2 = 5,5 \text{ in}$, dan $PNA \text{ location } 7$, dengan $\Sigma Q_n = 81,1 \text{ kips}$, momen lentur tersedia:

$$\phi bM_n = 152 \text{ kips} - \text{ft} > 148,9556 \text{ kips} - \text{ft} \text{ (OK!)}$$

- Menentukan lebar efektif plat beton berdasarkan AISC Specification Section

I3.1a

1. $\frac{1}{8}$ bentang balok diukur dari as balok

$$b = \frac{1}{8} \times 22,9659 \times 2 = 5,7415 \text{ ft (controls)}$$

2. $\frac{1}{2}$ jarak antar balok terdekat

$$b = \frac{1}{2} \times 10,9252 \times 2 = 10,9252 \text{ ft}$$

3. Jarak dari tepi plat lantai

- Menghitung blok tekan

$$a = \frac{\sum Q_n}{0,85 f_c' b}$$

$$a = \frac{81,1}{0,85 \times 4 \times 5,7415 \times 12} = 0,3462 \text{ in} < 1 \text{ in OK!}$$

- Menghitung kuat geser tersedia

$$\phi v V_n = 73,4 \text{ kips} > 25,9348 \text{ kips (OK!)}$$

- Memeriksa defleksi terhadap beban hidup

$$\frac{L}{360} = \frac{22,9659 \times 12}{360} = 0,7655 \text{ in}$$

Berdasarkan AISC Manual Table 3-20, untuk profil $W10 \times 22$, dengan PNA location 7 dan $Y_2 = 5,5$ in, menghasilkan $I_{LB} = 264 \text{ in}^4$, maka:

$$\Delta_{LL} < \delta$$

$$\frac{0,7655 \times 22,9659^4}{1290 \times 264} = 0,6253 \text{ in} < 0,7655 \text{ in OK!}$$

Berdasarkan AISC Design Guide 3, membatasi defleksi akibat beban hidup dengan menggunakan 50% dari beban hidup yang tidak direduksi menjadi $L/360$ dengan nilai maksimum defleksi sebesar 1 in.

$$\Delta = \frac{0,5 \times \frac{80}{1000} \times 10,9252 \times 22,9659^4}{1290 \times 264} = 0,357 \text{ in} < 1 \text{ in (OK!)}$$

Oleh karena itu, defleksi gelagar tepi = $1 - 0,357 = 0,643$ in

Berdasarkan AISC Manual Table 3-21, menggunakan *perpendicular deck*, dengan diameter angkur $\frac{3}{4}$ in, dan $f_c' = 4$ ksi, maka:

$$Q_n = 17,2 \text{ kips/ angkur}$$

$$n = \frac{\sum Q_n}{Q_n} = \frac{81,1}{17,2} = 4,7 \text{ angkur} = 6 \text{ angkur (pada 1 sisi bidang geser)}$$

Oleh karena itu, didapatkan jumlah angkur $2 \times 6 = 12$ buah untuk memenuhi kebutuhan geser

Kegagalan plastis dari angkur dapat dicegah dengan meningkatkan jumlah angkur menjadi $2 \times 12 = 24$ buah, untuk menambah aksi komposit.

- Menghitung batas defleksi balok saat beton basah

$$\Delta DL (wet\ con) = \frac{0,7101 \times 22,9659^4}{1290 \times 118} = 1,2978\ in$$

Camber balok sebesar 80% dari perhitungan defleksi

$$\begin{aligned} \text{Camber} &= 0,8(1,2978) \\ &= 1,038\ in \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi balok setelah cambering} &= 1,2978 - 1 \\ &= 0,2978\ in \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Defleksi maksimal gelagar} &= 1 - 0,2978 \\ &= 0,7\ in \end{aligned}$$

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa profil $W10 \times 22$ aman digunakan untuk balok interior komposit dengan bentang 22,9659 ft.

Tabel 2. 7 Rekapitulasi Balok Pada Struktur Atas

	Balok Induk	Balok Anak	Balok Atap	
			Balok Induk	Balok Anak
Profil yang digunakan	$W16 \times 36$ ($W400 \times 200$)	$W10 \times 22$ ($W300 \times 150$)	$W10 \times 22$ ($W300 \times 150$)	$W10 \times 22$ ($W300 \times 150$)
Jumlah stud yang digunakan	24 buah	32 buah	32 buah	32 buah

2.5.3 Perancangan Kolom

Pada perancangan kolom, digunakan kolom dengan profil IWF. Ketika kolom direksi terdapat simpangan, sehingga ditambahkan beban nosional arah horizontal sebesar 2% dari beban total yang bekerja pada kolom.

Perhitungan beban yang bekerja pada kolom 2A, 2F, 3A, 3F, 4A, 4F, 5A, 5F

Beban Atap:

Beban Mati = 20 psf

Beban Hidup = 20 psf

Beban Hujan = 5 psf

Tributary Area (A_T)

$$= (22,9659 + 0,5)(19,685) = 461,926\ ft^2$$

Berdasarkan ASCE/SEI 7, *Section* 4.8.2, dilakukan reduksi terhadap beban hidup, dengan faktor reduksi R_1 dan R_2 sebagai berikut:

$$A_T = 461,926 \text{ ft}^2 < 600 \text{ ft}^2$$

$$R_1 = 1,2 - 0,001(461,926) \\ = 0,7381$$

Dikarenakan $F \leq 4$, $R_2 = 1$

Berdasarkan ASCE/SEI 7, *Equation* 4.8-1:

$$L_r = L_0 R_1 R_2, \text{ dimana } 12 \leq L_r \leq 20 \\ = 20 \times 0,6 \times 1 \\ = 14,761 \text{ psf} \\ = 0,015 \text{ kips/ft}$$

Tabel 2. 8 Tabel Rekapitulasi Beban Atap Pada Kolom

Kolom	Lebar (ft)	Panjang (ft)	Luas (ft ²)	Dead Load	PD (kips)	Live Load	PL (kips)	Rain Load	PR (kips)
2A,2F,5A,5F	23.466	19.685	461.926	0.02	9.2385	0.02	9.2385	0.015	6.9289
3A,3F,4A,4F	16.904	13.123	221.841	0.02	4.4368	0.02	4.4368	0.012	2.6621
1B,1E,6B,6E	2.961	19.685	58.280	0.02	1.1656	0.02	1.1656	0.020	1.1656
1A,1F,6A,6F	20.185	10.343	208.763	0.02	4.1753	0.02	4.1753	0.020	4.1753
1C,1D,6C,6D	37.730	7.062	266.434	0.02	5.3287	0.02	5.3287	0.017	4.5294
2C,2D,5C,5D	37.730	19.685	742.708	0.02	14.8542	0.02	14.8542	0.012	8.9125
2B,2E,5B,5E	21.325	21.325	454.775	0.02	9.0955	0.02	9.0955	0.012	5.4573
3B,3E,4B,4E	21.325	21.325	454.775	0.02	24.6494	0.02	24.6494	0.012	14.7896
	27.887	27.887	777.693						
	Total		1232.468						
3C,3D,4C,4D	22.966	22.966	527.433	0.02	10.5487	0.02	10.5487	0.014	7.3841

Beban yang bekerja pada lantai:

Beban Mati = 75 psf

$$\text{Beban Mati pada wall system} = \frac{20}{1000} \times 32,8084 = 0,68 \text{ kips/ft}$$

Beban Hidup = 80 psf

Menghitung kemungkinan reduksi beban hidup:

- Kolom 3A, 3F, 4A, 4F

(*Exterior column without cantilever slab*)

$$K_{LL} = 4$$

$$L_0 = 80 \text{ psf}$$

$$n = 2$$

$$A_T = \frac{19,685+22,9659}{2} \times 19,685 = 419,7915 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned}
 L &= L_0 \left(0,25 + \frac{15}{\sqrt{K_{LL} n A_T}} \right) > 0,4L_0 \\
 &= 80 \left(0,25 + \frac{15}{\sqrt{4 \times 2 \times 419,7915}} \right) > 0,4(80) \\
 &= 40,707 \text{ psf} > 32 \text{ psf}
 \end{aligned}$$

Tabel 2. 9 Tabel Rekapitulasi Beban Lantai Pada Kolom

Kolom	Lebar (ft)	Panjang (ft)		Luas (ft ²)	DL (kip/ft)	DL (kip/ft ²)	PD (kips)	LL (kip/ft ²)	PL (kips)
2A,5A, 2F, 5F	23.466	19.685	Floor Loads	461.926		0.075	34.6445	0.041	18.9390
	23.466		Wall System		0.68		15.9568		
	Total							50.6013	
3A,3F, 4A,4F	16.904	13.123	Floor Loads	221.841		0.075	16.6380	0.039	8.6518
	16.904		Wall System		0.68		11.4949		
	Total							28.1329	
1B,6B, 1E, 6E	2.961	19.685	Floor Loads	58.280		0.075	4.3710	0.05	2.9140
	2.961		Wall System		0.68		2.0132		
	Total							6.3842	
1C,1D, 6C, 6D	37.730	7.062	Floor Loads	266.434		0.075	19.9826	0.04	10.6574
	37.730		Wall System		0.68		25.6562		
	Total							45.6387	
1A,6A, 1F, 6F	20.185	10.343	Floor Loads	208.763		0.075	15.6573	0.055	11.4820
	20.185		Wall System		0.68		13.7258		
	Total							29.3831	
2B,2E, 5B, 5E	21.325	21.325	Floor Loads	454.775		0.075	34.1081	0.04	18.1910

Lanjutan Tabel 2.9

Kolom	Lebar (ft)	Panjang (ft)		Luas (ft ²)	DL (kip/ft)	DL (kip/ft ²)	PD (kips)	LL (kip/ft ²)	PL (kips)
2C,2D, 5C, 5D	37.730	19.685	Floor Loads	742.708		0.075	55.7031	0.033	24.5094
3C,4C, 3D, 4D	22.966	22.966	Floor Loads	527.433		0.075	39.5574	0.032	16.8778
	22.966		Wall System		0.68		15.6168		
	Total							55.1743	
3B,4B, 3E, 4E	21.325	21.325	Floor Loads	454.775					
	27.887	27.887	Floor Loads	777.693					
				1,232.468		0.075	92.4351	0.037	45.6013

Tabel 2. 10 Rekapitulasi Beban Kolom

Kolom	Lantai	PD (kips)	PL (kips)	PR (kips)
2A, 5A, 2F, 5F	Roof	9.2385	9.2385	6.9289
	Lt 2	50.6013	18.9390	
		59.8398	28.1775	6.9289
	Beban Nosional	0.1196796099	0.05635500146	0.01385778725
	Total	59.9595	28.2339	6.9428
3A,3F,4A,4F	Roof	4.4368	4.4368	2.6621
	Lt 2	28.1329	8.6518	
		32.5697	13.0886	2.6621
	Beban Nosional	0.06513942187	0.02617718824	0.005324173879
	Total	32.6349	13.1148	2.6674
1B, 6B, 1E, 6E	Roof	1.1656	1.1656	1.1656
	Lt 2	6.3842	2.9140	
		7.5498	4.0796	1.1656
	Beban Nosional	0.01509965709	0.008159200217	0.002331200062
	Total	7.5649	4.0878	1.1679
1C, 1D, 6C, 6D	Roof	5.3287	5.3287	4.5294
	Lt 2	45.6387	10.6574	
		50.9674	15.9861	4.5294
	Beban Nosional	0.1019348266	0.03197210692	0.009058763627
	Total	51.0693	16.0180	4.5384
1A, 6A, 1F, 6F	Roof	4.1753	5.3287	4.1753
	Lt 2	29.3831	11.4820	

Lanjutan Tabel 2.10

Kolom	Lantai	PD (kips)	PL (kips)	PR (kips)
		33.5583	16.8107	4.1753
	Beban Nosional	0.06711663888	0.03362133885	0.0083505345
	Total	33.6254	16.8443	4.1836
2B, 2E, 5B, 5E	Roof	9.0955	9.0955	5.4573
	Lt 2	34.1081	18.1910	
		43.2036	27.2865	5.4573
	Beban Nosional	0.08640721536	0.05457297812	0.01091459562
	Total	43.2900	27.3411	5.4682
3C, 4C, 3D, 4D	Roof	10.5487	10.5487	7.3841
	Lt 2	55.1743	16.8778	
		65.7229	27.4265	7.3841
	Beban Nosional	0.1314458109	0.05485298653	0.01476811176
	Total	65.8544	27.4813	7.3988
3B, 4B, 3E, 4E	Roof	24.6494	24.6494	14.7896
	Lt 2	92.4351	45.6013	
		117.0845	70.2507	14.7896
	Beban Nosional	0.234168911	0.1405013466	0.02957923087
	Total	117.3186	70.3912	14.8192
2C, 2D, 5C, 5D	Roof	14.8542	14.8542	8.9125
	Lt 2	55.7031	24.5094	
		70.5573	39.3635	8.9125
	Beban Nosional	0.1411145504	0.07872706499	0.01782499585
	Total	70.6984	39.4423	8.9303

(Beban nosional ditambahkan sebesar 2% dari total beban yang bekerja)

- Desain Kolom Interior (3B, 3E, 4B, 4E)

$$P_D = 117,3186 \text{ kips}$$

$$P_L = 70,3912 \text{ kips}$$

$$P_R = 14,8192 \text{ kips}$$

$$P_u = 1,2(P_D) + 1,6(P_L) + 0,5(P_R)$$

$$= 1,2(117,3186) + 1,6(70,3912) + 0,5(14,8192)$$

$$= 260,818 \text{ kips}$$

Dipilih profil W12×72

$$\phi P_n = 299 \text{ kips} > 260,818 \text{ kips (OK)}$$

- Desain Kolom Exterior (1C, 1D, 6C, 6D)

$$P_D = 51,0693 \text{ kips}$$

$$P_L = 16,0180 \text{ kips}$$

$$P_R = 4,5384 \text{ kips}$$

$$P_u = 1,2(P_D) + 1,6(P_L) + 0,5(P_R)$$

$$= 1,2(51,0693) + 1,6(16,0180) + 0,5(4,5384)$$

$$= 89,186 \text{ kips}$$

Dipilih profil W10×54

$$\phi P_n = 159 \text{ kips} > 89,186 \text{ kips (OK)}$$

- Desain Kolom *King-Cross* (3C, 4C, 3D, 4D)

$$P_D = 65,8544 \text{ kips}$$

$$P_L = 27,4813 \text{ kips}$$

$$P_R = 7,3988 \text{ kips}$$

$$P_u = 1,2(P_D) + 1,6(P_L) + 0,5(P_R)$$

$$= 1,2(65,8544) + 1,6(27,4813) + 0,5(7,3988)$$

$$= 126,732 \text{ kips}$$

Dipilih profil W10×54

$$\phi P_n = 159 \text{ kips} > 126,732 \text{ kips (OK)}$$

Tabel 2. 11 Rekapitulasi Profil Ukuran Kolom

	Kolom Interior	Kolom Exterior	Kolom <i>King-Cross</i>
Profil yang digunakan	W12 × 72 (W450 × 200)	W10 × 54 (W350 × 175)	KC350 × 175

2.5.4 Perancangan Tangga

Pada perancangan tangga, digunakan tangga *precast* yang menumpu pada balok dengan profil IWF. Pijakan tangga dan balok disambungkan dengan las dan baut.

Berdasarkan kemiringan tangga, dapat dihitung kebutuhan balok penumpu:

$$W_D = 0,37 \text{ kips/ft}$$

$$W_L = 0,58 \text{ kips/ft}$$

Berdasarkan kombinasi 1,4D:

$$W_u = 0,523 \text{ kips/ft}$$

$$M_u = 70,3 \text{ kips-ft}$$

Berdasarkan kombinasi 1,2D+1,6D:

$$W_u = 1,37 \text{ kips/ft}$$

$$M_u = 183,86 \text{ kips-ft (controls)}$$

Dipilih profil W12×35, dengan kapasitas momen lentur tersedia:

$$\Phi_b M_n = 192 \text{ kips-ft} > M_u = 183,86 \text{ kips-ft (OK)}$$

2.5.5 Perancangan Sambungan

Sambungan merupakan salah satu peran penting pada bangunan struktur baja selain elemen-elemen kolom, balok dan atap. Sambungan merupakan komponen struktur yang menunjang dan menyalurkan beban dari suatu komponen menuju komponen lainnya, seperti beban hidup pada lantai yang diterima oleh balok, lalu disalurkan menuju kolom dengan bantuan sambungan. Jenis sambungan umumnya ada dua pada bangunan baja, sambungan baut dan sambungan las. Sambungan yang digunakan pada struktur ini adalah sambungan las dan sambungan baut. Sambungan las yang digunakan adalah las dengan mutu E70XX, sedangkan sambungan baut yang digunakan adalah baut mutu A325. Berikut merupakan contoh perhitungan kebutuhan sambungan berdasarkan AISC 360-16 dan SNI 1729:2020, yang dihitung dengan metode LRFD.

- Sambungan Las Balok Anak menuju Balok Induk pada Pelat Lantai

Data yang digunakan:

$$\text{Pelat baja A36} = 260\text{mm} \times 150\text{mm}$$

$$\text{Bahan las E70XX} = 70 \text{ kips} = 483 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal pelat} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Ketebalan las minimum} = 6 \text{ mm (Tabel J2.4 SNI 1729-2020)}$$

Tabel 2. 12 Ukuran minimum las fillet

Tebal Material Bagian yang Lebih Tipis yang disambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las fillet, in. (mm)
Sampai dengan $\frac{1}{4}$ (6)	$\frac{1}{8}$ (3)
Lebih besar dari $\frac{1}{4}$ (6) sampai dengan $\frac{1}{2}$ (13)	$\frac{3}{16}$ (5)
Lebih besar dari $\frac{1}{2}$ (13) sampai dengan $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{1}{4}$ (6)
Lebih besar dari $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{5}{16}$ (8)

(SNI 1729:2020)

Kekuatan desain las (ΦR_n):

$$\Phi R_n = 0.75(F_{nw} \times A_{we})$$

$$= 0.75(0.707 \times w \times F_{nw})$$

$$= 0.75(0.707 \times 6 \times 483 \times 0,6)$$

$$= 921,9987 \text{ N/mm}$$

Kekuatan elemen terhadap leleh geser:

$$\begin{aligned} R_n &= 1,0 \times F_y \times t_p \\ &= 1,0 \times 0,6 \times 250 \times 12 \\ &= 1800 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Kekuatan elemen terhadap keruntuhan geser:

$$\begin{aligned} R_n &= 0,75 \times F_u \times t_p \\ &= 1,0 \times 0,6 \times 400 \times 12 \\ &= 2160 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Beban yang bekerja pada balok = 76,2 kN (pada 1 sisi)

$$\text{Kebutuhan panjang las (pada 1 sisi)} = \frac{76,2 \times 1000}{921,9987} = 82,6465 \text{ mm}$$

Tabel 2. 13 Rekapitulasi sambungan las pada komponen struktur atas

Komponen struktur	Beban yang bekerja (kN)	Panjang sambungan las (pada 2 sisi) (mm)
Balok anak menuju balok induk (pada pelat lantai)	76,2	166
Balok induk menuju kolom eksterior	50,8	110
Balok atap menuju balok atap	31,5	35
Balok induk menuju kolom interior	415,54	452

- Sambungan Baut Pada Balok Anak Menuju Balok Induk

Data yang digunakan:

Mutu Baut = A325

Diameter Baut = 19 mm

Kekuatan Geser Nominal (F_{nv}) = 372 MPa (terdapat ulir pada bidang geser)

Tebal pelat = 8 mm

Mutu balok dan pelat = A36

Balok Anak = W10×22

t_w = 0,24 in

d = 10,2 in

t_f = 0,36 in

Balok Induk = W16×36

$$t_w = 0,295 \text{ in}$$

Kekuatan yang dibutuhkan (R_u)

$$\begin{aligned} R_u &= 1,2(7,65)+1,6(4,85) \\ &= 16,94 \text{ kips} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 10-10a, *AISC Construction Manual* didapatkan kekuatan tersedia (ϕR_n) untuk 6 buah baut:

$$\phi R_n = 89,1 \text{ kips} > 16,94 \text{ kips}$$

Berdasarkan Tabel 9-3a; Tabel 9-3b; dan Tabel 9-3c *AISC Construction Manual*, diperoleh nilai kerusakan akibat tekan, kekuatan leleh geser, dan kerusakan geser pada komponen:

$$\frac{\phi F_u A_{nt}}{t} = 78,8 \text{ kips/in}$$

$$\frac{\phi 0,60 F_y A_{gv}}{t} = 267 \text{ kips/in}$$

$$\frac{\phi 0,60 F_u A_{nv}}{t} = 260 \text{ kips/in}$$

Didapatkan nilai kekuatan blok geser sebesar:

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi 0,60 F_u A_{nv} + \phi U_{bs} F_u A_{nt} \leq \phi 0,60 F_y A_{gv} + \phi U_{bs} F_y A_{gv} \\ &= (260+78,8)(0,3) \leq (267+78,8)(0,3) \\ &= 101,64 \text{ kips} \leq 103,74 \text{ kips} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\phi R_n = 101,64 \text{ kips} > 16,94 \text{ kips (OK)}$$

Menghitung kekuatan sambungan baut terhadap badan profil:

Berdasarkan Tabel 7-1 *AISC Construction Manual*, didapatkan kekuatan geser tersedia untuk setiap baut dengan diameter 19 mm:

$$\phi r_n = 17,9 \text{ kips/ baut}$$

Berdasarkan Tabel 7-5 *AISC Construction Manual*, didapatkan kuat tumpu tersedia untuk baut tepi:

$$\begin{aligned} \phi r_n &= 44 (0,3) \\ &= 13,2 \text{ kips/ baut} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 7-4 *AISC Construction Manual*, didapatkan kuat tumpu tersedia untuk baut interior:

$$\begin{aligned} \phi r_n &= 78,3(0,3) \\ &= 23,49 \text{ kips/ baut} \end{aligned}$$

Didapatkan kekuatan baut pada badan profil sebesar:

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 2(13,2)+4(17,9) \\ &= 98 \text{ kips} > 16,94 \text{ kips (OK)}\end{aligned}$$

Menghitung kekuatan sambungan pada pelat:

Berdasarkan Tabel 7-5 *AISC Construction Manual*, didapatkan kuat tumpu tersedia untuk baut tepi:

$$\begin{aligned}\phi r_n &= (44)(0,25) \\ &= 11 \text{ kips/ baut}\end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 7-4 *AISC Construction Manual*, didapatkan kuat tumpu tersedia untuk baut interior:

$$\begin{aligned}\phi r_n &= 78,3(0,25) \\ &= 19,6 \text{ kips/ baut}\end{aligned}$$

Sehingga, didapatkan kekuatan baut pada badan profil sebesar:

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 2(11)+4(17,9) \\ &= 93,6 \text{ kips} > 16,94 \text{ kips (OK)}\end{aligned}$$

Tabel 2. 14 Rekapitulasi Sambungan Baut pada Struktur Atas

Nomor Sambungan	Letak Sambungan	Kebutuhan Baut
1	Sambungan balok anak dengan balok induk	6
2 dan 4	Sambungan balok induk menuju kolom interior	8
3	Sambungan balok induk menuju kolom eksterior	8
9	Sambungan balok atap menuju kolom eksterior	6
5	Sambungan balok atap menuju balok eksterior	6
6 dan 7	Sambungan balok atap menuju kolom interior	6
1	Sambungan tangga menuju lantai	10