

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1 Pembebanan pada Struktur

1.1.1 Beban mati

Berdasarkan peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung tahun 1983, beban mati diatur sebagai berikut:

Berat isi beton	= 2400 kg/m ³
Berat spesi per tebal	= 21 kg/m ²
Berat keramik	= 24 kg/m ²
Berat plafond	= 11 kg/m ²
Berat pasangan bata merah (15 cm)	= 250 kg/m ²
Berat instalasi	= 25 kg/m ²

1.1.2 Beban Hidup

Berdasarkan peraturan SNI 1727 2013 tentang beban minimum untuk perancangan gedung dan struktur lain, beban hidup diatur sebagai berikut :

Ruang kelas	= 200 kg/m ²
Ruang komputer	= 479 kg/m ²
Ruang alat mesin dan gudang	= 400 kg/m ²
Ruang kantor	= 240 kg/m ²
Ruang baca	= 287 kg/m ²
Ruang penyimpanan buku	= 718 kg/m ²
Koridor lantai pertama	= 479 kg/m ²
Koridor diatas lantai pertama	= 383 kg/m ²
Beban pekerja pelat lantai	= 100 kg/m ²

1.1.3 Beban Atap

Desain atap gedung PTIHK ini merupakan rangka baja berbentuk limas. Beban atap yang diterima portal dengan menjabarkan sebagai beban terpusat pada kolom adalah 5748,46 kg.

1.1.4 Beban Gempa

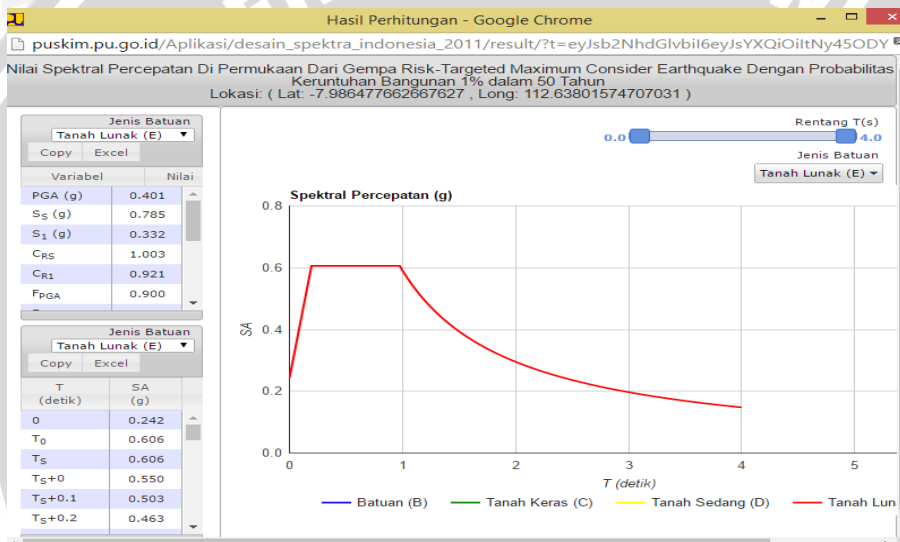
Perhitungan beban gempa menggunakan beban gempa respon spektrum desain dengan menggunakan program yang telah disediakan PU:

http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/ dengan memasukkan data koordinat letak gedung yang akan ditinjau.



Gambar 4.1 Pemetaan lokasi gedung PTIIK

Didapatkan grafik respon spektra sesuai jenis tanah pada lokasi gedung, sebagai berikut:



Gambar 4.2 Respon spektra tanah lunak

Hasil pemetaan spektra didapatkan nilai $S_S = 0,785$ dan $S_1 = 0,332$,

Dimana:

S_S = parameter respons spektral percepatan gempa MCER untuk periode pendek, dan

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCER untuk periode 1 detik

Langkah-langkah penentuan beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012:

a. Selanjutnya, pencarian nilai F_a dan F_v

Dimana : F_a = faktor amplifikasi pada getaran periode pendek

F_v = faktor amplifikasi pada getaran periode 1 detik

Nilai F_a dan F_v didapatkan dari interpolasi parameter-parameter pada tabel dibawah ini dengan mengetahui jenis tanah pada lokasi yaitu tanah lunak (SE).

Tabel 4.1 Parameter respons percepatan gempa (MCE_R) S_s

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Tabel 4.2 Parameter respons percepatan gempa (MCE_R) S_1

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode pendek, $T=1,0$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1	1	1	1	1
SC	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
SD	2.4	2	1.8	1.6	1.5
SE	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
SF	SS ^b				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Dengan interpolasi :

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$$

Sehingga didapatkan nilai $F_a = 1,158$ dan $F_v = 2,672$

b. Perhitungan parameter spektrum untuk periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1})

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \cdot S_s \\ &= 1,158 \cdot 0,785 \\ &= 0,909 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \cdot S_1 \\ &= 2,672 \cdot 0,332 \\ &= 0,8871 \end{aligned}$$

c. Perhitungan parameter spektrum untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1})

$$\begin{aligned} S_{DS} &= 2/3 S_{MS} \\ &= 2/3 \cdot 0,909 \\ &= 0,606 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= 2/3 S_{M1} \\ &= 2/3 \cdot 0,8871 \end{aligned}$$

$$= 0,591$$

d. Perhitungan periode fundamental pendekatan (T_a)

$$\begin{aligned} T_a &= C_1 \cdot h_n^x \\ &= 0,0724 \cdot 65,1^{0,8} \\ &= 2,045 \end{aligned}$$

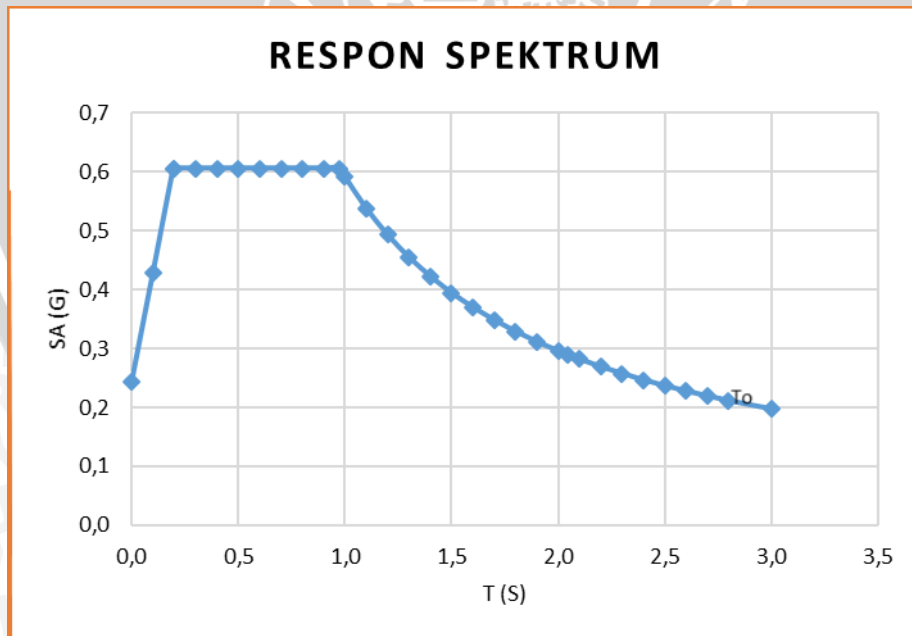
e. Penggambaran kurva respon desain

$$\begin{aligned} T_o &= 0,2 \frac{S_{d1}}{S_{ds}} \\ &= 0,2 \cdot 0,591 / 0,606 \\ &= 0,195 \\ T_s &= \frac{S_{d1}}{S_{ds}} \\ &= 0,591 / 0,606 \\ &= 0,976t \end{aligned}$$

Untuk $T \leq T_o$, maka $S_a = S_{DS} \cdot (0,4 + 0,6 \cdot \frac{T}{T_o})$

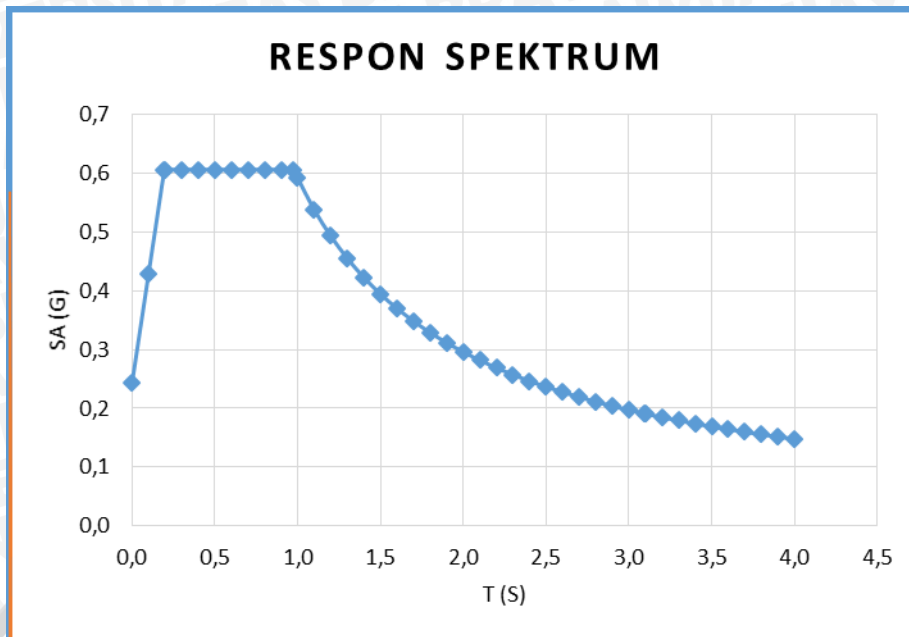
Untuk $T_o \leq T \leq T_s$, maka $S_a = S_{DS}$

Untuk $T \geq T_s$, maka $S_a = S_{D1}/T$



Gambar 4.3 Kurva Respon Spektrum dengan $T_a=2,045$

T_a aktual = 3,091 , maka penggambaran grafik respon spektrum pada keadaan struktur yang sebenarnya.



Gambar 4.4 Kurva Respon Spektrum dengan $T_a=3,091$

f. Penentuan kategori desain seismik

Kategori desain seismik dievaluasi berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek dan periode 1 detik yaitu nilai S_{DS} dan S_{D1} .

Tabel 4.3 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

Tabel 4.4 Parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Karena nilai $S_{DS} = 0,606$ dan $S_{D1} = 0,591$, maka didapatkan kategori desain seismik D.

g. Penentuan faktor keutamaan gempa (I_e)

Jenis pemanfaatan sebagai gedung sekolah dan fasilitas pendidikan sehingga nilai termasuk kategori risiko = IV (menurut tabel 1 SNI 1726 2012), sedangkan faktor keutamaan gempa, $I_e = 1,5$ (menurut tabel 2 SNI 1726 2012).

h. Penentuan faktor modifikasi respon (R)



Berdasarkan tabel 9 SNI 1726 2012, sistem yang dipakai dalam perencanaan ini merupakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus dengan nilai R adalah 8.

4.1.5 Beban Notional

Dalam analisa stabilitas struktur ini menggunakan *Direct Analysis Method* (DAM). Dimana metode ini memperhitungkan pengaruh cacat bawaan (*initial imperfection*) atau ketidaksempurnaan awal bahan, dengan cara salah satunya penggunaan beban imajinatif (*notional load*). Beban ini di terapkan di semuatitik nodal perlantai.

$$N_i = 0,002 \cdot \alpha \cdot Y_i$$

N_i = beban national di level i

Y_i = beban grafitasi di level i hasil kombinasi LRFD

$\alpha = 1$ (untuk kombinasi LRFD)

Berikut perhitungan beban notional untuk lantai 1 :

a. Beban grafitasi

Beban mati

Spesi	= 21x3x(36x36)	= 81648 kg
Plafond	= 11 x (36x36)	= 14256 kg
Keramik	= 24x1x(36x36)	= 31104 kg
Instalasi	= 25 x (36x36)	= 32400 kg
Dinding (7m)	= 250x7x288	= 504000 kg
Berat strktur (kolom,balok,pelat)		= 567727,18 kg
Pelat tangga		= 23568,228 kg
Sandaran tangga		= 1802 kg
		1256505,408 kg

Beban hidup

Koridor lantai pertama	= 479 x 972	= 465588 kg
R.kantor	= 240 x 129,6	= 31104 kg
R.pertemuan	= 479 x 116,64	= 55870,56 kg
Tangga 1	= 300x ((1,1x4,2)+(4,2x5,5x2))	= 15246 kg
Tangga 2	= 2(300x((1,1x2,4)+(2,4x5,98x2))	= 31723,2 kg
		599531,76 kg
Kombinasi	= 1,2 D + 1,6 L	
	= (1,2. 1256505,408)+(1,6. 599531,76)	
	= 2467057,306 kg	

$$Y_i \text{ arah } x \text{ (tiap join)} = 2467057,306 / 46 = 53631,68 \text{ kg}$$

$$Y_i \text{ arah } y \text{ (tiap join)} = 2467057,306 / 46 = 53631,68 \text{ kg}$$

$$\text{Jadi, } N_i = 0,002.1. 52948,18 = 107,26 \text{ kg (arah } x)$$

$$N_i = 0,002.1. 52948,18 = 107,26 \text{ kg (arah } y)$$

Cara yang sama dilakukan pada level berikutnya.

Tabel 4.5 Nilai beban nasional tiap level

Level	Ni (kg)	
	Arah x (+)	Arah y (+)
1	107,26	107,26
2	81,27	81,27
3	87,39	87,39
4	68,09	68,09
5	73,46	73,46
6	73,46	73,46
7	79,95	79,95
8	78,42	78,42
9	76,79	76,79
10	76,79	76,79
11	81,25	81,25
12	81,84	81,84
13	45,02	45,02
14	34,69	34,69

4.1.6 Koreksi Kekakuan

Pada analisis *Direct analysis method* (DAM) diterapkan penyesuaian keakuan struktur yaitu dengan memberikan faktor reduksi kekakuan dikarenakan terjadinya leleh setempat (*partial yielding*) akibat tegangan sisa sehingga menghasilkan perlemahan saat mendekati kondisi batas kekuatan.

$$EI = 0,8. \tau_b. EI \quad \dots\dots\dots \text{untuk kekakuan aksial}$$

$$EA = 0,8. EA \quad \dots\dots\dots \text{untuk kekakuan lentur, dengan syarat:}$$

a. Jika, $\frac{\alpha P_r}{P_y} \leq 0,5$, maka $\tau_b = 1$

b. Jika, $\frac{\alpha P_r}{P_y} \geq 0,5$, maka $\tau_b = 4 \frac{P_r}{P_y} (1 - \frac{P_r}{P_y})$

Koreksi kekakuan pada kolom K1 sebagai berikut :

$$P_r = 11134622,2 \text{ N}$$

$$P_y = (F_y. A_s) + (F_y. A_{sr}) + (F'c. A_c)$$

$$= (250. 44193,46) + (400. 2030) + (24,9. 416176,54)$$



$$= 22223160,85 \text{ N}$$

$$\alpha = 1 \text{ (DFBK)}$$

$$\frac{\alpha P_r}{P_y} = \frac{11134622,2}{22223160,85} = 0,501 \geq 0,5$$

maka, kondisi b

$$\tau_b = 4 \frac{P_r}{P_y} \left(1 - \frac{P_r}{P_y}\right) = 4 \times 0,501 \cdot (1 - 0,522) = 0,999$$

$$EI = 0,8 \cdot \tau_b \cdot EI$$

$$= 0,8 \cdot 0,999 \cdot EI$$

$$= 0,8 \cdot EI$$

$$EA = 0,8 \cdot EA$$

Selanjutnya dengan cara yang sama didapatkan koreksi kekakuan untuk kolom-kolom yang lain, sebagai berikut:

Kolom	Dimensi	Koreksi kekakuan	
		EI	EA
K1	680x680	0,8	0,8
K3	500x500	0,8	0,8
K4	350x500	0,8	0,8
K5	10x112	0,8	0,8

Tabel 4.6 Koreksi kekakuan

4.1.7 Beban Pada Balok

Data-data:

Tebal pelat lantai = 12 cm

Tebal pelat atap = 12 cm

Tebal spesi = 3 cm

Tebal keramik = 1 cm

Beban hidup tiap level

Beban perbaikan atap = 100 kg/m²

Pembebanan pada balok dibagi menjadi dua:

a. Beban balok sebelum komposit

1. Berat sendiri balok

2. Beban mati pelat lantai

$$\text{Pelat} = 0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

3. Beban hidup pelat lantai

$$\text{Beban perbaikan atap} = 100 \text{ kg/m}^2$$

b. Beban balok setelah komposit

1. Berat sendiri balok

2. Beban mati pelat lantai

$$\text{Pelat} = 0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 3 \times 21 = 63 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Keramik} = 1 \times 24 = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plafond} = 11 \text{ kg/m}$$

$$\text{Instalasi} = 25 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat total} = 123 \text{ kg/m}^2$$

3. Beban dinding (4,5 m) = 250.4,5 = 1125 kg/m

Beban dinding tiap level berbeda tergantung ketinggiannya

4. Beban hidup (beban guna)

$$R.\text{kelas} = 200 \text{ kg/m}^2$$

Beban hidup guna disesuaikan dengan fungsi ruangan.

5. Beban hidup pelat atap

$$\text{Beban atap guna} = 100 \text{ kg/m}^2$$

4.2 Kombinasi Pembebanan

Komponen struktur harus direncanakan sampai mempunyai kekuatan rencana tersedia minimum sama dengan kekuatan perlu. Kuat perlu dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor yang sesuai dengan SNI 1727 2013 untuk desain LRFD atau DFBK.

Beban national (Ni) sebagai syarat *Direct analysis method* (DAM) harus ditambahkan pada setiap kondisi kombinasi pembebanan.

Kombinasi yang diperhitungkan menjadi sebagai berikut:

a. Bila kuat perlu U untuk menahan beban mati D , dan beban hidup L , dan juga beban atap L_r atau beban hujan R , paling tidak harus sama dengan :

$$U = 1,4 D + N1$$

$$U = 1,4 D + N2$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R) + N1$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R) + N2$$

b. Bila ketahanan struktur terhadap beban angin W , maka harus dipertimbangkan dalam perencanaan. Pengaruh kombinasi D , L , dan W yang akan dihitung menentukan nilai U yang terbesar, yaitu:

$$U = 1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L_r \text{ atau } 0,5W) + N1$$

$$U = 1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (Lr \text{ atau } 0,5W)+N2$$

$$U = 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } W)+N1$$

$$U = 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } W)+N2$$

$$U = 0,9D + 1,0W+N1$$

$$U = 0,9D + 1,0W+N2$$

- c. Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa E , maka harus dipertimbangkan dalam perencanaan. Pengaruh kombinasi D , L , dan W yang akan dihitung menentukan nilai U yang terbesar, yaitu

$$U = 1,2D + 1,0E1 + 1,0L+N1$$

$$U = 1,2D + 1,0E2 + 1,0L+N2$$

$$U = 0,9D + 1,0E1+N1$$

$$U = 0,9D + 1,0E2+N2$$

Faktor beban untuk L boleh direduksi $0,5L$ kecuali untuk ruangan garasi, ruangan pertemuan, dan semua ruangan dengan beban hidup L -nya lebih besar daripada 500 kg/m .

4.3 Input Data pada SAP 2000 v17

Analisis kekuatan perlu menggunakan software aplikasi SAP 2000 untuk mempermudah perhitungan rumit seperti iterasi P-Delta. Input data harus di dasarkan pada peraturan-peraturan yang sesuai dan pemodelan struktur semirip mungkin dengan desain.

4.3.1 Define - material

Material yang digunakan meliputi:

- a. Baja (*default*)

$$W = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$E = 200000 \text{ Mpa}$$

$$\text{Poisson} = 0,3$$

$$F_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 375 \text{ Mpa}$$

- b. Beton

$$W = 2400 \text{ kg/m}^3 \text{ (beton bertulang)}$$

$$E = 0,043 \cdot w_c^{1,5} \cdot \sqrt{f'c} = 25228,126 \text{ Mpa}$$

$$\text{Poisson} = 0,2$$

$$f'c = K-300 = 24,9 \text{ Mpa}$$

4.3.2 Define – property

Memuat informasi atau data-data dari elemen struktur tiga dimensi.

Elemen struktur yang digunakan berupa:

a. Balok baja

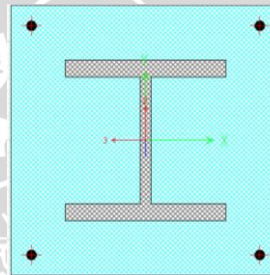
Tabel 4.7 Data-data elemen balok pada analisis SAP

Balok	Dimensi	Set modifiers	Material
B1	14 x 53	Default = 1	Baja
B2	10x45	Default = 1	Baja
B3	18x283	Default = 1	Baja
B4	10x12	Default = 1	Baja

b. Kolom komposit

Untuk kolom komposit perpaduan dua material baja dan beton menjadi satu komponen sehingga perlu membuat material baru pada *Section designer*.

Misal K1 berdimensi total (680x680) digambarkan meliputi profil baja WF 14x23, tulangan longitudinal $\Phi 25$ dan beton normal.



Gambar 4.5 Penggambaran element K1 pada SAP

Koreksi kekakuan dimasukkan dalam setting *Set Modifiers* pada kotak “*Cross-section (axial)area*” untuk nilai reduksi A dan pada kotak “*Moment of Inertia about 2 axis-3 axis*” untuk nilai reduksi I. Sehingga nilai pada E (modulus elastisitas) tanpa direduksi).

Catatan :

1. Reduksi kekakuan digunakan jika menentukan gaya-gaya dalam (momen, geser, aksial) pada analisis P-Delta.
2. Tidak digunakan saat menentukan drift (pergeseran), periode, lendutan, vibrasi.
3. Hanya untuk menentukan kekuatan perlu, sedangkan untuk kekuatan tersedia tanpa reduksi kekakuan.

c. Pelat

Pelat didefinisikan sebagai elemen shell-thin karena pelat diasumsikan menerima gaya vertikal akibat beban mati dan hidup, juga menerima gaya horisontal/lateral akibat gempa. Tebal pelat adalah 12 cm.

4.3.3 Define- load pattern

Memuat jenis beban yang akan dibebankan pada elemen struktur. Beban-beban tersebut sebagai berikut:

Beban Mati = Dead (Selfweight =1)

Beban hidup = Live

Beban atap = Roof Live

Beban gempa = Quake

Beban notional= Notional

4.3.4 Define Load case

Memuat tipe analisis pembebanan. Berikut macam-macam tipe analisis pada beban-beban:

- a. Beban mati , Beban Hidup, Beban atap ,beban notional

Analysis type = Linear

Load case type = Static

Load type = Dead (sesuai jenis beban)

Scale factor = 1

- b. Beban Gempa (E1 dan E2)

Load case type = Respon Spektrum

Directional comb = SRSS

Load type = Accel

Load name = U1 (gempa arah x

= U2 (gempa arah y)

Scale factor = $(g.I)/R = (9,81 \times 1,5)/8 = 1,839$

Untuk gempa x (E1), maka U1 = 1,839 (100%) dan U2 = 0,552 (30%)

Untuk gempa y (E2), maka U1 = 0,552 (30%) dan U2 = 1,839 (100%)

- c. Kombinasi P-Delta (diaktifkan)

Misal kombinasi 1,2D+L+Nx

Load case type = Static

Analysis type = Non Linear

Geometric NL = P-Delta

Initial Conditions = Zero (dibulatkan)

Load type = Load Pattern

Load name = Dead dengan scale factor = 1,2 Live dengan scale factor = 1

Notional dengan scale factor = 1

4.3.5 Define- load combination

Untuk kombinasi pembebanan cukup memasukkan kombinasi pembebanan non linear ditambah beban gempa. Misal 1,2D+1E1+L+Nx

Load combination type = linear add

Load case name = 1,2D+L+Nx dengan load case type = Nonlinear static

Gempa x (E1) dengan load case type = Respon spectrum

4.3.6 Define-function (plot kurva respon spektrum)

Data koordinat kurva respon spektrum dalam ms,excel dipindahkan ke SAP 2000 dengan format periode (*period*) vs percepatan (*value*).Perlu diingat bahwa satuan percepatan masih dalam gal oleh karena itu perlu di konversikan ke dalam satuan gravitasi pada kotak dialog *load case* respon spektrum.

4.3.7 Define-Mass source (sumber massa)

Massa yang digunakan untuk analisis yaitu

- Massa dari berat sendiri elemen struktur (beban mati struktur) dan beban tambahan (beban mati tambahan)
- Selain beban mati, yaitu beban hidup dan beban atap (beban gempa bukan merupakan beban tetapi percepatan)

Pada pilihan *Mass Source* dipilih kedua massa seperti dijelaskan di atas. Beban hidup boleh direduksi sebesar 0,5 pada kotak *Multiplier* dan untuk beban atap tanpa direduksi. Hal ini sesuai dengan peraturan SNI 1727-2013 tetapi kecuali ruangan garasi,pertemuan dengan beban lebih besar daripada 500 kg/m^2 .

4.3.8 Define-constraints

Pelat lantai dianggap sebagai diafragma dengan balok sehingga gerakan pelat menjadi satu kesatuan dalam arah yang sama tetapi masih bisa menerima lenturan pada arah tegak lurus pelat (arah z). Oleh karena itu pelat didefinisikan sebagai pengaku (diaphragma) dengan memilih semua join yang terhubung. Dengan adanya sebagai pengaku maka join yang berada dalam satu kelompok yang sama akan bergerak sebagai satu kesatuan bersama-sama.

4.3.9 Assign-Joint-Restraints (tumpuan)

Tumpuan berupa jepit diasumsikan kolom terjepit pada pondasi.

Hal ini diharapkan tumpuan dapat menahan translasi arah x,y,z dan rotasi dengan kata lain terjepit kaku.

4.3.10 Analyze-run

Software analisis SAP siap memproses hasil analisis stabilitas sesuai dengan asumsi-asumsi perencana. Hasil keluaran yang diharapkan dapat dilihat di *display-show table* berupa gaya-gaya dalam, lendutan, gaya geser gempa, berat struktur, pergeseran joint, dll.

4.4 Perencanaan Balok

Dimensi balok didapat dengan coba-coba profil setelah dilakukan perhitungan kekuatan perlu menggunakan aplikasi SAP 2000. Gaya dalam yang diperlukan dalam analisis kuat tersedia ini adalah momen dan gaya lintang. Balok-balok akan diperiksa ketersediaan kekuatannya, berikut daftar balok-balok tersebut:

B1 = WF 14x53

B2 = WF 10x45

B3 = WF 18x283

B4 = WF 10x12

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan pada balok B3 menggunakan WF 18x283.

Data-data profil WF 18x283:

L = 7200 mm

W = 421,15 kg/m

bf = 302,006 mm

tf = 63,5 mm

fy = 250 Mpa

Es = 200000 Mpa

f'c = 24,9 Mpa

d = 554,99 mm

As = 53677,312 mm²

Zx = 11077655,26 mm³

ry = 73,914 mm

Ix = 2563985582 mm⁴

Iy = 293026924 mm⁴

rx = 218,694 mm

Sx = 9242304,1 mm³

a. Cek tekuk lokal penampang

Web



$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{427,99}{35,56} = 12,036$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,349$$

$$\lambda_r = 5,7 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,7 \cdot \sqrt{\frac{200000}{250}} = 161,22$$

Karena $\lambda < \lambda_p$, maka badan (web) kompak

Flens

$$\lambda = \frac{0,5b}{t} = \frac{0,5 \cdot 302,006}{63,5} = 2,378$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,748$$

$$\lambda_r = 1,0 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,0 \cdot \sqrt{\frac{200000}{250}} = 28,284$$

Karena $\lambda < \lambda_p$, maka sayap (flens) kompak

Tabel 4.8 Rekapitulasi kelangsingan balok

Balok	Profil	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$\frac{0,5b}{t}$	$0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Panampang
B1	W14x53	34,054	106,349	6,106	10,748	KOMPAK
B2	W10x45	25,314	106,349	6,468	10,748	KOMPAK
B3	W18x283	12,036	106,349	2,378	10,748	KOMPAK
B4	W10x12	49,737	106,349	9,429	10,748	KOMPAK

4.4.1 Perencanaan balok sebelum komposit

a. Kuat lentur

Balok B3 WF 18x283

Mu max = 82806,25 kgm

Periksa terhadap pelelehan

Mn = Mp = Zx.fy

$$= 11077655,26 \times 250$$

$$= 276941,38 \text{ kgm}$$

$$\Phi M_n = 0,9 \times 276941,38 = 249247,243 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Dengan cara yang sama diperoleh hasil kuat lentur balok untuk balok-balok yang lain.

Tabel 4.9 Rekapitulasi kuat lentur balok sebelum komposit

Balok	Profil	Mu (kgm)	ΦM_n (kgm)	Kontrol
B1	W14x53	8529,31	32114,549	OK
B2	W10x45	3984,64	20242,121	OK
B3	W18x283	82806,25	249247,243	OK
B4	W10x12	1105	4645,733	OK

b. Kuat geser

$$V_u \text{ maks} = 57045,610 \text{ kgm}$$

$$\text{Cek } \frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{E/F_y} \quad \text{maka } C_v = 1$$

$$\frac{h}{t_w} = 12,036 \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 63,357$$

$$A_w = (d - 2t_f) \times t_w = (554,99 - 2 \cdot 63,5) \times 35,56 = 15219,324 \text{ mm}^2$$

$$\Phi V_n = 0,9 \times 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v$$

$$= 0,9 \times 0,6 \times 250 \times 15219,324 \times 1$$

$$= 205460,879 \text{ kg}$$

$$V_u \leq \Phi \cdot V_n \quad (\text{OK})$$

Tabel 4.10 Rekapitulasi kuat geser balok

Balok	Profil	Vu	ΦV_n	Kontrol
B1	W14x53	6726,040	40604,435	OK
B2	W10x45	2684,580	27008,656	OK
B3	W18x283	57045,610	205460,879	OK
B4	W10x12	703,100	15638,195	OK

c. Lentutan

$$\text{Panjang bentang (L)} = 7,2 \text{ m} = 7200 \text{ mm}$$

$$\text{Lentutan maksimum } (\Delta_{\text{maks}}) = 3,723 \text{ mm}$$

$$\text{Lentutan ijin } (\Delta_{\text{ijin}}) = \frac{L}{360} = \frac{7200}{360} = 20 \text{ mm}$$

Tabel 4.11 Rekapitulasi lendutan balok sebelum komposit

Balok	Bentang	lendutan ijin (mm)	lendutan maks (mm)	Kontrol
B1	7200	20	5,016	OK
	3000	8,333	0,00998	OK
	4800	13,333	0,897	OK
B2	7200	20	9,79	OK
	4800	13,333	1,312	OK
B3	7200	20	3,723	OK
B4	7200	20	4,292	OK
	2400	6,667	1,376	OK

4.4.2 Perencanaan balok setelah komposit

a. *Kuat lentur*

Kuat lentur positif

Panjang efektif (be)

$$\frac{1}{4} L = \frac{1}{4} \cdot 7200 = 1800 \text{ mm}$$

be = bo = L = 7200 mm , diambil terkecil maka be = 1800 mm

Cek gaya tekan terkecil

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 53677,312 \times 250$$

$$= 13419328 \text{ N}$$

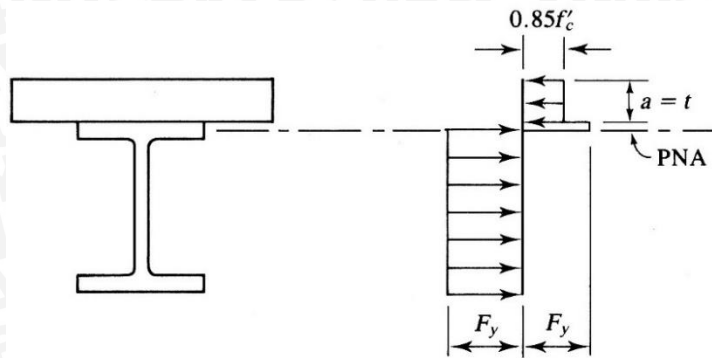
$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_e \cdot t_p$$

$$= 0,85 \times 24,9 \times 1800 \times 120$$

$$= 4571640 \text{ N}$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{13419328}{0,85 \times 250 \times 1800}$$

$$= 352,241 \text{ mm} > 120 \text{ (tp)} , \text{ maka PNA di baja}$$



Gambar 4.6 Distribusi tegangan plastis

$$C_c = 0,85 \cdot f'c \cdot t_p \cdot b_e$$

$$= 0,85 \times 24,9 \times 1800 \times 120$$

$$= 4571640 \text{ N}$$

dimana $T_s = T - C_s$

$$C = T$$

$$C_c + C_s = T_s$$

$$C_c + C_s = T - C_s$$

$$C_s = \frac{T - C_c}{2}$$

$$C_s = (13419328 - 4571640) / 2 = 4423844 \text{ N}$$

Tinggi bagian tekan pada sayap baja:

$$C_s = A_s' \cdot f_y$$

$$x = \frac{C_s}{b_f \cdot f_y} = \frac{4423844}{302,006 \times 250} = 58,593$$

Menentukan letak titik berat T_s diukur dari bagian bawah profil

Bagian baja	A (mm ²)	y (mm)	M.statis (A.y)
flens	1482,005	493,944	732026,888
web	15219,324	277,495	4223286,424
flens	19177,381	31,750	608881,847
Jumlah	35878,710		5564195,159
y (mm) =		155,083	

Momen lentur positif nominal :

$$M_n = C_c \cdot d_2' + C_s \cdot d_2''$$

$$d_2' = (d - y) + \frac{t_p}{2}$$

$$d'_2 = (554,99 - 150,083) + \frac{120}{2} = 459,907 \text{ mm}$$

$$d''_2 = (d - y) - \frac{x}{2}$$

$$d''_2 = (554,99 - 150,083) - \frac{58,593}{2} = 370,610 \text{ mm}$$

$$M_n = 4571640 \times 459,907 + 4423844 \times 370,610$$

$$= 3742048434,31 \text{ N}$$

$$= 374204,843 \text{ kgm}$$

$$\Phi M_n = 0,9 \times 374204,843 = 336784,359 \text{ kgm}$$

Kuat lentur negatif

$$\rho_{\min} = 1,4/f_y$$

$$= 1,4 / 250$$

$$= 0,0056$$

$$A_{s_{\min}} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0056 \cdot 1000 \cdot 120$$

$$= 672 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan $\phi 10-100$ ($A_s = 735 \text{ mm}^2$)

Gaya tarik tulangan:

$$T_{sr} = n \cdot A_{sr} \cdot f_{yr}$$

$$= 18 \times 735 \times 250$$

$$= 3307500 \text{ N}$$

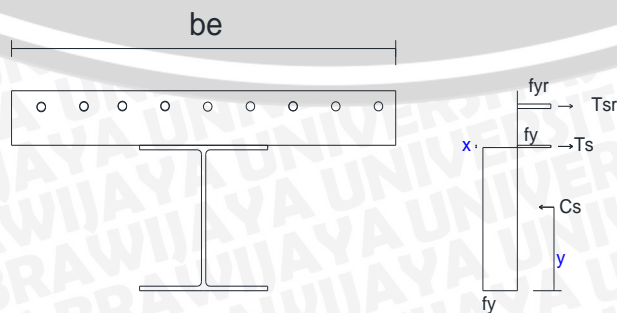
Gaya tekan pada profil baja:

$$C = A_s \cdot f_y$$

$$= 53677,312 \times 250$$

$$= 13419328 \text{ N}$$

Karena $C > T_{sr}$ maka sumbu PNA jatuh pada baja



Gambar 4.7 Distribusi tegangan plastis

$$C = T$$

$$C_s = T_{sr} + T_s$$

$$C - T_s = T_{sr} + T_s$$

$$2T_s = C - T_{sr}$$

$$T_s = \frac{C - T_{sr}}{2}$$

$$T_s = \frac{13419328 - 3307500}{2} = 5055914 \text{ N}$$

Jarak sumbu PNA ke tepi atas flens

$$T_s = A_s' \cdot F_y$$

$$x = \frac{T_s}{b_f \cdot f_y} = \frac{5055914}{302,006 \times 250} = 66,964 \text{ mm}$$

Menentukan letak titik berat Cs diukur dari bagian bawah profil

Bagian	A (mm ²)	y (mm)	M.statis (A.y)
web	15096,130	275,763	4162950,860
flens	19177,381	31,750	608881,847
Jumlah	34273,511		4771832,706
y (mm) =		139,228	

Momen lentur negatif tersedia:

$$M_{n1} = T_{sr} \left((d - y) + \left(t_p - \left(30 + \frac{\Phi}{2} \right) \right) \right)$$

$$M_{n1} = 3307500 \left(554,99 - 139,228 \right) + \left(120 - \left(30 + \frac{10}{2} \right) \right)$$

$$= 1656270280,4 \text{ Nmm}$$

$$= 165627,028 \text{ kgm}$$

$$M_{n2} = T_s \left((d - y) - \left(\frac{x}{2} \right) \right)$$

$$M_{n2} = 5055914 \left((554,99 - 139,228) - \frac{66,964}{2} \right)$$

$$= 1932773695 \text{ Nmm}$$

$$= 193277,37 \text{ kgm}$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2}$$

$$= 165627,028 + 193277,37$$

$$= 358904,4 \text{ kgm}$$

$$\Phi M_n = 0,9 \times 358904,4 = 323013,958 \text{ kgm}$$

Tabel 4.12 Rekapitulasi Momen positif (a) dan negatif (b) balok

Balok	Profil	Momen Positif		Kontrol
		ΦMn (kgm)	Mu (kgm)	
B3	W14x53	336784,359	191713,360	OK
B1	W10x45	59729,075	25461,710	OK
B2	W18x283	42496,527	11258,210	OK
B4	W10x12	12222,675	1346,220	OK

(a)

Balok	Profil	Momen Negatif		Kontrol
		ΦMn	Mu	
B3	W14x53	323013,958	101355,250	OK
B1	W10x45	64951,726	30380,190	OK
B2	W18x283	49362,815	9535,990	OK
B4	W10x12	24915,166	1311,370	OK

(b)

b. Kuat geser

$$V_u \text{ maks} = 11833,750 \text{ kgm}$$

Cek $\frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{E/F_y}$ maka $C_v = 1$

$$\frac{h}{t_w} = 12,036 \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 63,357$$

$$A_w = (d-2t_f)t_w = (554,99-2.63,5) \times 35,56 = 15219.324 \text{ mm}^2$$

$$\Phi V_n = 0,9 \times 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v$$

$$= 0,9 \times 0,6 \times 250 \times 15219.324 \times 1$$

$$= 205460,879 \text{ kg}$$

$$V_u \leq \Phi \cdot V_n$$

(OK)

Tabel 4.13 Rekapitulasi kuat geser balok

Balok	Profil	Gaya Geser		Kontrol
		ΦVn (kg)	Vu (kg)	
B1	W14x53	40604,435	126594,660	OK
B2	W10x45	27008,656	20335,800	OK

B3	W18x283	205460,879	11833,750	OK
B4	W10x12	15638,195	943,620	OK

c. *Lendutan*

Panjang bentang (L) = 7,2 m = 7200 mm

Lendutan maksimum (Δ_{maks}) = 3,21 mm

$$\text{Lendutan ijin } (\Delta_{ijin}) = \frac{L}{360} = \frac{7200}{360} = 20 \text{ mm}$$

Table 4.14 Rekapitulasi lendutan setelah komposit

Balok	Bentang	Δ_{ijin} (mm)	Δ_{maks} (mm)	Kontrol
B1	7200	20,000	13,086	OK
	3000	8,333	0,0177	OK
	4800	13,333	1,766	OK
B2	7200	20,000	17,22	OK
	4800	13,333	5,627	OK
B3	7200	20,000	10,458	OK
B4	7200	20,000	4,857	OK
	2400	6,667	1,707	OK

4.4.3 Penghubung geser balok

Agar perilaku komposit dapat tercapai diperlukan penghubung geser sehingga geseran longitudinal bisa disalurkan di antara keduanya. Berikut contoh perhitungan penghubung geser pada balok B3 dengan bentang 7,2 m.

Data-data:

Dipakai penghubung geser stud

Diameter stud = $\frac{3}{4}$ " = 19,05 mm

Tinggi stud = 70 mm

Fu stud = 400 Mpa

A_{sa} = 285,138 mm²

Syarat diameter stud (SNI 1729 2015 -I8-1)

$$\phi \leq 2.t_f$$

$$19,05 \leq 2. 63,5 = 127 \text{ mm}$$

OK

Jarak minimum dan maksimum

$$S_{min} \text{ longitudinal} = 6 \phi = 6 \times 19,05 = 114,3 \text{ mm}$$

$$S_{min} \text{ transversal} = 4 \phi = 4 \times 19,05 = 76,2 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 8t_p \text{ atau } 900 \text{ mm} = 960 \text{ atau } 900 \text{ mm}$$

Gaya geser horisontal pada balok

$$V_h = 0,85 \cdot f'_c \cdot A_c = 4571640 \text{ N}$$

$$V_h = f_y \cdot A_s = 13419328 \text{ N}$$

Maka dipakai yang terkecil yaitu $V_h = 4571640 \text{ N}$

Kuat geser sebuah stud (SNI 1729 3015-18-2a)

$$E_c = 25228,126 \text{ Mpa}$$

$$f'_c = 24,9 \text{ Mpa}$$

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sa} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u$$

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sa} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c}$$

$$= 0,5 \times 285,138 \times \sqrt{24,9 \times 25228,126}$$

$$= 112996,966 \text{ N}$$

$R_g = 1$ (untuk tanpa dek)

$R_p = 1$

$$R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u = 1 \times 1 \times 285,138 \times 400 = 114055,071$$

$$112996,966 \text{ N} \leq 114055,071 \text{ N}$$

OK

Jumlah stud yang diperlukan (SNI 1729 2015-I8-2c)

$$N = \frac{V_n}{Q_n} = \frac{4571640}{112996,966} = 41 \approx 42 \text{ buah}$$

Jarak longitudinal antar stud (jika dipasang 2 baris)

$$S = \frac{0,5 \cdot L}{\left(\frac{N}{2}\right)} = \frac{0,5 \times 7200}{42/2} = 171,429 \text{ mm}$$

$$114,3 \leq 171,429 \leq 960 \text{ mm}$$

OK

Didapatkan jumlah dan jarak antar stud pada bentang lain seperti dalam tabel berikut :

Tabel 4.15 Rekapitulasi jumlah dan jarak stud balok

Balok	Bentang	N 1/2 bentang	S (mm)
B1	7200	24	150
	4800	24	200
	3000	18	166,667

4.5

B2	7200	19	189,474
	4800	19	126,316
B3	7200	42	171,429
B4	7200	12	300
	2400	12	100

Perencanaan Kolom

Gaya dalam yang diperlukan dalam analisis kuat tersedia ini adalah momen dan gaya Inormal(aksial). Kolom-kolom akan diperiksa ketersediaan kekuatannya, berikut daftar kolom-kolom tersebut:

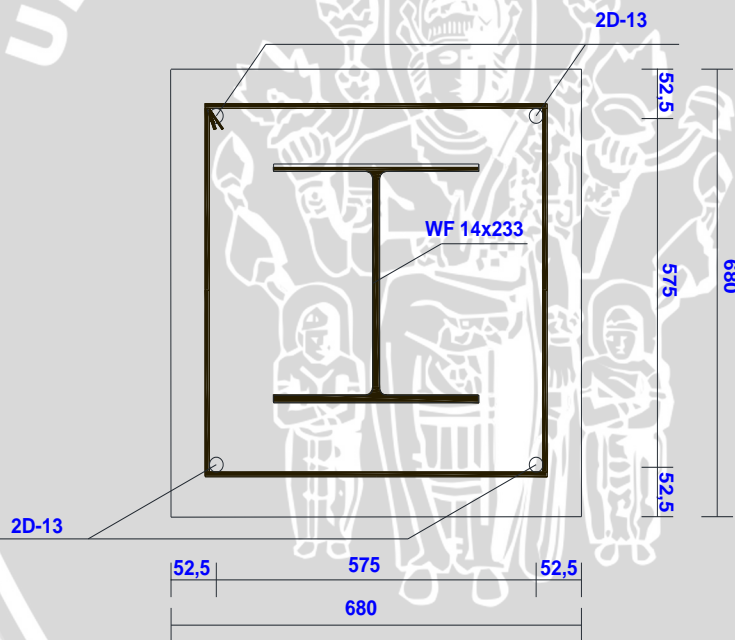
K1 = 680 x 680

K3 = 500 x 500

K4 = 350 x 500

K5 = WF 10 x 112

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan pada balok K1 berdimensi total 680mm x680 mm.



Gambar 4.8 Penampang kolom K1

4.5.1 Syarat dimensi

Selimut beton = 40 mm

Syarat material

- a. Kekuatan beton normal: $21\text{Mpa} \leq f'c \leq 70\text{ Mpa}$
 $F'c = 24,9$
 $21\text{Mpa} \leq 24,9 \leq 70\text{ Mpa}$ (OK)
- b. Kekuatan baja: $f_y \leq 525\text{ Mpa}$ (75ksi)



$$F_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$250 \leq 525 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

c. Kekuatan tulangan baja: $f_y \leq 525 \text{ Mpa}$ (75 Ksi)

$$F_y = 400$$

$$400 \leq 525 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Syarat luas penampang

$$A_s \geq 1 \% A_g$$

$$b_g = 680 \text{ mm} , h_g = 680 \text{ mm}$$

$$A_g = 680^2 = 462400 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 44193,46 \text{ mm}^2$$

$$44193,46 \geq 1\% \times 462400$$

$$44193,46 \geq 4624 \quad (\text{OK})$$

Syarat jarak sengkang/pengikat lateral

$$\begin{aligned} \text{Spasi maksimum} &= 0,5 \times (b \text{ atau } h \text{ terkecil}) \text{ dan } 305 \text{ mm} \\ &= 0,5 \times 680 = 340 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil tulangan lateral $\phi 10-300$, maka $300 \leq 340$ dan 305 mm (OK)

Syarat rasio tulangan longitudinal

$$\rho_{srmin} = \frac{A_{sr}}{A_g} = 0,004$$

$$\rho_{srmax} = \frac{A_{sr}}{A_g} = 0,008$$

Diambil 4-D25, $A_s = 2030 \text{ mm}^2$

Maka,

$$\frac{A_{sr}}{A_g} = \frac{2030}{462400} = 0,0044$$

$$0,004 \leq 0,004 \leq 0,008 \quad (\text{OK})$$

Syarat jarak tulangan longitudinal

$S_{min} = 1,5 \cdot \phi = 1,5 \times 25 = 37,5 \text{ mm}$, tetapi harus lebih besar dari $S_{min} 1,5in(38mm)$

Spasi tul.longitudinal ke flens baja arah y

$$y = (h_g/2) - (d/2) - \text{selimut beton} - (\phi/2)$$

$$= (680/2) - (407,416 / 2) - 40 - (25/2)$$

$$= 83,792 \text{ mm}$$

Maka, $83,792 > 37,5$ dan $83,792 > 38 \text{ mm}$ (OK)

$$\begin{aligned}
 x &= (b_g/2) - (b_f/2) - \text{selimut beton} - (\phi/2) \\
 &= (680/2) - (403,606/2) - 40 - (25/2) \\
 &= 85,697 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, $85,697 > 37,5$ dan $85,697 > 38 \text{ mm}$ (OK)

4.5.2 Kuat tekan

$$P_{u\text{maks}} = 1139178,770 \text{ kg}$$

Data-data :

$$b_g = 680 \text{ mm}$$

$$h_g = 680 \text{ mm}$$

$$A_g = 462400 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 0,043 \cdot w_c^{1,5} \cdot \sqrt{f'_c} \\
 &= 0,043 \times 2400^{1,5} \times 24^{0,5} \\
 &= 25228,126 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$A_{sr} = 2030 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_c &= A_g - A_{sr} - A_s \\
 &= 462400 - 2030 - 44193,46 \\
 &= 416176,54 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Data-data profil WF 14x233:

$$L = 3500 \text{ mm}$$

$$W = 346,742 \text{ kg/m}$$

$$b_f = 403,606 \text{ mm}$$

$$t_f = 43,688 \text{ mm}$$

$$f_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

$$f'_c = 24,9 \text{ Mpa}$$

$$d = 407,416 \text{ mm}$$

$$A_s = 44193,46 \text{ mm}^2$$

$$Z_x = 7144759,9 \text{ mm}^3$$

$$r_y = 104,14 \text{ mm}$$

$$I_x = 1252856591 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 478666139 \text{ mm}^4$$



Momen inersia baja profil

$$I_{sx} = 1252856591 \text{ mm}^4$$

$$I_{sy} = 478666139 \text{ mm}^4$$

Momen inersia tulangan longitudinal

$$\begin{aligned} I_{srt} &= \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot d^4 \\ &= \frac{1}{64} \cdot \frac{22}{7} \cdot 25^4 = 19165,039 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= \left(\frac{h_g}{2} \right) - s_b - (\phi/2) \\ &= \left(\frac{680}{2} \right) - 40 - \left(\frac{25}{2} \right) = 287,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_x &= \left(\frac{b_g}{2} \right) - s_b - (\phi/2) \\ &= \left(\frac{680}{2} \right) - 40 - \left(\frac{25}{2} \right) = 287,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{srx} &= \sum_{\approx}^n I_{srt} + \sum_{\approx}^n A_{srt} \cdot d_y^2 \\ &= (4 \times 19165,039) + (4 \times 2030 \times 287,5^2) = 671245410,2 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{sry} &= \sum_{\approx}^n I_{srt} + \sum_{\approx}^n A_{srt} \cdot d_x^2 \\ &= (4 \times 19165,039) + (4 \times 2030 \times 287,5^2) = 671245410,2 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Momen inersia beton

$$\begin{aligned} I_{cx} &= I_{gx} - I_{sx} - I_{srx} \\ &= (1/12 \cdot b_g \cdot h_g^3) - 1252856591 - 671245410,2 \\ &= (1/12 \times 680 \times 680^3) - 1252856591 - 671245410,2 \\ &= 15893711332,12 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{cy} &= I_{gy} - I_{sy} - I_{sry} \\ &= (1/12 \cdot b_g^3 \cdot h_g) - 478666139 - 671245410,2 \\ &= (1/12 \times 680^3 \times 680) - 478666139 - 671245410,2 \\ &= 16667901783,74 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



$$C_1 = 0,1 + 2\left(\frac{A_s}{A_s + A_c}\right) \leq 0,3$$

$$= 0,1 + 2(44193,46 / (44193,46 + 416176,54))$$

$$= 0,292 \leq 0,3$$

$$EI_{eff(x)} = E_s \cdot I_{sx} + 0,5 \cdot E_s \cdot I_{srx} + C_1 \cdot E_c \cdot I_{cx}$$

$$= (200000 \times 1252856591) + (0,5 \times 200000 \times 671245410,2) + (0,292 \times 25228,126 \times 15893711332,12)$$

$$= 4,348 \times 10^{14} \text{ Mpa}$$

$$EI_{eff(y)} = E_s \cdot I_{sy} + 0,5 \cdot E_s \cdot I_{sry} + C_1 \cdot E_c \cdot I_{cy}$$

$$= (200000 \times 478666139) + (0,5 \times 200000 \times 671245410,2) + (0,292 \times 25228,126 \times 16667901783,74)$$

$$= 2,856 \times 10^{14} \text{ Mpa}$$

EI_{eff} dipilih yang terbesar

Faktor panjang efektif (K) = 1 (khusus analisis metode DAM)

Kuat tekan

$$P_e = \Pi^2 \cdot (EI_{eff}) / (KL)^2$$

$$= ((22/7)^2 \times 4,348 \times 10^{14}) / (1 \times 3500)^2$$

$$= 350572499,21 \text{ N}$$

$$P_{no} = F_y \cdot A_s + F_{ysr} \cdot A_{sr} + 0,85 \cdot f'_c \cdot A_c$$

$$= (250 \times 44193,46) + (400 \times 2030) + (0,85 \times 24,9 \times 416176,54)$$

$$= 20668741,47 \text{ N}$$

Kondisi :

a. Jika, $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2,25$ maka $P_n = P_{no} \cdot \left[0,658 \frac{P_{no}}{P_e}\right]$

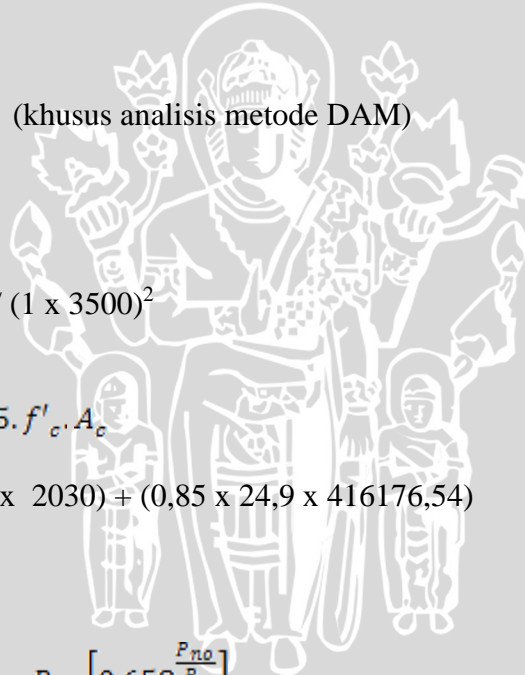
b. Jika, $\frac{P_{no}}{P_e} \geq 2,25$, maka $P_n = 0,887 P_e$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{20668741,47}{350572499,21} = 0,006 \leq 2,25$$

Maka, kondisi 1

$$P_n = P_{no} \cdot \left[0,658 \frac{P_{no}}{P_e}\right]$$

$$= 20668741,47 \times (0,658^{0,006})$$



$$= 20164950,35 \text{ N} = 2016495 \text{ kg}$$

$$\Phi P_n = 0,9 \times 2016495 = 1814845,531 \text{ kg.}$$

$$\text{Sehingga, } P_{u\text{maks}} = 1139178,770 \leq \Phi P_n = 1814845,531 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

Tabel 4.16 Rekapitulasi kekuatan aksial kolom komposit

Kolom	Dimensi	ΦP_n	P_u	Kontrol
K1	680x680	1814845,531	1139178,770	OK
K3	500x500	788090,657	447347,710	OK
K4	350x500	339819,752	168840,990	OK
K5	10x112	442381,396	158139,930	OK

4.5.3 Penghubung geser pada kolom

Alokasi gaya pada kolom komposit harus ditentukan berdasarkan distribusi gaya eksternal. Setiap komponen saling berkerja sama untuk menahan gaya. Berikut ketentuan alokasi gaya yang harus diperiksa:

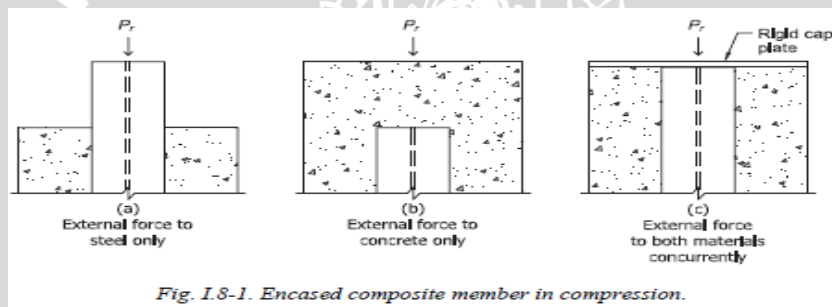


Fig. I.8-1. Encased composite member in compression.

Gambar 4.9 Tipe alokasi gaya pada kolom komposit

- a. Kondisi a (gaya eksternal dikerjakan penampang baja – SNI 1729 2016 pasal I6.2a)

$$P_r = P_u = 1139178,77 \text{ kg}$$

$$P_{no} = 2066874,147 \text{ kg}$$

$$V_r = P_r \left(1 - f_y \cdot \frac{A_s}{P_{no}} \right)$$

$$= 11391787,7 \times (1 - 250 \times (44193,46 / 20668741,47))$$

$$= 5302368,63 \text{ N}$$

- b. Kondisi b (gaya eksternal dikerjakan penampang beton)

$$V_r = P_r \left(\frac{f_y \cdot A_s}{P_{no}} \right)$$

$$= 11391787,7 \times ((250 \times 44193,46) / 2066874,147))$$

$$= 6089419 \text{ N}$$

- c. Kondisi c (gaya eksternal dikerjakan penampang baja & beton)

$$P_{rs} = \left[\frac{E_s \cdot A_s}{E_s \cdot A_s + E_c \cdot A_c + E_{sr} \cdot A_{sr}} \right] \cdot P_r$$

$$= \left[\frac{200000 \times 44193,46}{200000 \times 44193,46 + 25228,126 \times 416176,54 + 200000 \cdot 2030} \right] \cdot 11391787,7$$

$$= 5099689,385 \text{ N}$$

$$V_r = \left| P_{rs} - P_r \left(\frac{f_y \cdot A_s}{P_{no}} \right) \right|$$

$$= 5099689,385 - 11391787,7 \times ((250 \times 44193,46) / 2066874,147)$$

$$= 989729,688 \text{ N}$$

Vr diambil yang terbesar yaitu pada kondisi 2 sebesar 6089419 N = 608941,9 kg

Alokasi gaya geser longitudinal yang diperlukan (Vr) harus disalurkan dengan baik ke komponen yang lain dengan mekanisme transfer gaya yang dilakukan oleh dengan bantuan penghubung geser, tumpuan langsung, dan interaksi langsung (friksi). Sehingga kekuatan desain (ΦQ_n) dari mekanisme transfer gaya harus lebih besar dari Vr.

Transfer gaya

Digunakan penghubung geser *steel headed stud anchor*

Data :

$$d = \frac{3}{4} \text{ " } = 19,05 \text{ mm}$$

$$f_u = 400 \text{ Mpa}$$

$$A_{sa} = 0,25 \cdot \Pi \cdot d^2$$

$$= 0,25 \times (22/7) \times 19,05^2$$

$$= 284,878 \text{ mm}^2$$

Kekuatan geser perstud :

$$Q_{nv} = F_u \cdot A_{sa}$$

$$= 400 \times 284,878$$

$$= 113951,385 \text{ N}$$

$$\Phi \cdot Q_{nv} = 0,65 \times 113951,385 = 74068,4 \text{ N}$$

Jumlah stud:

$$n_{anchors} = \frac{V_r}{\Phi \cdot Q_{nv}}$$

$$= 6089419 / 74068,4$$

$$= 82,213 \approx 84 \text{ buah (1/2 bentang-dijadikan 2 baris)}$$

$$\begin{aligned} Q_{n\text{total}} &= n \times \Phi \cdot Q_{nv} \\ &= 84 \times 74068,4 \\ &= 622174,562 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Jadi } Q_{n\text{total}} = 622174,562 > V_r = 6089419 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Cek syarat maksimum diameter kepala dan batang:

$$\phi = 19,05 \text{ mm}$$

$$d_{\text{batang}} \leq 2,5 \cdot t_f = 109,22 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$d_{\text{kepala}} \geq 1,6 \cdot d_{\text{batang}} = 30,48 \text{ mm}$$

Cek minimum ratio tinggi dan diameter batang stud :

Untuk kondisi pembebanan geser dengan komposit beton normal (tabel hal 154 SNI 1729-2015), ratio minimum :

$$H_{\text{batang}} = 100 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{d} \geq 5$$

$$\frac{h}{d} = \frac{100}{19,05} = 5,249 \geq 5 \quad (\text{OK})$$

Jarak angkur :

$$h_g = 680 \text{ mm}$$

$$S_{\text{lateral}} = b_f/2 = 403,606 / 2 = 201,8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{longitudinal}} &= (L \times 4) / (2 \times n) \quad (\text{nilai } 4 = 2 \text{ baris flens atas} + 2 \text{ baris flens bawah}) \\ &= (3500 \times 4) / (84 \times 2) \\ &= 83,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{keselimut}} &= (h_g/2) - (S_{\text{lateral}}/2) - (\phi/2) \\ &= (680/2) - (201,8/2) - (19,05/2) \\ &= 229,57 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat jarak angkur :

- a. Angkur baja harus memiliki sedikitnya 25 mm dari selimut beton

$$S_{\text{ke selimut}} = 229,57 \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

- b. Minimum spasi anchor setiap arah

$$S_{\text{min}} \geq 4 \cdot d = 4 \times 19,05 = 76,2 \text{ mm}$$

$$S_{\text{lateral}} = 201,8 \geq 76,2 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$S_{\text{longitudinal}} = 83,33 \geq 76,2 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$S_{max} \leq 32 \cdot d = 322 \times 19,05 = 609,6 \text{ mm}$$

$$S_{lateral} = 201,8 \leq 609,6 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$S_{longitudinal} = 83,33 \leq 609,6 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Dengan cara yang sama didapatkan penghubung geser pada kolom yang lain, sebagai berikut:

Tabel 4.17 Rekapitulasi kebutuhan stud pada kolom

Kolom	Bentang (mm)	d (mm)	N	S longitudinal (mm)
K1	3500	19,05	84	83,333
	7000	19,05	76	184,211
	5000	19,05	66	151,515
	4500	19,05	58	155,172
K3	3500	19,05	36	194,444
	7000	19,05	32	218,750
	5000	19,05	26	192,308
	4500	19,05	22	204,545
K4	3500	12,7	46	152,174
	7000	12,7	24	291,667
	5000	12,7	14	357,143
	4500	12,7	12	375,000

4.5.4 Hubungan balok-kolom

Untuk struktur yang menahan gaya aksial dan momen lentur maka harus di cek kekuatannya menurut syarat dibawah ini:

a. Untuk $\frac{P_u}{\Phi P_n} \geq 0,2$ maka $\frac{P_u}{\Phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_u}{\Phi M_n} \right) \leq 1,0$

b. Untuk $\frac{P_u}{\Phi P_n} \leq 0,2$ maka $\frac{P_u}{2 \cdot \Phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_u}{\Phi M_n} \right) \leq 1,0$

$$P_u = 1139178,77 \text{ kg}$$

$$\Phi P_n = 1814845,531 \text{ kg}$$

$$M_u = 62715 \text{ kgm}$$

$$\frac{P_u}{\Phi P_n} = \frac{1139178,77}{1814845,531} = 0,628 \geq 0,2$$

Maka, kondisi a

Momen lentur tersedia

c = jarak pusat tul.longitudinal sampai serat terluar

$$c = (\phi_{tul.long} / 2) + S_b$$

$$= 25/2 + 40 = 52,5 \text{ mm}$$

$$Z_r = A_{sr} \cdot \left(\frac{h_g}{2} - c \right)$$

$$= 2030 \times (680/2 - 52,5)$$

$$= 583625 \text{ mm}^3$$

$$Z_s = 7144759,9 \text{ mm}^3$$

$$Z_c = \frac{b_g \cdot h_g^2}{4} - Z_s - Z_r$$

$$= (680 \times 680^2) / 4 - 7144759,9 - 7144759,9$$

$$= 70879615,1 \text{ mm}^3$$

$$M_n = Z_s \cdot F_y + Z_r \cdot F_{yr} + Z_c \cdot 0,85 \cdot f'_c$$

$$= (7144759,9 \times 250) + (583625 \times 400) + (70879615,1 \times 0,85 \times 24,9)$$

$$= 3519807029,507 \text{ Nmm}$$

$$= 351980,703 \text{ kgm}$$

$$\Phi M_n = 0,9 \times 351980,703 = 316782,632 \text{ kgm}$$

$$\frac{M_u}{\Phi M_n} = \frac{62715}{316782,632} = 0,198$$

Kontrol kondisi a :

$$\frac{P_u}{\Phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_u}{\Phi M_n} \right) \leq 1,0$$

$$0,628 + (8/9) \times 0,198 = 0,804 \leq 1 \quad \text{(OK)}$$

Tabel 4.18 Rekapitulasi kombinasi aksial dan Momen Kolom

Kolom	Dimensi	Mu	$\frac{P_u}{\Phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_u}{\Phi M_n} \right) \leq 1,0$	Kontrol
K1	680x680	62715,000	0,804	OK
K3	500x500	11548,610	0,652	OK
K4	350x500	12878,110	0,768	OK
K5	10x112	23096,010	0,698	OK

4.6 Perencanaan Pengaku

4.6.1 Pengaku vertikal atau transversal

Pengaku vertikal diperlukan jika pelat badan tidak kuat menahan gaya geser yang terjadi. Walaupun pada analisis kuat geser balok di atas menunjukkan kondisi aman terhadap gaya geser yang terjadi, tetapi perlu dicek ulang apakah terjadi tekuk lokal pada badan sehingga pengaku vertikal / transversal dibutuhkan atau tidak. Berikut pengecekan kebutuhan pengaku vertikal tidak diperlukan jika:

a. Kondisi 1

$$h/t_w \leq 260$$

b. Kondisi 2

$$h/t_w \leq 2,46 \sqrt{E/f_y}$$

$$E = 200000 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$2,46 \sqrt{E/f_y} = 2,46 \sqrt{200000/250} = 69,579$$

c. Kondisi 3

Bila $V_n > V_u$, jika $K_v = 5$

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_v$$

Bila kasus a. $h/t_w \leq 1,10 \sqrt{k_v E/f_y}$, maka $C_v = 1$

Bila kasus b. $1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} < h/t_w \leq 1,37 \sqrt{k_v E/f_y}$, maka $C_v = \frac{1,10 \sqrt{k_v E/f_y}}{h/t_w}$

Bila kasus c. $h/t_w > 1,37 \sqrt{k_v E/f_y}$, maka $C_v = \frac{1,51 k_v E}{(h/t_w)^2 f_y}$

$$1,10 \sqrt{k_v E/f_y} = 1,10 \sqrt{5x(200000/250)} = 69,570$$

$$\Phi = 0,9$$

Berikut rekapitulasi kebutuhan pengaku vertikal :

Tabel 4.19 Pengaku vertikal cek kondisi 1, kondisi 2, dan kondisi 3

Balok	h/t_w	Kontrol
B1	$320,04/9,398 = 34,054$	Tidak Perlu
B2	$254,54/8,89 = 25,314$	Tidak Perlu
B3	$427,99/35,56 = 12,036$	Tidak Perlu
B4	$240,03/4,826 = 49,737$	Tidak Perlu

Balok	h/t_w	$2,46 \sqrt{E/f_y}$	Kontrol
B1	34,054	69,579	Tidak Perlu
B2	25,314	69,579	Tidak Perlu

B3	12,035	69,579	Tidak Perlu
B4	49,737	69,579	Tidak Perlu

Balok	B1	B2	B3	B4
	34,054	25,314	12,036	49,737
	69,570	69,570	69,570	69,570
	Kasus a	Kasus a	Kasus a	Kasus a
Aw	3007,736	2000,641	15219,324	1158,385
Cv	1,000	1,000	1,000	1,000
fy	250,000	250,000	250,000	250,000
ΦVn	451160,388	300096,174	2282898,660	173757,717
Vu	203358,000	118337,500	1265946,600	9436,200
Kontrol	OK	OK	OK	OK

Jadi kesimpulannya, tidak diperlukan pengaku vertikal/transversal pada balok.

4.6.2 Pengaku tumpuan

Penampang balok yang telah direncanakan sudah aman terhadap lentur, geser, dan lendutan. Walaupun sudah aman tetapi pada penampang balok masih ada kemungkinan terjadi tekuk atau leleh pada badan dan sayap profil baja di daerah tumpuan. Berikut pengecekan kebutuhan pengaku tumpuan pada balok B3 WF 18x283:

- a. Kuat tumpu terhadap lentur sayap

$$F_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$R_b = 6,25 \cdot t_f^2 \cdot f_y$$

$$= 6,25 \times 63,5^2 \times 250$$

$$= 6300390,625 \text{ N}$$

- b. Kuat tumpu terhadap leleh suatu badan

$$R_b = (5k + N) \cdot f_y \cdot t_w$$

$$k = t_f + k_1 = 63,5^2 + 30,163 = 93,663 \text{ mm}$$

$$N = k = 93,663 \text{ (diambil minimum)}$$

$$R_b = (5 \times 93,663 + 93,663) \times 250 \times 35,56$$

$$= 4995957,75 \text{ N}$$

- c. Kuat tekuk dukung badan

Kuat tumpu terhadap tekuk disekitar sayap yang dibebani.

$$R_b = 0,79 \cdot t_w^2 \cdot \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E_s \cdot f_y \cdot t_f}{t_w}}$$

$$= 0,79 \times 35,56^2 \times \left[1 + 3 \left(\frac{93,663}{554,99} \right) \times \left(\frac{35,56}{63,5} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{200000 \cdot 250 \cdot 63,5}{35,56}}$$

$$= 11442083,15 \text{ N}$$

d. Kuat tekuk lateral web

Untuk flens (sayap) tidak dikekang dengan pengaku vertikal, dihitung apabila:

$$\left(\frac{h}{t_w} \right) / \left(\frac{L}{b_f} \right) \leq 1,7$$

$$\frac{h/t_w}{L/b_f} = \frac{427,99/35,56}{7200/302,006} = 0,505 \leq 1,7$$

Maka, kuat tekuk lateral web dihitung,

$$R_b = \frac{C_r \cdot E \cdot t_w^3 \cdot t_f}{h^2} \cdot \left[0,4 \frac{\left(\frac{h}{t_w} \right)^3}{\left(\frac{L}{b_f} \right)^3} \right]$$

$C_r = 6,6 \times 10^6$, jika $\mu < M_y$

$$R_b = \frac{(6,6 \times 10^6) \cdot 200000 \cdot 35,56^3 \cdot 63,5}{427,99^2} \cdot \left[0,4 \frac{\left(\frac{427,99}{35,56} \right)^3}{\left(\frac{7200}{302,006} \right)^3} \right]$$

$$= 1,059 \times 10^{12} \text{ N}$$

e. Kuat tekuk lentur badan

$$R_b = \frac{24,08 \cdot t_w^3}{h} \sqrt{E \cdot f_y}$$

$$R_b = \frac{24,08 \cdot 35,56^3}{427,99} \sqrt{200000 \cdot 250}$$

$$= 17889290,636 \text{ N}$$

Jadi, Kuat tumpu (R_b) diambil yang terkecil yaitu 4995957,75 N

$R_u \leq \Phi R_n$

$$1222632,7 \text{ N} \leq 0,9 \times 4995957,75 = 4496361,975 \text{ N} \quad \text{(OK)}$$

Tabel 4.20 Rekapitulasi kuat tumpu balok



Balok	Rb	Kondisi	ΦR_b	Ru	Kontrol
B1	439112,025	e.	395200,823	203358,000	OK
B2	387499,225	a.	348749,303	118337,500	OK
B3	4995957,750	b.	4496361,975	1265946,600	OK
B4	44455,556	a.	40010,001	9436,200	OK
Kesimpulan	Maka tidak perlu pengaku tumpuan				

4.7 Sambungan

4.7.1 Sambungan antar balok

Karena keterbatasan bentang profil baja maka dibutuhkan sambungan. Sambungan yang digunakan untuk menyambung antar balok digunakan sambungan baut. Berikut perhitungan sambungan baut pada balok B3 dengan bentang 7,2 m.

Data baut :

Jenis baut A325

$$\phi = 7/8 \text{ ' } = 22,225 \text{ mm}$$

$$A_b = 387,751 \text{ mm}^2$$

$$F_{ub} = 825 \text{ Mpa}$$

Data balok:

$$F_u = 410 \text{ Mpa}$$

$$M_{maks} = 79808,43 \text{ kgm (pada jarak 6 m)}$$

$$V_{maks} = 141767,6 \text{ kg}$$

Data plat penyambung:

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 370 \text{ Mpa}$$

a. Baut pada *web* (badan)

Tebal pelat penyambung

$$h_{\text{pelat penyambung}} = 350 \text{ mm}$$

$$I_{\text{pelat penyambung}} > I_{\text{badan}}$$

$$2 \cdot \left(\frac{1}{12}\right) \cdot t \cdot h_p^3 > \left(\frac{1}{12}\right) \cdot t_w \cdot h^3$$

$$2 \times (1/12) \cdot 350^3 \times t > (1/12) \times 35,56 \times 393,7^3$$

$$7145833,333 t > 180832610$$

$$t = 25,306 \approx 26 \text{ mm}$$

Tahanan nominal baut geser dan tarik (SNI 1729 2015-J3.6)



$$R_n = F_n \cdot A_b$$

$F_n = 620 \text{ Mpa}$ (bila ulir baut termasuk daribid.geser-tabel J3.2)

$$R_n = 620 \times 387,751 = 240405,769$$

$$\Phi R_n = 0,75 \times 240405,8 = 180304,327 \text{ N}$$

Tahanan tumpuan pada lubang (SNI 1729 2015-J3.10)

$$R_n = 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$= 3 \times 22,225 \times 26 \times 370$$

$$= 641413,5 \text{ N}$$

$$\Phi R_n = 0,75 \times 641413,5 = 481060,13 \text{ N}$$

Dipilih tahanan yang terkecil jadi $R_n = 180304,327 \text{ N}$

Jumlah baut yang diperlukan:

$$n = \frac{R_u}{\Phi R_n}$$

$$= 141767,6 / 180304,327$$

$$= 7,862 \approx 8 \text{ baut}$$

Syarat jarak baut (SNI 1729 2015-J3)

$$\text{Jarak minimum (antar baut)} = 3d = 3 \times 22,225 = 66,675 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak minimum (antar baut)} = 24 \cdot t = 24 \times 26 = 624 \text{ mm}$$

Atau 305 mm (pilih terkecil)

$$\text{Jarak tepi minimum} = 1 \frac{1}{8} \cdot \text{'} = 28,575 \text{ mm} \quad (\text{tabel J3.4})$$

$$\text{Jarak tepi maksimum} = 12 \cdot t_w = 12 \times 35,56 = 426,72 \text{ mm}$$

Atau 150 mm (pilih terkecil)

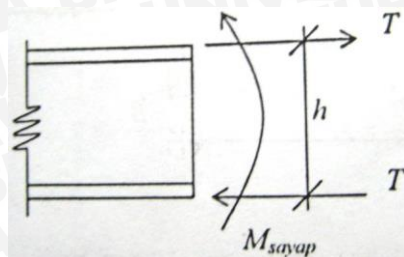
Jadi,

$$\text{Jarak antar baut} = 66,675 < s < 305 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tepi baut} = 28,575 < s < 150 \text{ mm}$$

b. Baut pada *flens* (sayap)

Momen yang dipikul sayap dijadikan sepasang gaya kopel sehingga sambungan sayap menerima beban geser sentris.



Gambar 4.10 Gaya kopel pada sayap

$$M_{\text{badan}} = \frac{I_{\text{badan}}}{I_{\text{profil}}} \cdot M_u$$

$$= (180832610 / 2563985582) \times 79808,43$$

$$= 5628,72 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{sayap}} = M_u - M_{\text{badan}}$$

$$= 79808,43 - 5628,72$$

$$= 74179,71 \text{ kgm}$$

$$T = \frac{M_{\text{sayap}}}{d_{\text{profil}}}$$

$$= 74179,71 / (554,99/1000)$$

$$= 133659,54 \text{ kg}$$

Tebal pelat penyambung

$$h_{\text{pelat penyambung}} = 350 \text{ mm}$$

$$T = f_y \cdot A_g$$

$$133659,54 \text{ kg} = 240 \text{ Mpa} \times A_g$$

$$A_g = 5569,147 \text{ mm}^2$$

$$t_p = \frac{A_g}{h_p}$$

$$= 5569,147 / 350 \text{ mm}$$

$$= 15,91 \approx 16 \text{ mm}$$

Jumlah baut yang diperlukan

$$n = \frac{T}{\Phi R_n}$$

$$= 133659,54 / 180304,327$$

$$= 7,413 \approx 8 \text{ baut}$$

Syarat jarak baut (SNI 1729 2015-J3)

$$\text{Jarak minimum (antar baut)} = 3d = 3 \times 22,225 = 66,675 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak maksimum (antar baut)} = 24.t = 24 \times 26 = 624 \text{ mm}$$

Atau 305 mm (pilih terkecil)

$$\text{Jarak tepi minimum} = 1 \frac{1}{8} \cdot \text{'} = 28,575 \text{ mm} \quad (\text{tabel J3.4})$$

$$\text{Jarak tepi maksimum} = 12.t_f = 12 \times 63,5 = 762 \text{ mm}$$



Atau 150 mm (pilih terkecil)

Jadi,

Jarak antar baut = $66,675 < s < 305$ mm

Jarak tepi baut = $28,575 < s < 150$ mm

Tabel 4.21 Daftar kebutuhan sambungan baut antar balok

Balok	Profil	Badan		Sayap	
		t (mm)	n (baut)	t (mm)	n (baut)
B3	W18x283	26	8	16	8
B1	W14x53	5	4	7	4
B2	W10x45	5	2	8	4
B4	W10x12	5	2	5	2

4.7.2 Sambungan antar kolom

Menyambungkan antar kolom diperlukan sambungan baut. Berikut perhitungan sambungan baut pada kolom K1 profil W14x233 lantai 2.

Data baut :

Jenis baut A325

$$\phi = 7/8 \text{ ' } = 22,225 \text{ mm}$$

$$A_b = 387,751 \text{ mm}^2$$

$$F_{ub} = 825 \text{ Mpa}$$

Data kolom:

$$F_u = 410 \text{ Mpa}$$

$$M_{umaks} = 19930,58 \text{ kgm (pada jarak 6 m)}$$

$$V_{umaks} = 15497,51 \text{ kg}$$

Data plat penyambung:

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 370 \text{ Mpa}$$

a. Baut pada *web* (badan)

Tebal pelat penyambung

$$h_{\text{pelat penyambung}} = 280 \text{ mm}$$

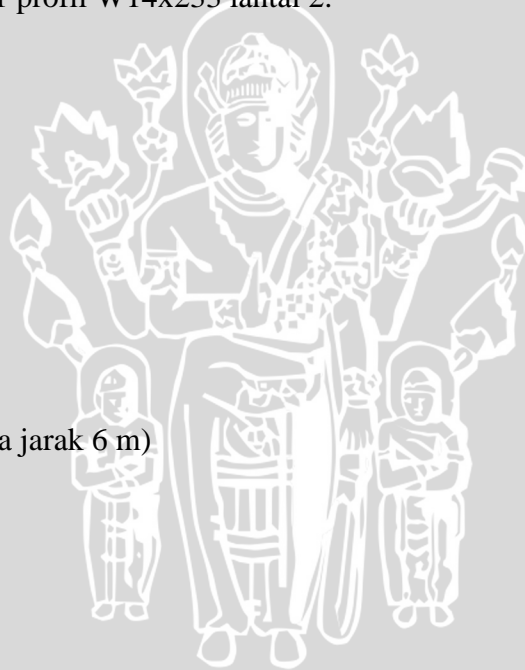
$$I_{\text{pelat penyambung}} > I_{\text{badan}}$$

$$2 \cdot \left(\frac{1}{12}\right) \cdot t \cdot h_p^3 > \left(\frac{1}{12}\right) \cdot t_w \cdot h^3$$

$$2 \times \left(\frac{1}{12}\right) \cdot 280^3 \times t > \left(\frac{1}{12}\right) \times 27,178 \times 285,75^3$$

$$3658667 t > 84945354,81$$

$$t = 23,218 \approx 24 \text{ mm}$$



Tahanan nominal baut geser dan tarik (SNI 1729 2015-J3.6)

$$R_n = F_n \cdot A_b$$

$F_n = 620 \text{ Mpa}$ (bila ulir baut termasuk dari bid.geser-tabel J3.2)

$$R_n = 620 \times 387,751 = 240405,769$$

$$\Phi R_n = 0,75 \times 240405,8 = 180304,327 \text{ N}$$

Tahanan tumpuan pada lubang (SNI 1729 2015-J3.10)

$$R_n = 3 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$= 3 \times 22,225 \times 24 \times 370$$

$$= 592074 \text{ N}$$

$$\Phi R_n = 0,75 \times 592074 = 444055,5 \text{ N}$$

Dipilih tahanan yang terkecil jadi $R_n = 180304,327 \text{ N}$

Jumlah baut yang diperlukan:

$$n = \frac{R_u}{\Phi R_n}$$

$$= 15497,51 / 180304,327$$

$$= 0,86 \approx 2 \text{ baut}$$

Syarat jarak baut (SNI 1729 2015-J3)

Jarak minimum (antar baut) = $3d = 3 \times 22,225 = 66,675 \text{ mm}$

Jarak maksimum (antar baut) = $24 \cdot t = 24 \times 24 = 576 \text{ mm}$

Atau 305 mm (pilih terkecil)

Jarak tepi minimum = $1 \frac{1}{8} \cdot e = 28,575 \text{ mm}$ (tabel J3.4)

Jarak tepi maksimum = $12 \cdot t_w = 12 \times 27,178 = 326,136 \text{ mm}$

Atau 150 mm (pilih terkecil)

Jadi,

Jarak antar baut = $66,675 < s < 305 \text{ mm}$

Jarak tepi baut = $28,575 < s < 150 \text{ mm}$

s. Baut pada *flens* (sayap)

Momen yang dipikul sayap dijadikan sepasang gaya kopel sehingga sambungan sayap menerima beban geser sentris.

$$M_{\text{badan}} = \frac{I_{\text{badan}}}{I_{\text{profil}}} \cdot M_u$$

$$= (84945354,81 / 478666139) \times 19930,58$$

$$= 1351,32 \text{ kgm}$$

$$M_{sayap} = M_u - M_{badan}$$

$$= 19930,58 - 1351,32$$

$$= 18579,26 \text{ kgm}$$

$$T = \frac{M_{sayap}}{d_{profil}}$$

$$= 18579,26 / (407,416/1000)$$

$$= 45602,676 \text{ kg}$$

Tebal pelat penyambung

$$h_{pelat \text{ penyambung}} = 300 \text{ mm}$$

$$T = f_y \cdot A_g$$

$$45602,676 \text{ kg} = 240 \text{ Mpa} \times A_g$$

$$A_g = 1900,11 \text{ mm}^2$$

$$t_p = \frac{A_g}{h_p}$$

$$= 1900,11 / 300 \text{ mm}$$

$$= 6,33 \approx 7 \text{ mm}$$

Jumlah baut yang diperlukan

$$n = \frac{T}{\Phi R_n}$$

$$= 45602,676 / 180304,327$$

$$= 2,529 \approx 4 \text{ baut}$$

Syarat jarak baut (SNI 1729 2015-J3)

$$\text{Jarak minimum (antar baut)} = 3d = 3 \times 22,225 = 66,675 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak maksimum (antar baut)} = 24.t = 24 \times 7 = 168 \text{ mm}$$

Atau 305 mm (pilih terkecil)

$$\text{Jarak tepi minimum} = 1 \frac{1}{8} \text{ ' } = 28,575 \text{ mm} \quad (\text{tabel J3.4})$$

$$\text{Jarak tepi maksimum} = 12.t_f = 12 \times 43,688 = 524,256 \text{ mm}$$

Atau 150 mm (pilih terkecil)

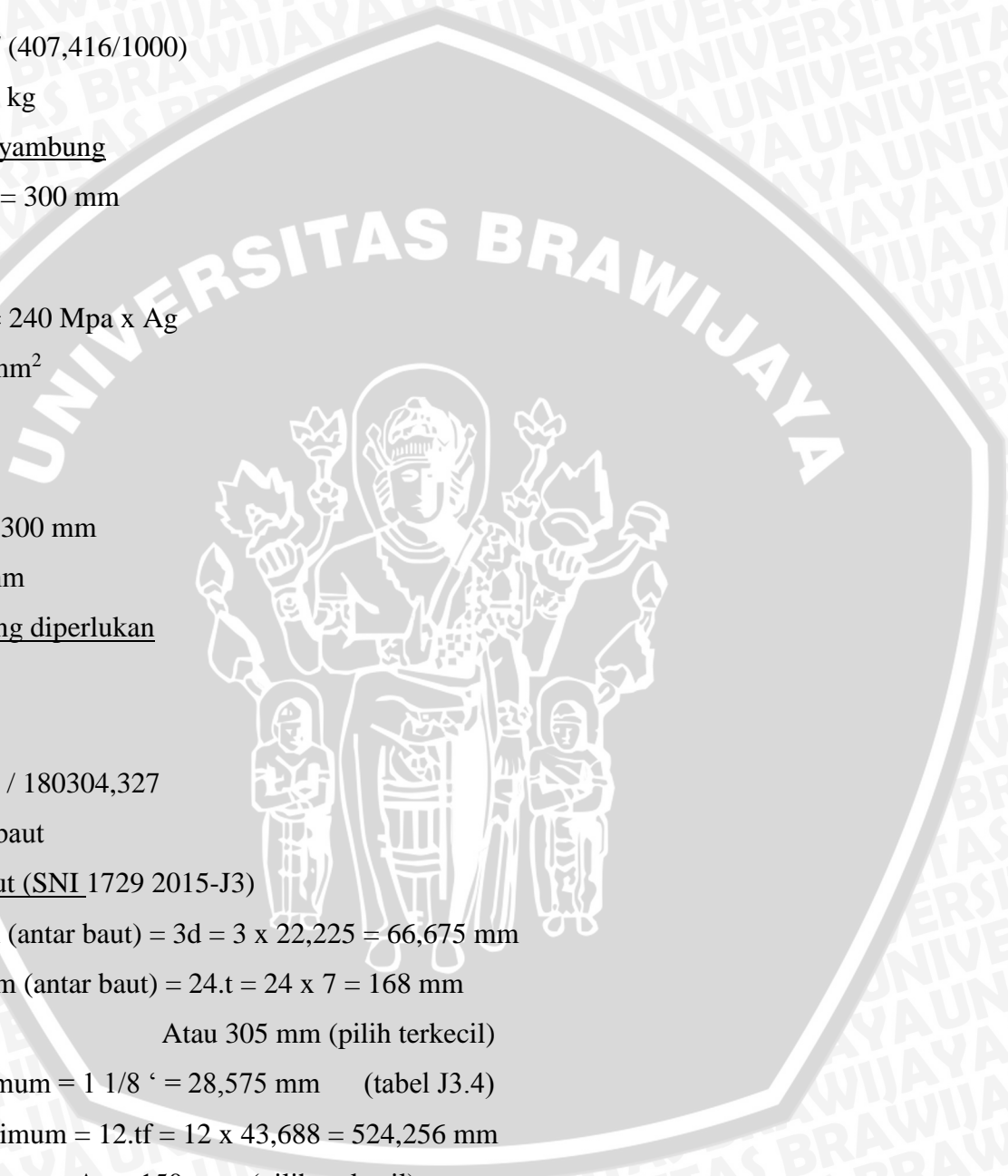
Jadi,

$$\text{Jarak antar baut} = 66,675 < s < 168 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tepi baut} = 28,575 < s < 150 \text{ mm}$$

Tabel 4.22 Daftar kebutuhan sambungan baut antar balok

Balok	Profil	Badan	Sayap
-------	--------	-------	-------



		t (mm)	n (baut)	t (mm)	n (baut)
K1	WF 14x233	24	2	7	4
K3	WF 12x79	7	2	5	4
K4	WF 14x34	5	2	6	4
K5	WF 10x112	5	2	6	4

4.7.3 Sambungan antara balok induk dan balok anak

Balok induk dengan balok anak dihubungkan dengan sambungan berupa las. Contoh perhitungan pada balok B1 dengan B2 pada lantai 1.

Data las:

Memakai elektrode las E70

$F_{uw} = 490 \text{ Mpa}$

Data balok:

$M_{u\text{maks}} = 26488,79 \text{ kgm}$

$V_{u\text{maks}} = 16319,02 \text{ kg}$

a. Las pada web (badan)

Persyaratan ukuran las

$t_w = 7,62 \text{ mm}$

menurut tabel pada SNII 1729-2015 pasal J2.2, jika $6 \geq t_w \leq 13 \text{ mm}$, maka

$a_{\text{min}} = 5 \text{ mm}$

dan jika $t_w > 6$, maka

$$a_{\text{maks}} = t_w - 2$$

$$= 7,62 - 2$$

$$= 5,62 \text{ mm}$$

Sehingga diambil $a = 5,5 \text{ mm}$

$t_e = 0,707.a$ (ukuran sama kaki)

$$= 0,707 \times 5,5$$

$$= 3,889 \text{ mm}$$

Kuat rencana logam las (per-mm panjang)

$$\Phi R_n = 0,75.F_{nw}.A_{we}$$

$$= 0,75 \times 0,6 \times F_{uw} \times t_e$$

$$= 0,75 \times 0,6 \times 490 \times 3,889$$

$$= 857,414 \text{ N}$$

Kuat rencana logam dasar (per-mm panjang)

$$\Phi R_n = 0,75 \cdot F_{nBM} A_{BM}$$

$$= 0,75 \times 0,6 \times f_u \times t_w$$

$$= 0,75 \times 0,6 \times 410 \times 7,62$$

$$= 1405,89 \text{ N}$$

Diambil kekuatan rencana yang terkecil, maka $\Phi R_n = 857,414 \text{ N}$

Panjang total las yang dibutuhkan

$$L_w = \frac{R_u}{\Phi \cdot R_n}$$

$$= 163190,02 / 857,414 \text{ N}$$

$$= 190,328 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Syarat panjang las sudut = $L_{minn} = 4 \cdot a = 4 \times 5,5 = 22 \text{ mm}$

b. Las pada flens (sayap)

Persyaratan ukuran las

$$t_f = 12,954 \text{ mm}$$

menurut tabel pada SNII 1729-2015 pasal J2.2, jika $6 \geq t_f \leq 13 \text{ mm}$, maka

$$a_{min} = 5 \text{ mm}$$

dan jika $t_f > 6$, maka

$$a_{maks} = t_f - 2$$

$$= 12,954 - 2$$

$$= 10,954 \text{ mm}$$

Sehingga diambil $a = 10 \text{ mm}$

$$t_e = 0,707 \cdot a \text{ (ukuran sama kaki)}$$

$$= 0,707 \times 10$$

$$= 7,07 \text{ mm}$$

Kuat rencana logam las (per-mm panjang)

$$\Phi R_n = 0,75 \cdot F_{nw} \cdot A_{we}$$

$$= 0,75 \times 0,6 \times F_{uw} \times t_e$$

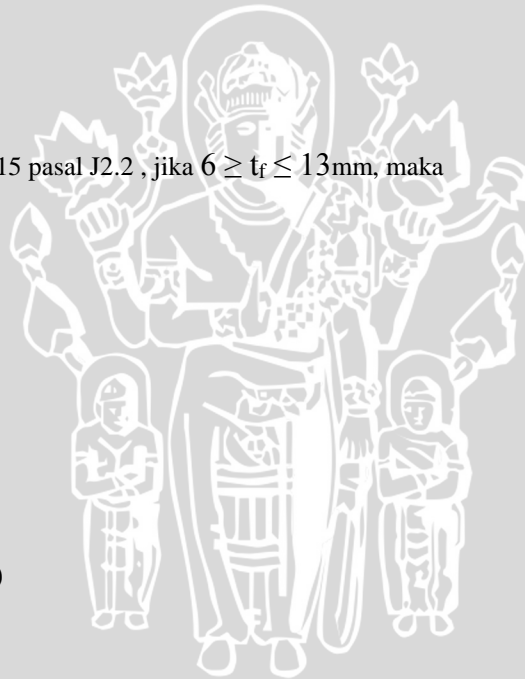
$$= 0,75 \times 0,6 \times 490 \times 7,07$$

$$= 1558,935 \text{ N}$$

Kuat rencana logam dasar (per-mm panjang)

$$\Phi R_n = 0,75 \cdot F_{nBM} A_{BM}$$

$$= 0,75 \times 0,6 \times f_u \times t_f$$



$$= 0,75 \times 0,6 \times 410 \times 12,954$$

$$= 2390,013 \text{ N}$$

Diambil kekuatan rencana yang terkecil, maka $\Phi R_n = 1558,935 \text{ N}$

Panjang total las yang dibutuhkan

$$R_u = M_u / d_{\text{profil}}$$

$$= (26488,79 \times 10000) / 406,654$$

$$= 651384 \text{ N}$$

$$L_w = \frac{R_u}{\Phi \cdot R_n}$$

$$= 651384 / 1558,935 \text{ N}$$

$$= 417,839 \text{ mm} \approx 420 \text{ mm}$$

Syarat panjang las sudut:

$$L_{\text{minn}} = 4 \cdot a$$

$$= 4 \times 10$$

$$= 40 \text{ mm}$$

Tabel 4.23 Rekapitulasi tebal dan panjang las sudut

Balok	Profil	Badan		Sayap	
		a (mm)	Lw (mm)	a (mm)	Lw (mm)
B1	W14x53	5,5	200	10	420
B2	W10x45				
B3	W18x283	5,5	100	10	50
B2	W10x45				
B1	W14x53	4,5	40	5	80
B4	W10x12				

4.7.4 Sambungan balok-kolom

Balok baja dengan kolom baja harus dihubungkan agar menjadi satu kesatuan mendekati monolite dengan sambungan berupa las. Contoh perhitungan pada balok B1 pada lantai

1. Data las:

Memakai elektrode las E80

$$F_{uw} = 560 \text{ Mpa}$$

Data balok:

$$M_{u \text{ maks}} = 30380,19 \text{ kgm}$$

$$V_{u \text{ maks}} = 20335,8 \text{ kg}$$

a. Las pada web (badan)

Persyaratan ukuran las

$$t_w = 9,398 \text{ mm}$$

menurut tabel pada SNII 1729-2015 pasal J2.2 , jika $6 \geq t_w \leq 13 \text{ mm}$, maka

$$a_{\min} = 5 \text{ mm}$$

dan jika $t_w > 6$, maka

$$\begin{aligned} a_{\max} &= t_w - 2 \\ &= 9,398 - 2 \\ &= 7,398 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga diambil $a = 7 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} t_e &= 0,707 \cdot a \text{ (ukuran sama kaki)} \\ &= 0,707 \times 7 \\ &= 4,949 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kuat rencana logam las (per-mm panjang)

$$\begin{aligned} \Phi R_n &= 0,75 \cdot F_{nw} \cdot A_{we} \\ &= 0,75 \times 0,6 \times F_{uw} \times t_e \\ &= 0,75 \times 0,6 \times 560 \times 4,949 \\ &= 1247,148 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat rencana logam dasar (per-mm panjang)

$$\begin{aligned} \Phi R_n &= 0,75 \cdot F_{nBM} \cdot A_{BM} \\ &= 0,75 \times 0,6 \times f_u \times t_w \\ &= 0,75 \times 0,6 \times 410 \times 9,398 \\ &= 1733,931 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil kekuatan rencana yang terkecil, maka $\Phi R_n = 1247,148 \text{ N}$

Panjang total las yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} L_w &= \frac{R_u}{\Phi \cdot R_n} \\ &= 20335,8 / 1247,148 \text{ N} \\ &= 163,058 \text{ mm} \approx 180 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat panjang las sudut = $L_{\min} = 4 \cdot a = 4 \times 7 = 28 \text{ mm}$

b. Las pada flens (sayap)

Persyaratan ukuran las

$$t_f = 16,764 \text{ mm}$$



menurut tabel pada SNII 1729-2015 pasal J2.2 , jika $6 \geq t_f \leq 13\text{mm}$, maka

$$a_{\min} = 5 \text{ mm}$$

dan jika $t_f > 6$, maka

$$a_{\max} = t_f - 2$$

$$= 16,764 - 2$$

$$= 14,764 \text{ mm}$$

Sehingga diambil $a = 11 \text{ mm}$

$t_e = 0,707 \cdot a$ (ukuran sama kaki)

$$= 0,707 \times 11$$

$$= 7,777 \text{ mm}$$

Kuat rencana logam las (per-mm panjang)

$$\Phi R_n = 0,75 \cdot F_{nw} \cdot A_{we}$$

$$= 0,75 \times 0,6 \times F_{uw} \times t_e$$

$$= 0,75 \times 0,6 \times 560 \times 7,777$$

$$= 1959,804 \text{ N}$$

Kuat rencana logam dasar (per-mm panjang)

$$\Phi R_n = 0,75 \cdot F_{nEM} \cdot A_{EM}$$

$$= 0,75 \times 0,6 \times f_u \times t_f$$

$$= 0,75 \times 0,6 \times 560 \times 16,764$$

$$= 4224,528 \text{ N}$$

Diambil kekuatan rencana yang terkecil, maka $\Phi R_n = 1959,804 \text{ N}$

Panjang total las yang dibutuhkan

$$R_u = M_u / d_{\text{profil}}$$

$$= (30380,19 \times 10000) / 353,568$$

$$= 859246 \text{ N}$$

$$L_w = \frac{R_u}{\Phi \cdot R_n}$$

$$= 859246 \text{ N} / 2494,296 \text{ N}$$

$$= 438,435 \text{ mm} \approx 440 \text{ mm}$$

Syarat panjang las sudut:

$$L_{\min} = 4 \cdot a$$

$$= 4 \times 11$$

$$= 56 \text{ mm}$$

Diperoleh tebal dan panjang las sudut pada balok yang lain sebagai berikut:

Tabel 4.24 Rekapitulasi tebal dan panjang las sudut

Balok	Profil	Badan		Sayap	
		a (mm)	Lw (mm)	a (mm)	Lw (mm)
B1	W14x53	7	180	11	440
B3	W18x283	15	236,8504	18	650

4.9 Simpangan

Faktor keutamaan (I_e) = 1,5

Faktor modifikasi respon (R) = 8,

C_d = faktor amplifikasi defleksi = 5,5 (untuk rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus)

$$\Delta_1 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) \cdot C_d / I_e \leq \Delta_a$$

Δ_a = simpangan antar tingkat ijin = $0,015 \cdot h_{sx}$ (tabel 16 SNI 1726-2012)

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x

Kinerja batas layan arah X:

Didapatkan perpindahan elastis (δ_e) pada lantai dasar dan lantai 1

$$\delta_{e0} = 0$$

$$\delta_{e1} = 0,004 \text{ m}$$

$$h_0 = 3,5 \text{ m}$$

$$h_1 = 7 \text{ m}$$

$$\Delta_1 = (\delta_{e1} - \delta_{e0}) \cdot C_d / I_e$$

$$= (0,004 - 0) \times 5,5 / 1,5$$

$$= 0,013 \text{ m}$$

$$\Delta_a = 0,015 \times h_{sx}$$

$$= 0,015 \times 3,5$$

$$= 0,525 \text{ m}$$

$$\Delta_1 = 0,013 < \Delta_a = 0,525 \text{ m} \quad \text{(OK)}$$

Sehingga didapatkan simpangan lantai arah x yang lain sebagai berikut:

Tabel 4.25 Simpangan arah x

No	Joint	Lantai	Tinggi (m)	δ_e (m)	Δ (m)	Δ_a (m)	Kontrol
0	152	basement	3,5	0	0	0	OK

1	28	1	7	0,004	0,013	0,525	OK
2	186	2	5	0,025	0,076	1,050	OK
3	463	3	4,5	0,039	0,053	0,750	OK
4	737	4	4,5	0,050	0,041	0,675	OK
5	922	5	4,5	0,062	0,045	0,675	OK
6	1709	6	4,5	0,075	0,047	0,675	OK
7	1818	7	4,5	0,088	0,047	0,675	OK
8	1927	8	4,5	0,100	0,045	0,675	OK
9	2036	9	4,5	0,112	0,041	0,675	OK
10	2145	10	4,5	0,121	0,036	0,675	OK
11	2254	11	4,5	0,130	0,031	0,675	OK
12	2486	12	4,5	0,137	0,026	0,675	OK
13	2630	13	4,6	0,142	0,020	0,675	OK
14	1082	top	0	0,146	0,012	0,690	OK

Kinerja batas layan arah Y:

Didapatkan perpindahan elastis (δ_e) pada lantai dasar dan lantai 1

$$\delta_{e0} = 0$$

$$\delta_{e1} = 0,002 \text{ m}$$

$$h_0 = 3,5 \text{ m}$$

$$h_1 = 7 \text{ m}$$

$$\Delta_1 = (\delta_{e1} - \delta_{e0}) \cdot C_d / I_e$$

$$= (0,002 - 0) \times 5,5 / 1,5$$

$$= 0,009 \text{ m}$$

$$\Delta_a = 0,015 \times h_{sx}$$

$$= 0,015 \times 3,5$$

$$= 0,525 \text{ m}$$

$$\Delta_1 = 0,09 < \Delta_a = 0,525 \text{ m}$$

(OK)

Sehingga didapatkan simpangan lantai arah x yang lain sebagai berikut:

Tabel 4.26 Simpangan arah y

No	Joint	Lantai	Tinggi (m)	δ_e (m)	Δ (m)	Δ_a (m)	Kontrol
0	152	basement	3,5	0	0	0	OK
1	28	1	7	0,002	0,009	0,525	OK
2	186	2	5	0,016	0,051	1,050	OK
3	463	3	4,5	0,025	0,032	0,750	OK
4	737	4	4,5	0,032	0,024	0,675	OK
5	922	5	4,5	0,038	0,024	0,675	OK
6	1709	6	4,5	0,045	0,024	0,675	OK
7	1818	7	4,5	0,051	0,023	0,675	OK
8	1927	8	4,5	0,083	0,119	0,675	OK
9	2036	9	4,5	0,091	0,029	0,675	OK
10	2145	10	4,5	0,098	0,025	0,675	OK
11	2254	11	4,5	0,104	0,021	0,675	OK

12	2486	12	4,5	0,109	0,017	0,675	OK
13	2630	13	4,6	0,112	0,013	0,675	OK
14	1082	14	0	0,114	0,006	0,690	OK

4.9 Pembahasan

Desain percobaan pada gedung B Program teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (Tahap 1) Universitas Brawijaya Malang ini mencoba menggunakan komponen komposit pada struktur gedung. Balok menggunakan bahan komposit yaitu balok baja dengan pelat beton bertulang sehingga dengan harapan kapasitas pada balok meningkat. Sedangkan untuk kolom sendiri menggunakan komponen komposit dengan profil baja terselubungi beton dengan harapan kapasitas tekan dan tekuk pada baja profil dapat diatasi. Profil balok dan kolom menggunakan profil WF dengan mutu baja A36 dan mutu beton K300. Untuk menjadi satu kesatuan struktur bangunan maka diperlukan sambungan yang diantaranya sambungan las pada balok-kolom dan balok induk-balok anak, sedangkan sambungan baut diterapkan pada sambungan antar balok dan sambungan antar kolom. Sambungan las menggunakan elektrode E80 dan sambungan baut menggunakan mutu baut tinggi A35.

Pembebanan struktur memperhitungkan beban gempa dan beban gravitasi yang dipikul oleh rangka pemikul momen. Beban lateral hanya memperhitungkan beban gempa karena efek beban angin di wilayah Indonesia tidak terlalu berpengaruh signifikan daripada beban gempa sehingga dimungkinkan beban lateral terbesar adalah beban gempa. Bangunan ini termasuk bangunan cukup tinggi dengan 13 lantai sehingga beban gempa cukup berpengaruh.

Perencanaan bangunan ini dianalisis dengan mengetahui kekuatan yang diperlukan akibat beban dan kekuatan tersedia dari elemen struktur. Kekuatan perlu dianalisis menggunakan bantuan program analisis SAP 2000 versi 17. Output yang dihasilkan berupa gaya-gaya dalam (momen, geser, aksial, defleksi). Sedangkan kekuatan tersedia harus didesain dengan SNI 1729-2015 dan SNI 1726-2012 dengan mengecek kapasitas elemen struktur dan batas beban layan, sehingga hasil akhir diharapkan kekuatan tersedia lebih besar daripada kekuatan perlu.

Percobaan dilakukan berkali-kali untuk mendapatkan profil balok dan kolom yang mencukupi. Untuk menjawab latar belakang perencanaan ini bahwa dengan sistem struktur komposit maka berat bangunan jauh lebih ringan sehingga beban gempa pada bangunan kecil dapat dibuktikan dengan hasil perhitungan berat bangunan eksisting adalah 11371753,152 kg dan berat bangunan desain adalah 5392877,76 kg. Dengan hasil

perencanaan didapatkan profil yang lebih efisien dan memenuhi sehingga dapat dibandingkan dengan bangunan eksisting seperti di bawah ini:

Tabel 4.27 Profil balok bangunan eksisting dan desain

Eksisting			
Balok	Dimensi (mm)		Struktur
	b	h	
B1	350	750	Beton bertulang
B2	300	500	Beton bertulang
B3	600	1000	Beton bertulang
B4	200	750	Beton bertulang

(a)

Desain			
Balok	Dimensi (mm)		Struktur
	b	H	
B1	204,724	353,568	Baja
B2	203,708	256,54	Baja
B3	302,006	554,99	Baja
B4	100,584	250,698	Baja

(b)

Tabel 4.28 Profil kolom bangunan eksisting (a) dan desain (b)

Kolom	Dimensi (mm)		Struktur
	b	H	
K1	1000	1000	Beton bertulang
K3	600	1000	Beton bertulang
K4	450	650	Beton bertulang
K5	450	650	Beton bertulang

(a)

Kolom	Dimensi (mm)		Struktur
	B	H	
K1	680	680	Komposit
K3	500	500	Komposit

K4	350	500	Komposit
K5	264,541	288,544	Baja

(b)

Pelat lantai dan balok baja terhubung secara monolit dengan adanya penghubung geser sehingga tumpuan pelat menjadi jepit. Hal ini menyebabkan kekakuan lantai komposit lebih tinggi dari kekakuan lantai beton yang balok bajanya terhubung secara terpisah. Dalam aksi komposit pelat beton bekerja sebagai pelat satu arah sepanjang bentang balok baja yang memanfaatkan dan menggabungkan kedua kekuatan dari komponen material tersebut sehingga momen inersia pelat lantai dalam arah balok meningkat banyak sehingga kekakuan yang meningkat akan mengurangi lendutan.



