

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG MARITIME EDUCATION AND TRAINING BP3IP JAKARTA

Karang Fakta Setiawan, Mufti Arif Budi Y.
Himawan Indarto, Bambang Pardoyo
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang. 50239,
Telp : (024) 7474770, Fax : (240) 7460060

ABSTRAK

Perencanaan Struktur Gedung *Maritime Education and training Improvement* BP3IP Jakarta yang terdiri dari enam lantai terletak di zona gempa 3 (sedang) didesain menggunakan sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan mengacu pada ketentuan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-2847-2001. Berdasarkan SNI beton yang berlaku (SNI 03-2847-2002) struktur beton bertulang tahan gempa direncanakan dengan mengaplikasikan konsep desain kapasitas (*capacity design*). Penerapan dari konsep desain kapasitas ini untuk bangunan yang menerima gempa adalah konsep "strong columb weak beam".

Dalam desain , analisis dan sitem struktur perlu diperhitungkan terhadap kemungkinan terjadinya kombinasi pembebanan (*load combination*) dan beberapa kasus beban yang dapat bekerja secara bersamaan selama umur rencana menurut Peraturan Pembebanan Untuk Rumah dan gedung 1989.

Jenis tanah dasar pada Gedung *Maritime Education and training Improvement* BP3IP Jakarta berdasarkan nilai Test Penetrasi Standar N termasuk dalam tanah sedang.

Dalam analisis struktur terhadap gaya gempa menggunakan metode analisis dinamis yaitu menggunakan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Spectrum Modal Analysis*) dimana respon maksimum dan tiap ragam getar struktur yang terjadi didapat dari Spektrum Respon Rencana (*Design Spectra*).

Analisa struktur pada perencanaan struktur gedung ini dilakukan dengan menggunakan program SAP 2000 V.14 yang merupakan salah satu program analisis struktur yang telah luas dalam dunia teknik sipil.

ABSTRACT

Structural Design of *Maritime Education and Training Improvement* BP3IP Jakarta consists of six floors is located in seismic zone 3 (medium) frame structure is designed using a system of bearer Moment Medium (SRPMM) with reference to the provisions of SNI 03-1726-2002 and SNI 03-2847 - of 2001. Based on the prevailing concrete SNI (SNI 03-2847-2002) earthquake-resistant reinforced concrete structures are planned by applying the concept kapasitas design (design capacity). Implementation of this design concept for building the capacity of the receiving earthquake is the concept of "strong Columb weak beam".

In the design, analysis and structure need to be taken into account Sitem to the possibility of a combination of loading (load combination) and some load cases that can work

simultaneously over the life of the plan according Regulation Charging For Home and building 1989.

The soil types on the basis of Maritime Education and Training Building Improvement BP3IP Jakarta based on Standard Penetration Test N values in soils are included.

In the structural analysis of earthquake forces using the method of dynamic analysis using Response Spectrum Analysis of Variety (Capital Spectrum Analysis) where the maximum response, and every variety of vibrating structures that occur from the spectra obtained Response Plan (Design Spectra).

Analysis on the structural design of building structures is performed using the program SAP 2000 V.14, which is one program which has extensive structural analysis in civil engineering world.

PENDAHULUAN

Perencanaan Struktur Gedung *Maritime Education and training Improvement* BP3IP Jakarta yang terdiri dari enam lantai terletak di zona gempa 3 (sedang) didesain menggunakan sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan mengacu pada ketentuan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-2847-2001.

Perencanaan meliputi:

1. Perencanaan pelat lantai
2. Perencanaan tangga
3. Perencanaan balok
4. Perencanaan kolom
5. Perencanaan pondasi

DASAR TEORI

Konsep Desain Kapasitas pada Struktur Gedung

Berdasarkan SNI beton yang berlaku (SNI 03-2847-2002), struktur beton bertulang tahan gempa direncanakan dengan mengaplikasikan konsep desain kapasitas (*capacity design*). Pada konsep ini, gaya gempa elastik dapat direduksi dengan suatu faktor modifikasi response struktur (faktor R), yang merupakan representasi tingkat daktilitas yang dimiliki struktur.

Pembebanan Struktur

Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan Tetap

$$U = 1,4.D$$

$$U = 1,2.D + 1,6.L$$

Kombinasi Pembebanan Sementara

$$U = 1,2 D + 0,5.L + 1,0.(I/R).Ex + 0,3(I/R).Ey$$

$$U = 1,2 D + 0,5.L + 0,3.(I/R).Ex + 1,0(I/R).Ey$$

dimana :

- D = beban mati
- L = beban hidup
- Ex, Ey = beban gempa
- I = faktor keutamaan struktur
- R = faktor reduksi gempa

Faktor Keutamaan Struktur (I)

Faktor Keutamaan bangunan berdasarkan SNI 03-1726-2002 (halaman 12 tabel 1) untuk bangunan umum seperti perkantoran adalah sebesar 1.

Faktor Reduksi Gempa (R)

Faktor Reduksi Gempa ditentukan berdasarkan SNI 03-1726-2002 (halaman 14,tabel 2). Untuk Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah beton (SRPMM), nilai Faktor Reduksi gempa ditentukan sebesar 5,5.

Penentuan Jenis Tanah

Kedalaman	Tebal Lapisan (ti)	N	N.ti
0.00-2.00	2	2	4
2.00-3.50	1,5	4	6
3.50-5.00	1,5	8,5	12,75
5.00-6.50	1,5	13,5	20,25
6.50-8.00	1,5	16	24
8.00-9.50	1,5	19,5	29,25
9.50-11.00	1,5	22	33
11.00-12.50	1,5	21	31,5
12.50-14.00	1,5	22,5	33,75
14.00-15.50	1,5	50,5	75,75
15.50-17.00	1,5	77,5	116,25
17.00-18.50	1,5	75,5	113,25
18.50-20.00	1,5	69,5	104,25
20.00-21.50	1,5	74	111
21.50-23.00	1,5	77,5	116,25
23.00-24.50	1,5	72,5	108,75
24.50-26.00	1,5	58	87
26.00-27.50	1,5	41,5	62,25
27.50-29.00	1,5	69	103,5
29.00-30.50	1,5	29,5	44,25
	30,5		1237

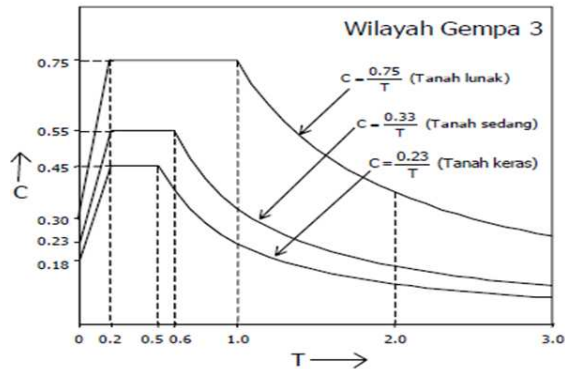
Nilai hasil Test Penetrasi Standar rata-rata (\bar{N}) :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^m ti}{\sum_{i=1}^m Ni} = \frac{1237}{30,5} = 40,57$$

Dari Tabel 4.1 Jenis-Jenis Tanah, untuk kedalaman 30 meter dengan Nilai hasil Test Penetrasi Standar rata-rata $15 \leq \bar{N} < 50$, maka tanah di bawah bangunan ditetapkan sebagai tanah **sedang**.

Zona Gempa dan Respons spectrum

Berdasarkan peta wilayah gempa Indonesia pada SNI 03-1726-2002, Gedung METI terletak di Jakarta Utara termasuk dalam wilayah gempa 3.



Perhitungan Berat Bangunan (Wt)

Berat tiap lantai bangunan dihitung dari beban mati dan beban hidup dengan faktor reduksi 0,3 sesuai ketentuan sebagai berikut:

$$W_t = 100\% DL + 30\% LL$$

Dimana :

DL = Beban mati elemen struktur (berat struktur, beban dinding dan tangga)

LL = Beban hidup pada tiap lantai gedung.

Elevasi	Berat	Massa
	(ton)	(ton.s ² /m)
Lt.7 (atap)	236.83	24.14
Lt.6	672.01	68.50
Lt.5	1069.58	109.03
Lt.4	980.79	99.98
Lt.3	980.79	99.98
Lt.2	1118.28	113.99

Analisa Modal

Hasil analisa SAP 2000

TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1.068.897	0.952505	0.040993	0.952505	0.040993
MODAL	Mode	2	0.999098	0.042176	0.956892	0.994681	0.997884
MODAL	Mode	3	0.338983	0.005277	0.002055	0.999958	0.999939
MODAL	Mode	4	0.182621	4,30E-04	1,06E-05	0.999958	0.999939
MODAL	Mode	5	0.171997	1,70E-05	6,61E-04	0.999958	0.99994
MODAL	Mode	6	0.152423	1,13E-05	2,44E-06	0.999958	0.99994

Hasil analisa memperlihatkan bahwa akselerasi arah x dan arah y mempunyai ratio *modal load participation* > 90% (0,99 dalam ratio) pada ragam getar ke 2, hal ini menunjukkan bahwa analisis memenuhi ketentuan 7.2.1 SNI 03-1726-2002 analisis ragam spectrum respons.

Waktu Getar Struktur

$T_1 < \zeta n$ (Berdasarkan pasal 5.6 SNI-1726-2002)

$\zeta n = 0,18 \times 6 = 1,08$ detik.

$\zeta = 0,18$ (Berdasarkan Tabel 8 SNI-1726-2002, untuk wilayah gempa 3)

$V \geq 0,8 V_1$ (Pasal 7.1.3 SNI-1726-2002)

$V_1 = C_1 I W_t / R$

Evaluasi gempa arah-X

$T_x = 1,068$ detik < T_1 maks = 1,08 detik (OK)

$C_1 = 0,33/1,08 = 0,305$

$V_1 = C_1 \cdot I \cdot W_t / R = 0,305 \times 1 \times 6731.59 / 5,5 = 373,29$ ton

Hasil analisa spektrum respons :

$V_x = 429.569$ ton > $0,8 \times V_1 = 298,64$ ton (OK)

Evaluasi gempa arah-Y

$T_y = 0,99$ detik < T_1 maks = 1,08 detik (OK)

$C_1 = 0,33/1,08 = 0,305$, sehingga

$V_1 = C_1 \cdot I \cdot W_t / R = 0,305 \cdot 1 \cdot 6731.59 / 5,5 = 373,29$ ton

Hasil analisa spektrum respons :

$V_y = 454.001$ ton > $0,8 \times V_1 = 298,64$ ton (OK)

Kinerja Batas Layan dan Kinerja Batas Ultimit

Joint	CaseType	StepType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
94	Combination	Max	1.659.022	1.491.013	-0.449465
94	Combination	Min	-1.621.885	-1.572.804	-0.555343
186	Combination	Max	1.659.022	1.491.013	-0.824196
186	Combination	Min	-1.621.885	-1.572.804	-1.012.404
278	Combination	Max	1.659.022	1.491.013	-1.125.592
278	Combination	Min	-1.621.885	-1.572.804	-1.382.904
367	Combination	Max	1.659.022	1.491.013	-1.354.567
367	Combination	Min	-1.621.885	-1.572.804	-1.666.291
482	Combination	Max	1.659.022	1.491.013	-1.510.531
482	Combination	Min	-1.621.885	-1.572.804	-1.862.199
523	Combination	Max	1.659.022	1.491.013	-1.592.961
523	Combination	Min	-1.621.885	-1.572.804	-1.970.157

Kinerja Batas Layan

Syarat simpangan batas layan = $(0,03/5,5) \times 4200 = 22,9$ mm

Simpangan antar tingkat arah-X = 1,6590 mm < 22,9 mm (OK)

Simpangan antar tingkat arah-Y = 1,5728 mm < 22,9 mm (OK)

Kinerja Batas Ultimit

Syarat batas simpangan antar tingkat = $0,02 \times 4200 = 84 \text{ mm}$

Simpangan antar tingkat yang terjadi = $1,659 \times 0,7 \times 5,5 = 6,387 \text{ mm} < 84 \text{ mm}$ (OK)

Perencanaan Dimensi Struktur

Perencanaan Dimensi Balok

$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L_b$ (Berdasarkan SNI 03-2847-2002 Ps.11.5 tabel 8)

Dimensi Balok Induk :

Balok Induk dengan bentang (L_b) = 7,2 m (bentang terpanjang pada denah)

$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 720 = 45 \text{ cm}$

dipakaitinggi balok (h) = 50 cm

dipakai lebar balok (b) = 30 cm

$b/h = 30/50 = 0,6 > 0,3$ (OK)

Dimensi balok Induk 30/50

Perencanaan Dimensi Pelat

$h = \frac{I_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta}$ (Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 11.5.3.3)

Balok B₁ $I_b = \frac{1}{12} \times 30 \times 50^3 = 312500 \text{ cm}^4$

Balok B₂ $I_b = \frac{1}{12} \times 25 \times 50^3 = 260416,67 \text{ cm}^4$

Pelat I_{p1} = $\frac{1}{12} \times 720 \times 12^3 = 103680 \text{ cm}^4$

Pelat I_{p2} = $\frac{1}{12} \times 347,5 \times 12^3 = 50040 \text{ cm}^4$

Untuk Balok B1 dengan lebar pelat 720 cm

$\alpha_1 = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cp} I_p} = \frac{312500 \text{ cm}^4}{103680 \text{ cm}^4} = 3,0140$

Untuk Balok B2 dengan lebar pelat 347,5 cm

$\alpha_2 = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cp} I_p} = \frac{260416,67 \text{ cm}^4}{50040 \text{ cm}^4} = 5,20$

Untuk Balok B2 dengan lebar pelat 720 m

$\alpha_3 = \alpha_1 = 3,014$

Untuk Balok B2 dengan lebar pelat 347,5 m

$\alpha_4 = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cp} I_p} = \frac{312500 \text{ cm}^4}{50040 \text{ cm}^4} = 6,245$

α_m adalah nilai rata-rata (α) dari semua tepi-tepi panel :

$\alpha_m = \frac{(\alpha_1) + (\alpha_2) + (\alpha_3) + (\alpha_4)}{4}$

$\alpha_m = \frac{(3,014) + (5,20) + (3,014) + (6,245)}{4}$

$\alpha_m = 4,369$

$h = \frac{6,9 \left(0,8 + \frac{240}{1500}\right)}{36 + \left(9 \times \frac{6,9}{3,175}\right)}$

$h = 0,1192 \text{ m} = 119,2 \text{ mm}$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm,

Maka digunakan pelat dengan tebal (h)= 120mm

Perencanaan Dimensi Kolom

Direncanakan dimensi kolom 0,6 x0,6 m

Perencanaan Dimensi Tangga

$$2.t + i = 64 \text{ s/d } 67$$

$$2.t + i = 66$$

$$(2 \times 18) + i = 66$$

$$i = 30 \text{ cm}$$

Direncanakan :

Lebar injakan (i) : 30 cm

Tanjakan (t) : 17,5 cm

Tebal Pelat Tangga : 14 cm

Tebal Pelat Bordes : 14 cm

Jumlah tanjakan tangga kebawah = keatas

$$(n.t) = \frac{210}{17,5} = 12 \text{ buah}$$

(n.i) = 12 buah (tidak termasuk bordes)

Panjang Horizontal tangga : $30 \times 12 = 360 \text{ cm}$

Lebar Bordes: $500 - 360 = 140 \text{ cm}$

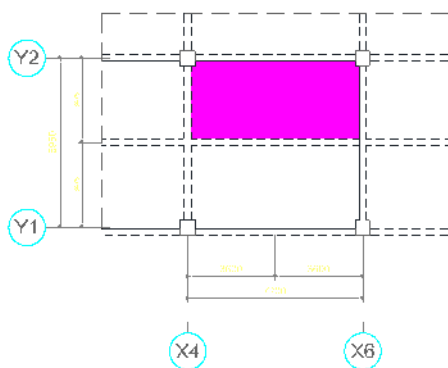
Sudut kemiringan: $\text{Arc tg } (210/360) = 30,25^\circ$

Tebal pelat rata-rata

$$\begin{aligned} \text{Tebal rata-rata} &= (i/2) \times \sin \alpha \text{ (injakan dan tanjakan)} \\ &= (30/2) \times \sin 30,25 = 7,56 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Tebal rata-rata pelat tangga} = 14 + 7,56 = 21,56 \text{ cm}$$

Perencanaan Struktur Pelat



Data-data penulangan pelat lantai:

Bentang panjang $L_y = 7,2 \text{ m}$; Bentang pendek $L_x = 3,475 \text{ m}$

Tebal plat $h = 120 \text{ mm}$

Tebal selimut $p = 20 \text{ mm}$

Diameter tulangan rencana = D10 mm.

Mutu baja tulangan $f_y = 240 \text{ MPa}$

Mutu beton $f'_c = 25 \text{ MPa}$

Tinggi efektif pelat lantai :

$$d_y = h - p - (0,5 \text{ } \emptyset \text{ tul}) = 120 - 20 - (0,5 \times 10) = 95 \text{ mm}$$

$$d_x = h - p - \emptyset \text{ tul} - (0,5 \text{ } \emptyset \text{ tul}) = 120 - 20 - 10 - (0,5 \times 10) = 85 \text{ mm}$$

Penulangan lapangan arah-x ($M_{lx} = 4,965 \cdot 10^6$ Nmm)

Ditinjau per meter lebar pelat, $b = 1000$ mm

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{4,96 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1000 \cdot 85^2} = 0,8382 \text{ MPa}$$

Tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen (a):

$$a = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f_c}} \right] \cdot d = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,8382}{0,85 \cdot 25}} \right] \cdot 85 = 3,4255 \text{ mm}$$

Luas tulangan perlu ($A_{s,u}$)

$$A_{s,u} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 3,4255 \cdot 1000}{240} = 303,299 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan minimum:

$$f'_c < 31,36 \text{ Mpa, jadi } A_{s-\min} \geq \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d = \frac{1,4}{240} \cdot 1000 \cdot 85 = 495,83 \text{ mm}^2$$

Dipilih luas tulangan perlu, $A_{s,u} = 495,83 \text{ mm}^2$

Jarak spasi tulangan (s):

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2 \cdot 1000}{495,83} = 158,32 \text{ mm}$$

Spasi tulangan maksimum :

$$s \leq (2 \cdot h = 2 \cdot 120 = 240 \text{ mm})$$

Dipakai spasi tulangan $s = 150 \text{ mm} (< 158,32 \text{ mm})$ OK

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 523,33 \text{ mm}^2 > A_{s,u} = 495,83 \text{ OK}$$

Jadi dipakai tulangan pokok $A_s = D10-150 = 523,33 \text{ mm}^2$

Penulangan tumpuan arah-x ($M_{tx} = -8,917 \cdot 10^6$ Nmm)

Ditinjau per meter lebar pelat, $b = 1000$ mm

Faktor momen pikul (K) :

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{8,917 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1000 \cdot 85^2} = 1,5427 \text{ Mpa}$$

Tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen (a):

$$a = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f_c}} \right] \cdot d = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,5427}{0,85 \cdot 25}} \right] \cdot 85 = 6,4129 \text{ mm}$$

Luas tulangan perlu ($A_{s,u}$)

$$A_{s,u} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 6,4129 \cdot 1000}{240} = 303,29 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan minimum:

$$f'_c < 31,36 \text{ Mpa, jadi } A_{s-\min} \geq \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d = \frac{1,4}{240} \cdot 1000 \cdot 85 = 495,83 \text{ mm}^2$$

Dipilih luas tulangan perlu, $A_{s,u} = 495,83 \text{ mm}^2$

Jarak spasi tulangan(s):

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2 \cdot 1000}{495,83} = 158,32 \text{ mm}$$

Spasi tulangan maksimum :

$$s \leq (2 \cdot h = 2 \cdot 120 = 240 \text{ mm})$$

Dipakai spasi tulangan $s = 120 \text{ mm} (< 158,32 \text{ mm})$ OK

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{120} = 654,16 \text{ mm}^2 > A_{s,u} = 495,83 \text{ OK}$$

Jadi dipakai tulangan pokok $A_s = D10-120 = 654,16 \text{ mm}^2$

Tulangan bagi (susut dan suhu): $A_{sb} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 120 = 240 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan bagi:

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 8^2 \cdot 1000}{240} = 209,33 \text{ mm}$$

Spasi tulangan bagi maksimal :

$$s \leq (5 \cdot h = 5 \cdot 120 = 600 \text{ mm}) \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

Dipakai spasi tulangan bagi s : 200 mm (< 209,33 mm) OK

$$\text{Luas Tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2 \cdot 1000}{200} = 251,2 \text{ mm}^2 > A_{sb} = 240 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Penulangan lapangan arah-y ($M_{ly} = 4,826 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$)

Ditinjau per meter lebar pelat, b = 1000 mm

Faktor momen pikul (K) :

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{4,826 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1000 \cdot 85^2} = 0,8339 \text{ Mpa}$$

Tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen (a):

$$a = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f_c}} \right] \cdot d = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,8339}{0,85 \cdot 25}} \right] \cdot 95 = 3,8049 \text{ mm}$$

Luas tulangan perlu ($A_{s,u}$):

$$A_{s,u} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 3,8049 \cdot 1000}{240} = 336,89 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan minimum:

$$f_c' < 31,36 \text{ Mpa, jadi } A_{s-\min} \geq \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d = \frac{1,4}{240} \cdot 1000 \cdot 95 = 554,167 \text{ mm}^2$$

Dipilih luas tulangan perlu, $A_{s,u} = 554,167 \text{ mm}^2$

Jarak spasi tulangan (s) :

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2 \cdot 1000}{554,167} = 141,65 \text{ mm}$$

Spasi tulangan maksimal :

$$s \leq (2 \cdot h = 2 \cdot 120 = 240 \text{ mm})$$

Dipakai spasi tulangan s = 120 mm (< 141,65 mm)

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{120} = 654,167 \text{ mm}^2 > A_{s,u} = 554,167 \text{ OK}$$

Jadi dipakai tulangan pokok $A_s = D10-120 = 654,167 \text{ mm}^2$

Penulangan tumpuan arah-y ($M_{ty} = -9,547 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$)

Ditinjau per meter lebar pelat, b = 1000 mm

Faktor momen pikul (K) :

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{9,547 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1000 \cdot 95^2} = 1,3213 \text{ Mpa}$$

Tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen (a):

$$a = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f_c}} \right] \cdot d = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,3213}{0,85 \cdot 25}} \right] \cdot 95 = 6,1051 \text{ mm}$$

Luas tulangan perlu ($A_{s,u}$):

$$A_{s,u} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 6,1051 \cdot 1000}{240} = 540,55 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan minimum:

$$f_c' < 31,36 \text{ Mpa, jadi } A_{s-\min} \geq \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d = \frac{1,4}{240} \cdot 1000 \cdot 95 = 554,167 \text{ mm}^2 \text{ Dipilih luas}$$

tulangan perlu, $A_{s,u} = 554,167 \text{ mm}^2$

Jarak spasi tulangan (s) :

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2 \cdot 1000}{554,167} = 141,65 \text{ mm}$$

Spasi tulangan maksimal :

$$s \leq (2 \cdot h = 2 \cdot 120 = 240 \text{ mm})$$

Dipakai spasi tulangan s = 100 mm (< 141,65 mm)

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{100} = 785 \text{ mm}^2 > A_{s,u} = 554,167 \text{ OK}$$

Jadi dipakai tulangan pokok $A_s = D10-100 = 785 \text{ mm}^2$

Tulangan bagi (susut dan suhu) : $A_{sb} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 120 = 240 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan bagi:

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 8^2 \cdot 1000}{240} = 209,33 \text{ mm}$$

Spasi tulangan bagi maksimal :

$s \leq (5 \cdot h = 5 \cdot 120 = 600 \text{ mm})$ atau 450 mm

Dipakai spasi tulangan bagi $s : 200 \text{ mm} (< 209,33 \text{ mm}) \text{ OK}$

$$\text{Luas Tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2 \cdot 1000}{200} = 251,2 \text{ mm}^2 > A_{sb} = 240 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Perencanaan Tangga

Dalam perencanaan ini tangga dimodelkan sebagai frame sederhana 2 dimensi, tumpuannya diasumsikan sebagai sendi-rol.

1. Beban mati (DL)

- Berat sendiri : $(0,2156 \times 2400) / \cos 30,25 = 599 \text{ kg/m}^2$
 - Spesi (2 cm): $2 \times 21 = 42 \text{ kg/m}^2$
 - Keramik (1 cm): $1 \times 24 = 24 \text{ kg/m}^2$
 - Sandaran $= 30 \text{ kg/m}^2$
- DL $= 695 \text{ kg/m}^2$

2. Beban Hidup

$$LL = 300 \text{ kg/m}^2$$

Kombinasi

$$\begin{aligned} Q_u &= (1,2 \times DL) + (1,6 \times LL) \\ &= (1,2 \times 695) + (1,6 \times 300) \\ &= 1314 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Pembebanan Pelat Bordes

1. Beban mati (DL)

- Berat sendiri : $0,14 \times 2400 = 336 \text{ kg/m}^2$
 - Spesi (2 cm): $2 \times 21 = 42 \text{ kg/m}^2$
 - Keramik (1 cm): $1 \times 24 = 24 \text{ kg/m}^2$
 - Sandaran $= 30 \text{ kg/m}^2$
- DL $= 432 \text{ kg/m}^2$

2. Beban Hidup

$$LL = 300 \text{ kg/m}^2$$

Kombinasi

$$\begin{aligned} Q_u &= (1,2 \times DL) + (1,6 \times LL) \\ &= (1,2 \times 432) + (1,6 \times 300) \\ &= 998,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Penulangan tangga

Penulangan pelat tangga

Data Perencanaan:

- $f'_c = 25 \text{ MPa}$

- $f_y = 400 \text{ MPa}$
- $M_u = 4196,67 \text{ kgm}$

Arah-X

$$dx = 140 - 20 - (16/2) = 112 \text{ mm}$$

Ditinjau per meter lebar pelat, $b = 1000 \text{ mm}$

Faktor momen pikul (K) :

$$K_{\text{maks}} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot (600 + f_y - 225\beta_1)}{(600 + f_y)^2} = \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 25 \cdot (600 + 400 - 225 \cdot 0,85)}{(600 + 400)^2} = 6,5736$$

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{4196,67 \cdot 10^4}{0,8 \cdot 1000 \cdot 112^2} = 4,1819 \text{ MPa}$$

$K < K_{\text{maks}}$ (dipakai tulangan tunggal)

Tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekivalen (a):

$$a = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'_c}} \right] \cdot d = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 4,1819}{0,85 \cdot 25}} \right] \cdot 112 = 24,783 \text{ mm}$$

Luas tulangan perlu ($A_{s,u}$)

$$A_{s,u} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 24,78 \cdot 1000}{400} = 1316,63 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan minimum:

$$f'_c < 31,36 \text{ MPa, jadi } A_{s-\text{min}} \geq \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d = \frac{1,4}{400} \cdot 1000 \cdot 112 = 392 \text{ mm}^2$$

Dipilih luas tulangan perlu, $A_{s,u} = 1316,63 \text{ mm}^2$

Jarak spasi tulangan (s):

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \cdot 1000}{1316,63} = 152,63 \text{ mm}$$

Spasi tulangan maksimum :

$$s \leq (2 \cdot h = 2 \cdot 140 = 280 \text{ mm})$$

Dipakai spasi tulangan $s = 150 \text{ mm} (< 152,63 \text{ mm})$ OK

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 1000}{150} = 1339,73 \text{ mm}^2 > A_{s,u} = 1316,63 \text{ OK}$$

Jadi dipakai tulangan pokok $A_s = D16-150 = 1339,73 \text{ mm}^2$

Arah-Y

Penulangan arah y dipasang tulangan sebesar :

A_s susut + suhu dimana untuk $f_y = 400 \text{ MPa}$, $\rho = 0,0018$ (SNI 03-2847 pasal 9.12(2(1)))

$$A_{sp} = \rho \cdot b \cdot h = 0,0018 \cdot 1000 \cdot 140 = 252 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan D10-250

$$A_{spakai} = 314 \text{ mm}^2 > 252 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Penulangan pelat bordes

Data Perencanaan:

- $f'_c = 25 \text{ MPa}$
- $f_y = 400 \text{ MPa}$
- $M_u = 3464,58 \text{ kgm}$

Arah-X

$$dx = 140 - 20 - (16/2) = 112 \text{ mm}$$

Ditinjau per meter lebar pelat, $b = 1000 \text{ mm}$

Faktor momen pikul (K) :

$$K_{\text{maks}} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot (600 + f_y - 225\beta_1)}{(600 + f_y)^2} = \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 25 \cdot (600 + 400 - 225 \cdot 0,85)}{(600 + 400)^2} = 6,5736$$

$$K = \frac{Mu}{\emptyset \cdot b \cdot d^2} = \frac{3464,58 \cdot 10^4}{0,8 \cdot 1000 \cdot 112^2} = 3,4524 \text{ MPa}$$

$K < K_{maks}$ (dipakai tulangan tunggal)

Tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen (a):

$$a = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f_c}} \right] \cdot d = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 3,4524}{0,85 \cdot 25}} \right] \cdot 112 = 19,98 \text{ mm}$$

Luas tulangan perlu ($A_{s,u}$)

$$A_{s,u} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 19,98 \cdot 1000}{400} = 1061,57 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan minimum:

$$f_c' < 31,36 \text{ MPa, jadi } A_{s-\min} \geq \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d = \frac{1,4}{400} \cdot 1000 \cdot 112 = 392 \text{ mm}^2$$

Dipilih luas tulangan perlu, $A_{s,u} = 1061,57 \text{ mm}^2$

Jarak spasi tulangan (s):

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \cdot 1000}{1061,57} = 189,30 \text{ mm}$$

Spasi tulangan maksimum :

$$s \leq (2 \cdot h = 2 \cdot 140 = 280 \text{ mm})$$

Dipakai spasi tulangan $s = 150 \text{ mm} (< 152,63 \text{ mm})$ OK

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 1000}{150} = 1339,73 \text{ mm}^2 > A_{s,u} = 1061,57 \text{ OK}$$

Jadi dipakai tulangan pokok $A_s = D16-150 = 1339,73 \text{ mm}^2$

Arah-Y

Penulangan arah y dipasang tulangan sebesar :

As susut + suhu dimana untuk $f_y = 400 \text{ MPa}$, $\rho = 0,0018$ (SNI 03-2847 pasal 9.12(2(1)))

$$A_{sp} = \rho \times b \times h = 0,0018 \times 1000 \times 140 = 252 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan D10-250

$$A_{spakai} = 314 \text{ mm}^2 > 252 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Perencanaan Balok

Data-data yang digunakan untuk penulangan balok :

Tinggi balok = 500 mm

Lebar balok = 300 mm

Mutu beton $f_c' = 25 \text{ MPa}$

Mutu baja tulangan $f_y = 400 \text{ MPa}$

Diameter tulangan utama: D-22 ($A_s = 380 \text{ mm}^2$)

Diameter tulangan sengkang = D-10 mm ($A_s = 78,5 \text{ mm}^2$)

Decking = 40 mm

$$d = 500 - (40 + 10 + 22/2) = 439 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + (22/2) = 61 \text{ mm}$$

Penulangan Lentur Tumpuan

$$M_u^- = 20,22 \text{ tm} = 20,22 \times 10^7 \text{ Nmm (output SAP 2000)}$$

$$K_{maks} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot (600 + f_y - 225 \beta_1)}{(600 + f_y)^2} = \frac{382,5 \cdot 0,85 \cdot 25 \cdot (600 + 240 - 225 \cdot 0,85)}{(600 + 240)^2} = 7,47$$

$$K = \frac{Mu}{\emptyset \cdot b \cdot d^2} = \frac{20,22 \times 10^7}{0,8 \cdot 300 \cdot 439^2} = 4,40$$

$K < K_{maks}$ (cukup untuk tulangan tunggal)

c (mm)	ρ	Mn (N-mm)	\emptyset	$\emptyset \cdot Mn$ (N-mm)
92	0.0127	2,6E+08	0.8	2,1E+08

$$\emptyset.M_n > M_u^-$$

$$210470366,3 \text{ Nmm} > 202200000 \text{ Nmm} \quad \text{OK}$$

Luas tulangan tarik (A_s):

$$A_s = \rho b d = 0,0127 \times 300 \times 439 = 1667,79 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan tarik 5-D22 } (A_s = 1900 \text{ mm}^2) > A_{s-\text{min}} = 460,95 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan tekan (A_s'):

$$A_s' = 0,5 \rho b d = 0,5 \times 0,0127 \times 300 \times 439 = 833,90 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan tekan 3-D22 } (A_s' = 1140 \text{ mm}^2) > A_{s-\text{min}} = 460,95 \text{ mm}^2$$

Kontrol kekuatan

Lentur Negatif

Tulangan tarik terpasang 5-D22 ($A_s = 1900 \text{ mm}^2$)

Tulangan tekan terpasang 3-D22 ($A_s' = 1140 \text{ mm}^2$)

$$d_{\text{aktual}} = 500 - (40 + 10 + 22 + (25/5)) = 423 \text{ mm}$$

persamaan kesetimbangan:

$$0,85 f'_c a b + A_s' f_s' - A_s f_y = 0$$

$$0,85 f'_c \beta c b + A_s' E_s \left[\frac{c-d'}{c} \right] \epsilon_{cu}' - A_s f_y = 0$$

$$0,85 f'_c \beta b c^2 + [A_s' E_s \epsilon_{cu}' - A_s f_y] c - A_s' E_s \epsilon_{cu}' d' = 0$$

Dengan rumus abc didapat nilai $c = 98,55 \text{ mm}$

$$a = \beta c = 0,85 \times 98,55 = 83,77 \text{ mm}$$

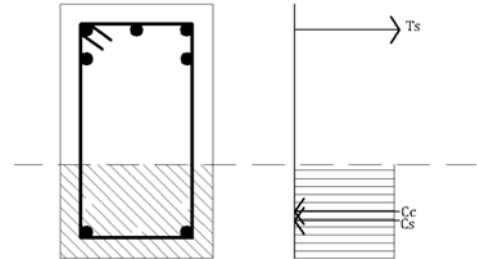
$$C_c' = 0,85 f'_c a b = 0,85 \times 25 \times 83,77 \times 300 = 534033,75 \text{ N}$$

$$C_s' = A_s' f_s = A_s' E_s \left[\frac{c-d'}{c} \right] \epsilon_{cu}' = 1140 \times 2.10^5 \times \left[\frac{98,55 - 61}{98,55} \right] 0,003 = 260621 \text{ N}$$

$$M_n^- = C_c' \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s' (d - d')$$

$$= 534033,75 \left[423 - \frac{83,77}{2} \right] + 260621 [423 - 61]$$

$$= 297867669,8 \text{ Nmm} > \frac{M_u^-}{\emptyset} = 252820000 \text{ Nmm} \quad \text{OK}$$



Lentur Positif

Tulangan tekan terpasang 5-D22 ($A_s' = 1900 \text{ mm}^2$)

Tulangan tarik terpasang 3-D22 ($A_s = 1140 \text{ mm}^2$)

$$d_{\text{aktual}} = 500 - (40 + 10 + 22/2) = 439 \text{ mm}$$

persamaan kesetimbangan:

$$0,85 f'_c a b + A_s' f_s - A_s f_y = 0$$

$$0,85 f'_c \beta c b + A_s' E_s \left[\frac{c-d'}{c} \right] \epsilon_{cu}' - A_s f_y = 0$$

$$0,85 f'_c \beta b c^2 + [A_s' E_s \epsilon_{cu}' - A_s f_y] c - A_s' E_s \epsilon_{cu}' d' = 0$$

Dengan rumus abc didapat nilai $c = 70,55 \text{ mm}$

$$a = \beta c = 0,85 \times 70,55 = 59,97 \text{ mm}$$

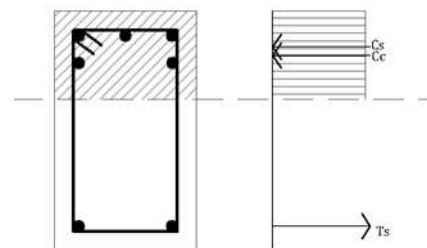
$$C_c' = 0,85 f'_c a b = 0,85 \times 25 \times 59,97 \times 300 = 382308,75 \text{ N}$$

$$C_s' = A_s' f_s = A_s' E_s \left[\frac{c-d'}{c} \right] \epsilon_{cu}' = 1900 \times 2.10^5 \times \left[\frac{70,55 - 77}{70,55} \right] 0,003 = -104223,95 \text{ N}$$

$$M_n^+ = C_c' \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s' (d - d')$$

$$= 382308,75 \left[439 - \frac{59,97}{2} \right] - 104223,95 [439 - 77]$$

$$= 118634901 \text{ Nmm}$$



Persyaratan sistem SRPMM bahwa: Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

Periksa yang terbesar diantara:

- 1) $M_u^+ = 5,27 \text{ tm} = 52700000 \text{ Nmm}$ (output SAP2000)
- 2) $M_u^+ = 1/3 \times \emptyset.M_n^- = 1/3 \times 0,8 \times 297867669,8 \text{ Nmm}$
 $= 79431378,61 \text{ Nmm}$ (menentukan)

Check momen:

$$\emptyset.M_n^+ \geq M_u^+$$

$$0,8 \times 118634901 \text{ Nmm} > 79431378,61 \text{ Nmm}$$

$$94907920,8 \text{ Nmm} > 79431378,61 \text{ Nmm} \text{ OK}$$

Rasio tulangan:

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{1900}{300 \cdot 439} = 0,0144 \quad (\rho_{\min} = 0,0035 < \rho = 0,0144 < \rho_{\max} = 0,0203) \text{ OK}$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{bd} = \frac{1140}{300 \cdot 439} = 0,0086 \quad (\rho_{\min} = 0,0035 < \rho' = 0,0086 < \rho_{\max} = 0,0203) \text{ OK}$$

$$\rho - \rho' = 0,0057 < 0,5 \rho_b = 0,0135 \text{ OK}$$

Penulangan lentur Lapangan

Perencanaan momen lapangan dipilih yang terbesar diantara:

- $M_u^+ = 8,55 \text{ tm} = 85500000 \text{ Nmm}$ (output SAP2000) → **menentukan**
- $M_u^+ = 1/5 \times M_u^- = 1/5 \times 20,22 \times 10^7 \text{ Nmm} = 40780000 \text{ Nmm}$

c (mm)	ρ	Mn (N-mm)	\emptyset	$\emptyset.Mn$ (N-mm)
53	0.0049	1,1E+08	0.8	86855276

$$\emptyset.M_n > M_u^+$$

$$86855275,66 \text{ Nmm} > 85500000 \text{ Nmm} \text{ OK}$$

Luas tulangan tarik (A_s):

$$A_s = \rho b d = 0,0049 \times 300 \times 439 = 644,97 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan tarik 2-D22 } (A_s = 760 \text{ mm}^2) > A_{s-\min} = 460,95 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan tekan (A_s'):

$$A_s' = (0,5 \rho) b d = (0,5 \times 0,0049) \times 300 \times 639 = 322,48 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan tekan 2-D22 } (A_s' = 760 \text{ mm}^2) > A_{s-\min} = 460,95 \text{ mm}^2$$

Periksa lebar balok

Lebar balok minimum yang diperlukan dihitung sebagai berikut:

- 2 x penutup beton ($p=40 \text{ mm}$) = $2 \times 40 = 80 \text{ mm}$
 - 2 x \emptyset -senggang = 10 mm = $2 \times 10 = 20 \text{ mm}$
 - 4 x D-22 = $4 \times 22 = 88 \text{ mm}$
 - 3 x jarak bersih antar tulangan = $3 \times 25 = 75 \text{ mm}$
- Total = 263 mm

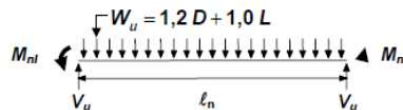
Lebar balok 300 mm memadai untuk pemasangan tulangan dalam 1 baris (4 tulangan)

Penulangan Geser Balok Induk

$$w_u = 1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL}$$

Gaya geser akibat beban tetap (V_g):

$$V_g = \frac{w_u \cdot l_n}{2} = 9,99 \text{ ton} = 99900 \text{ N}$$



Perhitungan Kapasitas Momen Penampang Balok (SRPMM)

a. Momen nominal pada tumpuan kiri $M_M(\text{joint } 6/7) = \frac{M_u^+ + M_u^-}{\ell_n} + \frac{W_u \ell_n}{2}$

Tulangan terpasang atas 5-D22 ($A_s' = 1900 \text{ mm}^2$)

Tulangan terpasang bawah 3-D22 ($A_s = 1140 \text{ mm}^2$)

Dari perhitungan didapatkan:

Momen akibat lenturan negatif : $M_{nl}^- = 297867669.8 \text{ Nmm}$

Momen akibat lenturan positif : $M_{nl}^+ = 118634901 \text{ Nmm}$

b. Momen nominal pada tumpuan kanan M_{nr} (joint 68):

Tulangan terpasang atas 5-D22 ($A_s' = 1900 \text{ mm}^2$)

Tulangan terpasang bawah 3-D22 ($A_s = 1140 \text{ mm}^2$)

Dari perhitungan didapatkan:

Momen akibat lenturan negatif : $M_{nr}^- = 297867669.8 \text{ Nmm}$

Momen akibat lenturan positif : $M_{nr}^+ = 118634901 \text{ Nmm}$

Perhitungan gaya geser

Gaya geser akibat Gempa ke kanan

$$V_{u-ka} = \frac{M_{nl}^+ + M_{nr}^-}{l_n} \pm \frac{w_u \times l_n}{2} = \frac{118634901 + 297867669.8}{(7200-600)} \pm 99900$$

Ujung joint 67 = 42052,42 N (ke bawah)

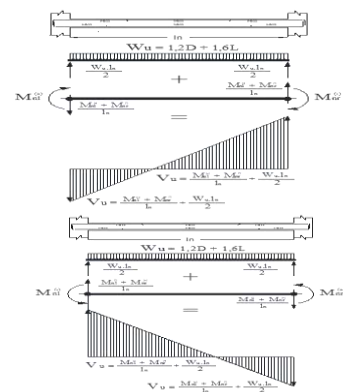
Ujung joint 68 = 157747,58 N (ke atas)

Gaya geser akibat Gempa ke kiri

$$V_{u-ki} = \frac{M_{nl}^- + M_{nr}^+}{l_n} \pm \frac{w_u \times l_n}{2} = \frac{297867669.8 + 118634901}{(7200-600)} \pm 99900$$

Ujung joint 67 = 157747,58 N (ke atas)

Ujung joint 68 = 42052,42 N (ke bawah)



Perhitungan tulangan geser

Ujung joint 67 dan joint 68

Gaya geser maksimum, $V_u = 157747,58 \text{ N}$

Gaya geser yang dipikul tulangan V_s , ($V_c = 0$)

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{157747,58}{0,75} = 210330,11 \text{ N}$$

Dicoba tulangan sengkang D10-100, $f_y = 400 \text{ MPa}$

Spasi tulangan (s) = 100 mm

Luas tulangan geser yang dibutuhkan A_v :

$$A_v = \frac{V_s \times s}{f_y \times d} = \frac{210330,11 \times 100}{400 \times 439} = 119,78 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan sengkang (A_v) 2-leg = $2 \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \right) = 157 \text{ mm}^2 > A_v = 119,78 \text{ mm}^2$

Dipakai sengkang D10-100mm ($A_s = 157 \text{ mm}^2$)

Ketentuan Pemasangan Sengkang

a) $d/4 = 439 / 4 = 109,75 \text{ mm}$

b) $8 \times D_{tul \text{ longitudinal terkecil}} = 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$

c) $24 \times D_{tul \text{ geser}} = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$

d) $300 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$

$$s_{maks} = d/2 = 439 / 2 = 219,5 \text{ mm}$$

Maka dipakai sengkang D10-100 dipasang sejarak 100 cm dari kedua muka kolom terdekat, sedangkan pada daerah lapangan dipasang D10-150.

Penulangan Torsi Balok Induk

$$T_u = 0,9189 \text{ tm} = 9189000 \text{ Nmm (output SAP2000)}$$

$$T_c = \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \left[\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right] = \frac{0,75 \sqrt{25}}{12} \left[\frac{(300 \times 500)^2}{2(300+500)} \right] = 4394531,25 \text{ Nmm}$$

$$T_u < T_c$$

9189000 Nmm > 4394531,25 Nmm (diperlukan tulangan torsi)

Tulangan geser terpasang 2 kaki D10-100

$$\frac{A_v}{s} = \frac{2 \times 0,25 \times 3,14 \times 10^2}{100} = 1,57 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{A_v}{2 \cdot s} = 0,785 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Tulangan yang dibutuhkan untuk torsi:

$$T_n = \frac{2 A_o A_t f_{yv}}{s} \cot \theta \quad (\text{diambil } \theta = 45)$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{\phi \cdot 2 \cdot A_o \cdot f_{yv} \cdot \cot \theta} = \frac{9189000}{0,75 \times 2 \times 178 \times 378 \times 400} = 0,2276 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Gabungan tulangan geser dan torsi:

$$\frac{A_t}{s} = 0,785 \text{ mm}^2/\text{mm} + 0,2276 \text{ mm}^2/\text{mm} = 1,0126 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Dipakai sengkang untuk torsi 2 kaki D10, maka jarak spasi:

$$s = \frac{2 \times 78,5}{1,0126} = 155,04 \text{ mm}$$

spasi maksimum tidak boleh melebihi:

$$1) \quad 300 \text{ mm}$$

$$2) \quad \frac{p_h}{8} = \frac{2(178+378)}{8} = 139 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai spasi 120 mm disepanjang balok

Check tulangan minimum:

$$\frac{A_v}{s} + \frac{2 \cdot A_t}{s} \geq \frac{75 \sqrt{f'_c} \times b_w}{1200 \times f_{yv}}$$

$$1,57 + (2 \times 0,2276) \geq \frac{75 \sqrt{25} \times 300}{1200 \times 400}$$

$$2,0252 > 0,2343 \quad \text{OK}$$

Syarat:

$$A_v + (2 \cdot A_t) \geq \frac{b_w \cdot s}{3 f_{yv}}$$

$$157 + (2 \times 78,5) \geq \frac{300 \times 120}{3 \times 400}$$

$$314 > 30 \quad \text{OK}$$

Check kekuatan torsi

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$\phi \times \frac{2 A_o A_t f_{yv}}{s} \cot \theta \geq T_u$$

$$0,75 \times 2 \times 178 \times 378 \times \frac{2 \times 78,5}{120} \times 400 \geq 9189000 \text{ Nmm}$$

$$52817940 \text{ Nmm} > 9189000 \text{ Nmm} \quad \text{OK}$$

Tulangan longitudinal tambahan A_ℓ :

$$A_\ell = \frac{A_t}{s} p_h \left[\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right] \cot^2 \theta$$

$$A_\ell = 0,2276 \times 2(178+378) = 253,09 \text{ mm}$$

Spasi maksimum untuk tulangan torsi longitudinal adalah 300 mm, maka A_ℓ dibagi menjadi tiga bagian atas, tengah dan bawah. Sehingga besarnya tulangan pada tiap-tiap bagian $A_s = 253,09 / 3 = 84,36 \text{ mm}^2$. Pada tulangan atas telah tersedia 5D22 ($A_s = 1900 \text{ mm}^2$) dan

tulangan bawah 3D22 ($A_s = 1140 \text{ mm}^2$). Sehingga pada bagian tengah cukup dipasang 2D10 ($A_s = 157 \text{ mm}^2 > 84,36 \text{ mm}^2$).

Perencanaan Kolom

Analisa Struktur

Dari hasil analisa struktur didapatkan :

- $M_{nl} = 297867669,8 \text{ Nmm}$ (Momen nominal balok sebelah kiri kolom)
 $M_l = 141356400 \text{ Nmm}$ (Momen gravitasi balok sebelah kiri)
 $M_{nr} = 297867669,8 \text{ Nmm}$ (Momen nominal balok sebelah kanan kolom)
 $M_r = 150335100 \text{ Nmm}$ (Momen gravitasi balok sebelah kanan)
 $M_a = 157916500 \text{ Nmm}$ (Momen kolom atas)
 $M_b = 227200000 \text{ Nmm}$ (Momen kolom bawah)

Besar Momen peningkatan yang terjadi :

$$M_a' = \frac{M_{nr} + M_{nl}}{M_r + M_l} \times M_a = \frac{297867669,8 + 297867669,8}{150335100 + 141356400} \times 157916500 = 322520333,1 \text{ Nmm}$$

$$M_b' = \frac{M_{nr} + M_{nl}}{M_r + M_l} \times M_b = \frac{297867669,8 + 297867669,8}{150335100 + 141356400} \times 227200000 = 464021300,4 \text{ Nmm}$$

Momen maksimum hasil analisa SAP $M_u = 227200000 \text{ Nmm} < M_b' = 464021300,4 \text{ Nmm}$

Elevasi	Kolom As X4 - Y2	Geser Tul. terpasang		Geser gravitasi		Pu (ton)
		Vul (ton)	Vgl (ton)	Vur (ton)	Vgr (ton)	
Lantai-6	-					
Lantai-5	No.686	187.717	141.513	182.741	139.671	651.643
Lantai-4	No.516	187.217	140.278	180.480	137.322	1.296.941
Lantai-3	No.349	176.628	140.761	170.009	136.687	1.921.026
Lantai-2	No.182	170.104	142.606	161.347	135.631	2.530.714
Lantai-1	No.11	161.904	138.056	157.840	137.296	3.125.809

Jadi, pada kolom No.11 (600 x600 mm) bekerja :

$$M_u = 464021300,4 \text{ Nmm}$$

$$P_u = 3125809 \text{ N}$$

Pemeriksaan terhadap pembesaran momen

Frame	Station	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
11	0	COMB1	-212.28	-1.17	0.54	-0.07	1.36	-3.07
11	4.3	COMB1	-207.08	-1.17	0.54	-0.07	-0.99	1.97
11	0	COMB2	-283.89	-1.60	0.71	-0.10	1.79	-4.16
11	4.3	COMB2	-279.43	-1.60	0.71	-0.10	-1.27	2.71
11	0	COMB3	-247.55	-6.69	-1.74	-0.18	-6.19	-22.72
11	4.3	COMB3	-243.09	-6.69	-1.74	-0.18	-3.63	-1.57
11	0	COMB4	-246.68	-3.35	-6.09	-0.22	-21.24	-10.67
11	4.3	COMB4	-242.22	-3.35	-6.09	-0.22	-7.23	0.73

Data-data pada kolom No.11 (600x600) pada lantai dasar

- Dimensi kolom = $600 \times 600 \text{ mm}^2$
- Mutu Beton, $f'_c = 30 \text{ MPa}$
- Mutu Baja, $f_y = 400 \text{ MPa}$

- Selimut Beton = 40 mm
 - Ø Tul. Utama = D-22 mm
 - Ø Tul. Sengkang = D-10 mm
 - $d = 600 - 40 - 10 - (22/2) = 539$ mm
- E_c (kolom) = $4700\sqrt{30}$ Mpa = 25742,96 MPa
 E_c (balok) = $4700\sqrt{25}$ Mpa = 23500 MPa
 l_c = 4300 mm
 l_u (arah-X) = $4300 - 500 = 3800$ mm
 l_u (arah-Y) = $4300 - 500 = 3800$ mm
 P_u (Tanpa Goyangan) = 250.449 ton = 250449 kg
 P_u (Dengan Goyangan) = 195.994 ton = 195994 kg
 $\sum P_u$ (Tanpa Goyangan) = 6806.804 ton = 6806804 kg
 $\sum P_u$ (Dengangoyangan) = 5789.73 ton = 5789730 kg

Menentukan panjang efektif untuk kolom

Panjang kolom:

l_k (kolom No.11 yang didesain) : 4300 mm

l_k (kolom No. atas) : 4200 mm

Panjang balok:

Arah-X:

l_b (balok No.73 kiri kolom) : 6950 mm

l_b (balok No.74 kanan kolom) : 7200 mm

Arah-Y:

l_b (balok No.64 kiri kolom) : 6950 mm

l_b (balok No.82 kanan kolom) : 6950 mm

Momen Inersia kolom:

$$I_{g-x} = I_{g-y} = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 600 \times 600^3 = 1,08 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

Momen inersia balok:

$$I_{g-x} = I_{g-y} = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 300 \times 500^3 = 3,125 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Reduksi kekakuan kolom:

$$I_{g-x} = I_{g-y} = 0,7 \times I_{g-x} = 0,7 \times 1,08 \times 10^{10} \text{ cm}^4 = 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Reduksi kekakuan balok:

$$I_{g-x} = I_{g-y} = 0,35 \times I_{g-x} = 0,35 \times 3,125 \times 10^9 \text{ mm}^4 = 1,09 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Kekakuan kolom

$$I_g = 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12} = 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12} = 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$E_c \text{ (kolom)} = 4700\sqrt{30} \text{ Mpa} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$E_c I_g = 25742,96 \text{ MPa} \times 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4 = 1,94 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

$$\beta_d = \frac{1,2 \text{ DL}}{1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}} = \frac{54630,8 \text{ kN}}{73172,5 \text{ kN}} = 0,75$$

$$EI_k = \frac{\left[\frac{E_c I_g}{2,5} \right]}{1 + \beta_d} = \frac{\left[\frac{1,94 \times 10^{14}}{2,5} \right]}{1 + 0,75} = 4,44 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Kekakuan balok

$$I_g = 0,35 \times \frac{b \times h^3}{12} = 0,35 \times \frac{300 \times 500^3}{12} = 1,093 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$E_c \text{ (balok)} = 4700\sqrt{25} \text{ Mpa} = 23500 \text{ MPa}$$

$$E_c I_g = 23500 \text{ MPa} \times 1,093 \times 10^9 \text{ mm}^4 = 2,56 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

$$\beta_d = \frac{1,2 \text{ DL}}{1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}} = \frac{54630,8 \text{ kN}}{73172,5 \text{ kN}} = 0,75$$

$$EI_b = \frac{\left[\frac{E_c I_g}{5} \right]}{1 + \beta_d} = \frac{\left[\frac{2,56 \times 10^{13}}{5} \right]}{1 + 0,75} = 2,93 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Kekakuan relatif Arah-X

$\psi_A = 0$ (terjepit penuh)

$$\psi_B = \frac{\sum(EI_k/l_k)}{\sum(EI_b/l_b)} = \frac{\left(\frac{4,44 \times 10^{13}}{4300} \right) + \left(\frac{4,44 \times 10^{13}}{4200} \right)}{\left(\frac{2,93 \times 10^{12}}{6950} \right) + \left(\frac{2,93 \times 10^{12}}{7200} \right)} = \frac{20936467136}{830078394} = 25,22$$

Kekakuan relatif Arah-Y

$\psi_A = 0$ (terjepit penuh)

$$\psi_B = \frac{\sum(EI_k/l_k)}{\sum(EI_b/l_b)} = \frac{\left(\frac{4,44 \times 10^{13}}{4300} \right) + \left(\frac{4,44 \times 10^{13}}{4200} \right)}{\left(\frac{2,93 \times 10^{12}}{6950} \right) + \left(\frac{2,93 \times 10^{12}}{6950} \right)} = \frac{20936467136}{830078394} = 24,78$$

Dari nomogram (a) didapatkan faktor panjang efektif $k = 0,69$ (tak bergoyang) dipakai 1

Dari nomogram (b) didapatkan faktor panjang efektif $k = 1,85$ (bergoyang)

Cek Kelangsingan Kolom A-B

syarat : $\frac{k \times l_u}{r} < 22$ (kelangsingan diabaikan,)

Cek Arah Sumbu X

$$\frac{k \times l_u}{r} = \frac{1,85 \times 3800}{0,3 \times 600} = \frac{7030}{180} = 39,05 > 22 \text{ (kolom langsing)}$$

Cek Arah Sumbu Y

$$\frac{k \times l_u}{r} = \frac{1,85 \times 3800}{0,3 \times 600} = \frac{7030}{180} = 39,05 > 22 \text{ (kolom langsing)}$$

Cek Momen Lentur antara kedua ujung kolom melampaui momen ujung maksimum lebih dari 5%

$$\text{syarat : } \frac{l_u}{r} > \frac{35}{\sqrt{\frac{P_u}{f'c \times A_g}}} \text{ (Diperhitungkan terhadap analisis orde - 2)}$$

$$\frac{35}{\sqrt{\frac{P_u}{f'c \times A_g}}} = \frac{35}{\sqrt{\frac{250449}{300 \times 6400}}} = 96,907$$

Terhadap Arah X

$$\frac{l_u}{r} = \frac{3800}{0,3 \times 600} = \frac{3800}{180} = 21,11 < 96,907 \text{ (tidak melampaui)}$$

Terhadap Arah Y

$$\frac{l_u}{r} = \frac{3800}{0,3 \times 600} = \frac{3800}{180} = 21,11 < 96,907 \text{ (tidak melampaui)}$$

Faktor Pembesaran Momen (struktur tak bergoyang)

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI_k}{(k \times l_u)^2} = \frac{\pi^2 \times 4,44 \times 10^{13}}{(1 \times 3800)^2} = 63676163,85 \text{ N}$$

$$P_u = (\text{Pu beban tetap} + \text{Pu beban lateral}) = 2838900 \text{ N} + 2475500 \text{ N} = 5314400 \text{ N}$$

$$\delta_{ns} = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{0,75 \times P_c}} = \frac{1}{1 - \frac{5314400}{0,75 \times 63676163,85}} = 1,125 \text{ dipakai } 1$$

Faktor Pembesaran Momen (struktur bergoyang)

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI_k}{(k \times l_u)^2} = \frac{\pi^2 \times 4,44 \times 10^{13}}{(1,85 \times 3800)^2} = 62271157895 \text{ N}$$

$$\sum P_c = \text{Jumlahkolom} \times P_c$$

$$\sum P_c = 52 \times 62271157895 \text{ N} = 3,238 \times 10^{12} \text{ N}$$

$$\sum P_u = 74297800 \text{ N} + 75750100 \text{ N} = 150047900 \text{ N}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \times \sum P_c}} = \frac{1}{1 - \frac{150047900}{0,75 \times 3,238 \times 10^{12}}} = 1,01$$

Menghitung Pembesaran Momen

Pembesaran Momen Arah Sumbu X

Ujung 1

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_1 = (1 \times 4,16 \text{ tm}) + (1,01 \times 22,72 \text{ tm}) = 27,62 \text{ tm}$$

Ujung 2

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

$$M_2 = (1 \times 2,71 \text{ tm}) + (1,01 \times 1,57 \text{ tm}) = 4,63 \text{ tm}$$

Pembesaran Momen Arah Sumbu Y

Ujung 1

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_1 = (1 \times 1,79 \text{ tm}) + (1,01 \times 6,19 \text{ tm}) = 8,265 \text{ tm}$$

Ujung 2

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

$$M_2 = (1 \times 1,27 \text{ tm}) + (1,01 \times 3,63 \text{ tm}) = 5,095 \text{ tm}$$

Dipakai momen desain $M_u = 27,62 \text{ tm}$ (paling besar)

Syarat : $M_u \geq M_{2,\min}$

$$M_{2,\min} = P_u (15 + 0,03h)$$

$$M_{2,\min} = 2838900 \text{ N} \times (15 + 0,03 \times 600)$$

$$M_{2,\min} = 93683700 \text{ Nmm}$$

$$\text{Syarat : } M_u = 276200000 \text{ Nmm} > M_{2,\min} = 93683700 \text{ Nmm} \text{ OK}$$

Perhitungan tulangan Pokok

Gaya tekan dan momen desain pada kolom:

$M_u = 464021300,4 \text{ Nmm} > M_u = 27,62 \text{ tm} = 276200000 \text{ Nmm}$ (akibat pembesaran momen)

$P_u = 3125809 \text{ N} > P_u = 283,89 \text{ t} = 2838900 \text{ N}$ (akibat pembesaran momen)

Sehingga digunakan gaya dan momen desain pada kolom:

$$M_u = 464021300,4 \text{ Nmm}$$

$$P_u = 3125809 \text{ N}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{464021300,4 \text{ Nmm}}{3125809 \text{ N}} = 148,44 \text{ mm}$$

dengan $e_{\min} = 15 + 0,03(600) = 33 \text{ mm} < 148,44 \text{ mm} \text{ OK}$

$$\frac{e}{h} = \frac{148,44}{600} = 0,2474$$

$$\frac{d'}{h} = \frac{62,5}{600} = 0,104$$

Perhitungan berdasarkan grafik sebagai berikut :

Sumbu x :

$$\frac{P_u}{\phi \cdot A_g \cdot (0,85) \cdot (f'_c)} \cdot \frac{e}{h} = \frac{3125809 \text{ N}}{0,65 \times (360000) \cdot 0,85 \cdot 30} \cdot 0,2474 = 0,1296$$

Sumbu y :

$$\frac{P_u}{\phi \cdot A_g \cdot (0,85) \cdot (f'_c)} = \frac{3125809 \text{ N}}{0,65 \cdot (360000) \cdot 0,85 \cdot 30} = 0,5238$$

$$r = 0,004$$

untuk $f'_c = 30 \text{ MPa}$, maka $\beta = 1,2$

$$\rho = r \cdot \beta = 0,004 \times 1,2 = 0,0048$$

$$A_s = \rho \cdot A_{gr} = 0,0048 \cdot (600 \times 600) = 1728 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 12- D25 ($A_s = 5887,5 \text{ mm}^2$)

Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{h_n}$$

$$= \frac{(644479299,6 + 644479299,6)}{(4300 - 500)} = 339199,63 \text{ N}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{339199,63}{0,75} = 452266,17 \text{ N}$$

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) b_w \cdot d$$

$$V_c = \left(1 + \frac{3125809}{14 \times 360000}\right) \left(\frac{\sqrt{30}}{6}\right) 600 \times 537,5$$

$$V_c = 476988,35 \text{ N}$$

Gaya Geser Maksimum sengkang :

$$V_s = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 600 \times 537,5 = 1177603,49 \text{ N}$$

$$V_n - V_c = 452266,17 \text{ N} - 476988,35 \text{ N} = 24722,18 \text{ N}$$

Jika :

$$(V_n - V_c) < \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d, \text{ Penampang cukup}$$

$$(V_n - V_c) \geq \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d, \text{ Penampang harus diperbesar}$$

$$24722,18 \text{ N} < 1177603,49 \text{ N} (\text{Penampang cukup})$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 476988,35 \text{ N} = 357741,26 \text{ N}$$

Jika :

$$V_u < \phi V_c, \text{ tidak perlu tulangan geser}$$

$$V_u \geq \phi V_c, \text{ perlu tulangan geser}$$

$$V_u > \phi V_c$$

$$339199,63 \text{ N} < 357741,26 \text{ N} (\text{tidak perlu tulangan geser})$$

Karena $V_u < \phi V_c$ penampang dipasang tulangan geser minimum, digunakan tulangan D10-150

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

$$= \frac{(4 \times 78,5 \times 400 \times 537,5)}{24722,18}$$

$$= 2730,7 \text{ mm}$$

geser minimum permieter (*SNI 03-1728-2002 pasal 13.5.5*)

$$A_{v \text{ min}} = \frac{75 \sqrt{f_c} b s}{1200 f_y} \geq A_v = \frac{1 b s}{3 f_y}$$

$$A_{v \text{ min}} = \frac{75 \sqrt{30}}{1200} \times \frac{600 \times 150}{400} \geq A_v = \frac{1}{3} \times \frac{600 \times 150}{400}$$

$$A_{v \text{ min}} = 77,02 \text{ mm}^2/\text{m} > 75 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Diambil $A_v = 77,02 \text{ mm}^2/\text{m}$

Digunakan tulangan sengkang 4-leg D10-150

A_v terpasang = Luas tulangan x (1000/jarak sengkang)

$$= (0,25 \times 3,14 \times 10^2) (1000/150)$$

$$= 523,33 \text{ mm}^2$$

A_v terpasang > A_v

$$523,33 \text{ mm}^2 > 77,02 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots \text{OK}$$

keterangan :

V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

V_u = Kuat geser ultimate yang terjadi

Cek spasi sengkang untuk SRPMM

Syarat maksimum sengkang berdasarkan *SNI 03-2847-2002 pasal 23.10*, spasi tidak boleh melebihi :

- a) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil
- b) 24 kali diameter sengkang ikat
- c) 300 mm

Maka,

$$s = 150 \text{ mm} < 8 \cdot D_{\text{tul.longitudinal terkecil}} = 8 \times 25 \text{ mm} = 200 \text{ mm} \quad \text{OK!}$$

$$s = 150 \text{ mm} < 24 \cdot \varnothing_{\text{tul.geser ikat}} = 24 \times 10 \text{ mm} = 240 \text{ mm} \quad \text{OK!}$$

$$s = 150 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \text{OK!}$$

Pemasangan sengkang pada jarak l_o (dari muka tumpuan) tidak boleh kurang dari nilai terbesar berikut:

- $1/6 \times l_n = 1/6 \times 380 = 633,3 \text{ mm}$
- Dimensi terbesar penampang kolom = 600 mm
- 500 mm

Maka sengkang 4-leg D10-150, dipasang sejauh 700 mm dari muka tumpuan kolom. Pada daerah diluar sendi plastis dipasang 4-leg D10-200.

Pemeriksaan Biaksial Kolom

$$P_u = 2838900 \text{ N}$$

$$M_{ux} = 276200000 \text{ Nmm}$$

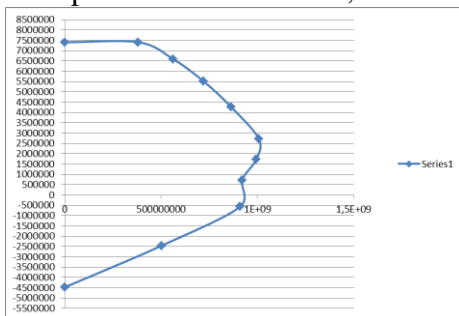
$$M_{uy} = 276200000 \text{ Nmm}$$

Eksentrisitas dihitung sebagai berikut :

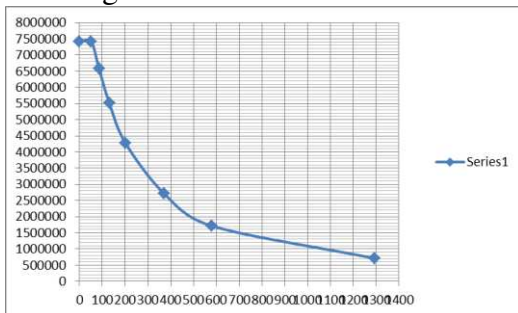
$$e_x = \frac{M_{uy}}{P_u} = \frac{276200000}{2838900} = 97,29 \text{ mm}$$

$$e_y = \frac{M_{ux}}{P_u} = \frac{276200000}{2838900} = 97,29 \text{ mm}$$

Diagram interaksi kolom (P – M) ukuran 60 x 60 cm (12D25), untuk beban uniaksial pada dua arah sumbu utama (arah-X dan arah-Y) ditampilkan pada Gambar 4.36. (karena kolom merupakan kolom simetris, maka hanya ditampilkan satu diagram saja) :



dari diagram interaksi kemudian dibuat diagram P_n-e_x atau P_n-e_y



$e_x = 97,29$ mm, diperoleh $P_y = 6300000$ N

$e_y = 97,29$ mm, diperoleh $P_x = 6300000$ N

kemudian dengan menggunakan persamaan Aproksimasi:

$$\frac{1}{P_{ni}} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_o}$$

$$\frac{1}{P_{ni}} = \frac{1}{6300000} + \frac{1}{6300000} - \frac{1}{7500000}$$

$$P_{ni} = \frac{1000}{0.000184}$$

$$P_{ni} = 5431034 \text{ N}$$

Syarat :

$$\phi P_{ni} > P_u$$

$$0,65 \times 5431034 \text{ N} > 2838900 \text{ N}$$

$$3530172,1 \text{ N} > 2838900 \text{ N} \quad \text{OK}$$

Perencanaan Pondasi

Perhitungan Daya Dukung 1Tiang

Berdasarkan metode bagemann

$$Q_u = A_b \cdot q_c + A_s \cdot q_f$$

$$q_c \text{ rata - rata} = 112,612 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_f \text{ rata - rata} = 9,219 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} Q_u &= A_b \cdot q_c + A_s \cdot q_f \\ &= (50.50) \cdot 112,612 + (4.50.1500) \cdot 9,219 \\ &= 28153 + 2765700 \\ &= 2793853 \text{ kg} \\ &= 2793,853 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_a &= Q_u / SF \\ &= 2793,853 / 3 \\ &= 931284,333 \text{ ton} \end{aligned}$$

Berdasarkan metode konservatif (CPT)

$q_c = 100 \text{ kg/cm}^2$ dan $JHP = 897$
 $Q_a = A_b \cdot q_c / SF1 + K \cdot JHP / SF2$
 $SF1 = 3 ; SF2 = 5$
 $K = 4.50 = 200 \text{ cm}$
 $A_b = 50 \times 50$
 $= 2500 \text{ cm}^2$
 $Q_a = A_b \cdot q_c / SF1 + K \cdot JHP / SF2$
 $= 2500 \cdot 112,612 / 3 + 200 \cdot 897 / 5$
 $= 93843,333 + 35880$
 $= 129723,333 \text{ kg}$
 $= 129,723 \text{ ton}$

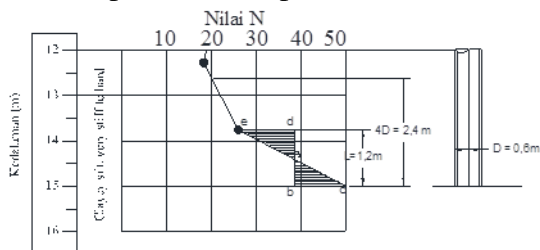
Berdasarkan nilai N-SPT

$Q_a = \frac{Q_u}{SF}$
 $Q_u = q_d \cdot A + U \cdot \sum l_i f_i$
 $\bar{N} = \frac{N_1 + \bar{N}_2}{2} \leq 40$

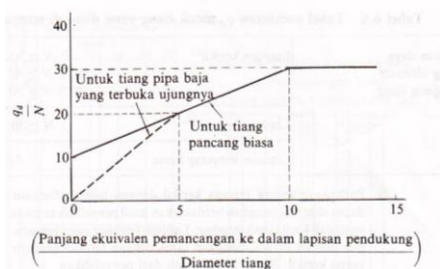
Dari data uji SPT diperoleh:

- (a) Nilai NSPT pada ujung tiang $N_1 = 50$
- (b) Nilai NSPT rata-rata pada jarak $4D$ dari ujung tiang ke arah atas.
 Digunakan tiang ukuran $50 \times 50 \text{ cm}$, $4D = 2 \text{ m}$
 $\bar{N}_2 = \frac{23+26+33+50}{4} = 33$
- (c) $\bar{N} = \frac{N_1 + \bar{N}_2}{2} = \frac{50+33}{2} = 41,5$

Letak b dan d harus sedemikian rupa sehingga luas $\Delta\text{-abc}$ sama dengan luas $\Delta\text{-ade}$. Panjang ekuivalen penetrasidapatkan sebesar $L = 1,2 \text{ m}$



Daya dukung pada ujung tiang (q_d), diperoleh dengan memproyeksikan rasio $\frac{L}{D}$ pada garis lurus (untuk tiang pancang biasa)



Nilai $\frac{L}{D} = \frac{1,2}{0,5} = 2,4$

diperoleh nilai $\frac{q_d}{\bar{N}} = 16$

$q_d = 16\bar{N} = 16 \times 41,5 = 664 \text{ ton/m}^2$

$q_d \cdot A = 664 \times 0,5 \times 0,5 = 166 \text{ ton}$

Gaya geser maksimum pada seluruh dinding tiang dihitung sebagai berikut:

$U \sum l_i \cdot f_i = 4 \times 0,5 \text{ m} \times 108,24 \text{ t/m} = 216,48 \text{ ton}$

Daya dukung tiang ultimate:

$$Q_u = q_d \cdot A + U \sum l_i \cdot f_i = 166 \text{ ton} + 216,48 \text{ ton} = 382,48 \text{ ton}$$

Daya dukung tiang yang diijinkan :

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} = \frac{382,48}{3} = 127,49 \text{ ton}$$

Dari ketiga metode yang telah dihitung, maka dipakai daya dukung tiang terkecil.

Yaitu berdasarkan perhitungan N-SPT, $Q_a = 127,49 \text{ ton}$

Perkiraan Jumlah Tiang

TABLE: Joint Reactions							
Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
10	ENVELOPE	6.6111	-7.3349	283.7703	24.18154	22.40028	0.25469

Jumlah kebutuhan tiang pancang:

$$n = \frac{\sum P}{R_a} = \frac{283,77}{127,49} = 2,42 \approx \text{dipakai 4 tiang}$$

Dipakai 4 buah tiang pancang

Perkiraan Ukuran Pile Cap

Dipakai ukuran tiang pancang 50 x 50 cm

Jarak antar tiang pancang (s):

$$2,5D \leq s \leq 4D$$

$$2,5 \times 0,5 \text{ m} \leq s \leq 4 \times 0,5 \text{ m}$$

$$1,25 \text{ m} \leq s \leq 2 \text{ m}$$

dipakai $s = 1,4 \text{ m}$

Jarak tiang pancang ke tepi poer (s_1):

$$1,5D \leq s_1 \leq 2D$$

$$1,5 \times 0,5 \text{ m} \leq s_1 \leq 2 \times 0,5 \text{ m}$$

$$0,75 \text{ m} \leq s_1 \leq 1 \text{ m}$$

dipakai $s_1 = 0,8 \text{ m}$

Perhitungan Daya dukung Kelompok Tiang

Efisiensi kelompok tiang:

$$(\eta) = 1 - \left\{ \arctg \left(\frac{D}{s} \right) \left(\frac{(m-1) \cdot n + (n-1) \cdot m}{90 \cdot m \cdot n} \right) \right\}$$

Kapasitas daya dukung 1 tiang dalam group (P_g):

$$P_g = \eta \times R_a$$

$$= 0,78 \times 127,47 \text{ ton} = 99,44 \text{ ton}$$

Momen yang bekerja pada poer akibat adanya gaya horisontal:

$$\overline{M_x} = 22,4 \text{ tm} + (6,61 \text{ t} \times 1 \text{ m})$$

$$= 29,01 \text{ tm}$$

$$\overline{M_y} = 24,18 \text{ tm} + (7,33 \text{ t} \times 1 \text{ m})$$

$$= 31,51 \text{ tm}$$

Total beban vertikal yang bekerja pada pondasi:

Beban aksial kolom = 283,77 ton (SAP2000)

Berat sendiri pile cap = $3 \times 3 \times 1 \times 2,4 = 21,6 \text{ ton}$

Berat sloof = $0,3 \times 0,7 \times 7,2 \times 2,4 = 3,62 \text{ ton}$

Total beban vertikal, $\sum P = 283,77 + 21,6 + 3,62 = 308,99 \text{ ton}$

Beban yang dipikul masing-masing tiang dalam 1 group:

$$P_i = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{\overline{M_x} Y_i}{\sum Y_i^2} \pm \frac{\overline{M_y} X_i}{\sum X_i^2}$$

$$\sum X_i^2 = 2 \times (0,7)^2 = 0,98$$

$$\sum Y_i^2 = 2 \times (0,7)^2 = 0,98$$

Didapatkan :

$$P_i = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{\overline{M_x} Y_i}{Y_i^2} \pm \frac{\overline{M_y} X_i}{X_i^2}$$

$$P_1 = \frac{\sum P}{n} + \frac{\overline{M_x} Y_1}{Y_1^2} - \frac{\overline{M_y} X_1}{X_1^2}$$

$$= \frac{308,99}{4} + \frac{29,01 \times 0,7}{0,98} - \frac{31,51 \times 0,7}{0,98}$$

$$= 75,461 \text{ ton}$$

$$= 0,78 \times 75,461 \text{ ton}$$

$$= 58,860 \text{ ton} < P_g = 99,44 \text{ ton (OK.aman)}$$

$$P_2 = \frac{\sum P}{n} + \frac{\overline{M_x} Y_2}{Y_2^2} + \frac{\overline{M_y} X_2}{X_2^2}$$

$$= \frac{308,99}{4} + \frac{29,01 \times 0,7}{0,98} + \frac{31,51 \times 0,7}{0,98}$$

$$= 98,86 \text{ ton}$$

$$= 0,78 \times 98,86 \text{ ton}$$

$$= 77,110 \text{ ton} < P_g = 99,44 \text{ ton (OK.aman)}$$

$$P_3 = \frac{\sum P}{n} - \frac{\overline{M_x} Y_3}{Y_3^2} - \frac{\overline{M_y} X_3}{X_3^2}$$

$$= \frac{308,99}{4} - \frac{29,01 \times 0,7}{0,98} - \frac{31,51 \times 0,7}{0,98}$$

$$= 34,091 \text{ ton}$$

$$= 0,78 \times 34,091 \text{ ton}$$

$$= 26,534 \text{ ton} < P_g = 99,44 \text{ ton (OK.aman)}$$

$$P_4 = \frac{\sum P}{n} - \frac{\overline{M_x} Y_4}{Y_4^2} + \frac{\overline{M_y} X_4}{X_4^2}$$

$$= \frac{308,99}{4} - \frac{29,01 \times 0,7}{0,98} + \frac{31,51 \times 0,7}{0,98}$$

$$= 79,033 \text{ ton}$$

$$= 0,78 \times 79,033 \text{ ton}$$

$$= 61,645 \text{ ton} < P_g = 99,44 \text{ ton (OK.aman)}$$

Perencanaan *Pile Cap*

Direncanakan pile cap

Tebal pile cap (h) = 1000 mm

mutu beton (f'_c) = 30 MPa

Mutu tulangan (f_y) = 400 MPa

Selimut beton = 70 mm

Diameter tulangan = D25

Tinggi efektif d = 1000 - (70 + (25/2)) = 917,5 mm

Cek Geser arah kerja dua arah (Geser Pons)

Akibat Gaya Kolom

$$P = V_u = 283,77 \text{ Ton}$$

$$d = 917,5 \text{ mm}$$

$$b_o = 4 \times (600 + 917,5) = 6070 \text{ mm}$$

$$f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c} \times b_o \times d}{6} = \frac{\sqrt{30} \times 6070 \times 917,5}{6} = 5083983,6 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 5083983,6 = 3812987,7 \text{ N} = 381,29 \text{ Ton}$$

$$V_u < \phi V_c$$

283,77 Ton < 381,29 ton (Pile cap Aman terhadap geser pons)

Akibat Gaya Tiang

$$P_{\text{tiang}} = V_u = 127,47 \text{ Ton} \quad d = 917,5 \text{ mm}$$
$$b_o = 4 \times (500 + 917,5) = 5670 \text{ mm} \quad f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c} \times b_o \times d}{6} = \frac{\sqrt{30} \times 5670 \times 917,5}{6} = 4748959,97 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 4748959,97 = 3561719,97 \text{ N} = 356,17 \text{ Ton}$$

$$V_u < \phi V_c$$

127,47 Ton < 356,17 ton (Pile cap Aman terhadap geser pons)

Momen pada bidang kritis:

$$M = (P_{\text{tiang}} \times a) \times 2$$
$$= (127,47 \times 0,4) \times 2$$
$$= 89,22 \text{ tm}$$

Penulangan Pile cap

Momen desain pada pile cap :

$$M_u = 89,22 \text{ tm (menentukan)}$$

Penulangan arah-x dan arah-y

Ditinjau per meter lebar Pile Cap, $b = 1000 \text{ mm}$

Faktor momen pikul (K) :

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{89,22 \cdot 10^7}{\phi \cdot 1000 \cdot 917,5^2} = 1,32 \text{ MPa}$$

Tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen (a):

$$a = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'_c}} \right] \cdot d = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,32}{0,85 \cdot 30}} \right] \cdot 917,5 = 48,98 \text{ mm}$$

Luas tulangan perlu ($A_{s,u}$)

$$A_{s,u} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 48,98 \cdot 1000}{400} = 3122,47 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan minimum:

$$f'_c < 31,36 \text{ Mpa, jadi } A_{s-\text{min}} \geq \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d = \frac{1,4}{400} \cdot 1000 \cdot 917,5 = 3211,25 \text{ mm}^2$$

Dipakai luas tulangan perlu, $A_{s,u} = A_{s-\text{min}} = 3211,25 \text{ mm}^2$

Jarak spasi tulangan (s):

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_{s,u}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 25^2 \cdot 1000}{3211,25} = 152,78 \text{ mm}$$

Spasi tulangan maksimum :

$$s \leq (2 \cdot h = 2 \cdot 1000 = 2000 \text{ mm})$$

Dipakai spasi tulangan $s = 150 \text{ mm} < 152,78 \text{ mm}$ OK

$$\text{Luas tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 1000}{150} = 3270,83 \text{ mm}^2 > A_{s,u} = 3211,25 \text{ OK}$$

Jadi dipakai tulangan D25-150 pada arah-x dan arah-y

Pada bagian atas pile cap dipasang tulangan susut dan suhu;

$$A_{s-\text{susut}} = \rho \times b \times h = 0,0018 \times 1000 \times 1000 = 1800 \text{ mm}^2$$

Tulangan susut dan suhu dipasang pada jarak tidak melebihi 3 x tebal pelat, atau 450 mm.

Jarak tulangan $\leq 3 \times 1000 = 3000 \text{ mm}$ atau 450 mm

Dipasang tulangan D19-300 ($A_s = 1889,23 \text{ mm}^2/\text{m}$)

Penulangan Tiang pancang

Ukuran tiang pancang = 50 x 50 cm

Panjang tiang (ℓ) = 10 m

Berat tiang pancang per meter (q) = 0,5 x 0,5 x 1 x 2,4 = 0,6 t/m

Kombinasi beban.

$$q = 1,4 D = 1,4 \times 0,6 = 0,84 \text{ t/m}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 1/8 q l^2 \\ &= 1/8 \times 0,84 \times 10^2 \\ &= 10,5 \text{ tm} \end{aligned}$$

Cek kekuatan tekan bahan tiang:

Ukuran tiang pancang = 50 x 50 cm

Mutu bahan f_c = 40 MPa

Mutu tulangan f_y = 400 MPa

Gaya tekan kekuatan bahan P_{all}:

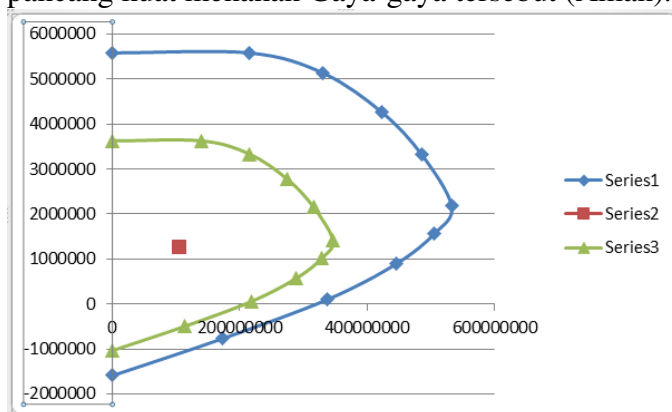
$$\begin{aligned} P_{\text{all}} &= A \times f'c \\ &= 500 \times 500 \times 40 \\ &= 10000000 \text{ N} = 1000 \text{ t} > 127,47 \text{ t (OK)} \end{aligned}$$

Gaya-gaya terfaktor pada penulangan Tiang pancang:

Tekan aksial, P = 127,47 t

Momen, M = 10,5 tm

Tiang ukuran 50 x 50 cm ditulangi dengan 9 D25 (ρ = 2,36 %) Dengan menggunakan program SAP2000, diagram interaksi Tiang pancang ditunjukkan pada Gambar 4.48. Tambak bahwa P = 127,47 t dan M = 10,5 tm berada dalam kurva interaksi, yang berarti tiang pancang kuat menahan Gaya-gaya tersebut (Aman).



Perhitungan penurunan tiang (settlement)

Tahapan menghitung penurunan konsolidasi

1. Menentukan jumlah lapisan dari tanah lempung, semakin banyak makin teliti
2. Menghitung tegangan yang terjadi dengan menggunakan rumus sebagai berikut di bawah ini.

$$\begin{aligned} \Delta p &= \frac{Q}{B \cdot L} \\ &= \frac{365,91}{3,3} \\ &= 40,65 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

3. Menghitung tegangan vertikal efektif di tengah masing – masing lapisan lempung

$$\begin{aligned} P'_{o} &= \sum H \cdot \gamma \\ &= 1,5(1,678) + 0,5(1,678 - 1) + 5,5(1,678 - 1) + 7,5(1,632 - 1) \\ &= 2,517 + 0,339 + 3,729 + 4,74 \\ &= 11,325 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

4. Hitung settlement (penurunan) pada lapisan lempung yang terjadi dengan menggunakan rumus sebagai berikut di bawah ini.

$$\begin{aligned}\Delta p &= \frac{C_c \cdot \Delta H}{1 + e_o} \cdot \log \left(\frac{P'_{o+ \Delta p}}{P'_{o}} \right) \\ &= \frac{0,24.5}{1 + 1,372} \cdot \log \left(\frac{11,325 + 40,65}{11,325} \right) \\ &= 0,33 \text{ cm}\end{aligned}$$

Perhitungan Tie Beam

$$\begin{aligned}N &= 10\% \times P_{u\text{-kolom}} \\ &= 10\% \times 283,77 \text{ ton} \\ &= 28,37 \text{ ton}\end{aligned}$$

Berat Sendiri Balok

$$q = (0,3 \times 0,7 \times 2400) = 504 \text{ kg/m}$$

Perhitungan Momen

$$M_{max} = \frac{1}{12} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{12} \times 504 \times (7,2 - 3)^2 = 740,88 \text{ kg.m}$$

$$Vu = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l = \frac{1}{2} \times 504 \times (7,2 - 3) = 1058,4 \text{ kg}$$

a. Perhitungan Tulangan Utama

$$\text{Tebal selimut beton (p)} = 60 \text{ mm}$$

$$f'_c = 30 \text{ Mpa} = 3000000 \text{ kg/m}^2$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa} = 40000000 \text{ kg/m}^2$$

$$f_{ys} = 240 \text{ Mpa} = 24000000 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Tulangan pokok} = D 22 (A_s = 379,94 \text{ mm}^2)$$

$$\text{Tulangan sengkang} = D 10 (A_s = 78,5 \text{ mm}^2)$$

$$d' = p + D10 + \frac{1}{2} (D 22) = 60 + 10 + (0,5 \times 22) = 81 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 700 - 81 = 619 \text{ mm}$$

$$A_g = 700 \times 300 = 210000 \text{ mm}^2$$

$\rho_{balance}$:

$$\rho_b = \frac{\beta \times 0,85 \times f'_c}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{400} \left[\frac{600}{600 + 400} \right]$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0325 = 0,0243$$

$$P_u = 28377 \text{ kg}$$

$$M_u = 740,88 \text{ kg.m}$$

$$e_t = \frac{M_u}{P_u} = \frac{740,88}{28377} = 0,0261 \text{ m}$$

$$\frac{e_t}{h} = \frac{0,0261}{0,7} = 0,0372$$

$$\frac{P_u}{\Phi \cdot A_{gr} \cdot 0,85 \cdot f'_c} = \frac{283770}{0,65 \times 210000 \times 0,85 \times 30} = 0,0815$$

$$\left(\frac{P_u}{\Phi \cdot A_{gr} \cdot 0,85 \cdot f'_c} \right) \times \left(\frac{e_t}{h} \right) = 0,0815 \times 0,0372 = 0,0030$$

$$\frac{d'}{h} = \frac{81}{700} = 0,1157$$

Dari grafik gambar 6.2.a. hal.89 buku CUR 4. "Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang", didapat:

$$r = 0,001; \beta = 1,2$$

$$\rho = r.\beta = 0,0012$$

$$A_{s_{total}} = \rho.A_{gr} = 0,0012 \times 210000 = 252 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{min}} = \rho_{min} \times b \times d = 0,0035 \times 300 \times 619 = 649,95 \text{ mm}^2$$

Dipakai 2 D 22 ($A_s = 981,25 \text{ mm}^2$) pada sisi atas dan 2D22 pada sisi bawah

b. Tulangan Geser

$$V_u = 1058,4 \text{ kg} = 10584 \text{ N}$$

$$d = 619 \text{ mm}$$

Sehingga gaya geser dipikul tulangan geser. Dicoba sengkang 2 kaki D10, maka spasi sengkang dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} s &= \frac{A_v f_y d}{V_s} \\ &= \frac{(2 \times 78,5 \times 400 \times 619)}{10584} \\ &= 3672 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{max} = d/2 = 619 / 2 = 309,5 \text{ mm}, \text{ maka dipakai } s = 200$$

Dipakai tulangan geser 2 kaki D10- 200

Untuk tulangan susut dan suhu dipasang 2 kaki D10

Faktor Reduksi Kekuatan

Dengan menyatakan kekuatan *ultimate* suatu struktur gedung dan pembebanan *ultimate* pada struktur gedung itu berturut-turut sebagai berikut:

$$R_u = \phi R_n$$

$$Q_u = \gamma Q_n$$

dimana:

ϕ : faktor reduksi kekuatan

R_n : Kuat Nominal adalah kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi metode perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai faktor reduksi kekuatan yang sesuai.

Q_u : Kuat Desain adalah Kekuatan nominal setelah dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan yang sesuai.

Ru : Kuat Perlu adalah kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi yang ditetapkan dengan cara ini.

γ : faktor beban

Qn : pembebanan nominal pada struktur gedung tersebut maka menurut perencanaan beban dan kuat terfaktor harus dipenuhi persyaratan keadaan batas ultimate sebagai berikut:

$$R_u \geq Q_u$$

Faktor Keutamaan Struktur

Untuk berbagai kategori gedung, pengaruh gempa rencana terhadap gedung tersebut harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I berdasarkan persamaan:

$$I = I_1 I_2$$

dimana:

I_1 : faktor keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung,

I_2 : faktor keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut.

Parameter Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Beban Gempa Rencana

Gempa rencana adalah gempa yang direncanakan memiliki periode ulang 500 tahun, agar probabilitasnya terjadinya terbatas pada 10% selama umur gedung 50 tahun. Besarnya beban Gempa Rencana yang terjadi, ditentukan menurut persamaan :

$$V = \frac{C \cdot I}{R} W_t$$

Di mana:

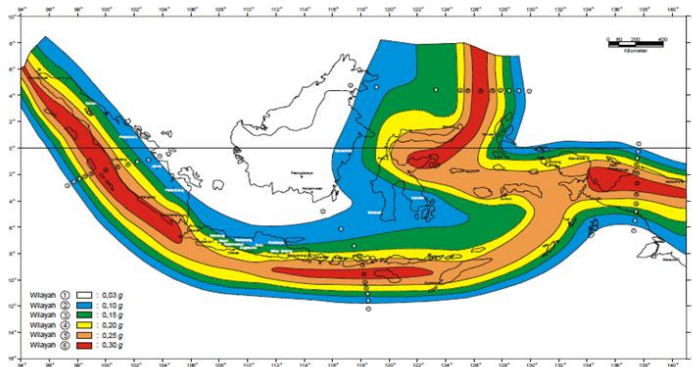
I : Faktor Keutamaan Struktur.

C : Nilai Faktor Respon Gempa yang didapat dari Respon Spektrum Gempa Rencana untuk waktu getar alami fundamental T.

R : Faktor Reduksi Gempa

W_t : Beban mati total dari struktur bangunan gedung

Wilayah Gempa dan Spektrum Respon



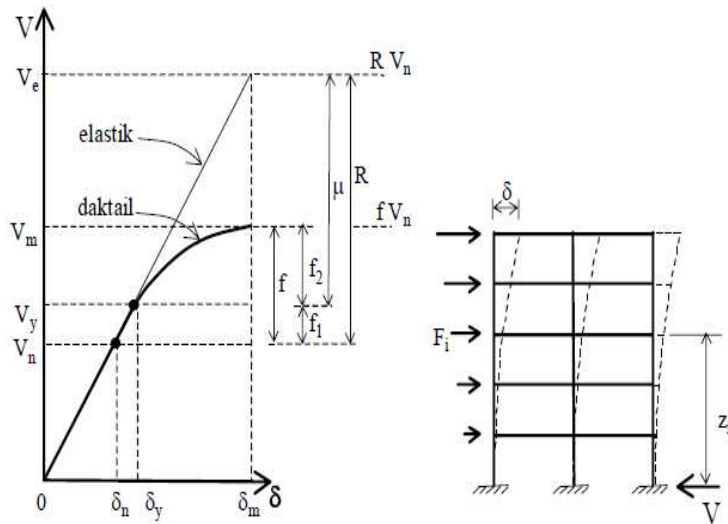
Pembagian Wilayah Gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh Gempa Rencana dengan perioda ulang 500 tahun. Percepatan batuan dasar rata-rata untuk Wilayah Gempa 1 s/d 6, telah ditetapkan berturut-turut adalah sebesar 0,03 g, 0,10 g, 0,15 g, 0,20 g, 0,25 g dan 0,30 g.

Jenis Tanah Dasar

Menurut SNI Gempa 2002 (SNI 03-1726-2002), ada empat jenis tanah dasar harus dibedakan dalam memilih harga C, yaitu Tanah Keras, Tanah Sedang, Tanah Lunak dan Tanah Khusus. Definisi dari jenis Tanah Keras, Tanah Sedang dan Tanah Lunak dapat ditentukan berdasarkan tiga kriteria, yaitu kecepatan rambat gelombang geser v_s , nilai hasil Test Penetrasi Standar N.

Jenis tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata \bar{v}_s (m/det)	Nilai hasil Test Penetrasi Standar rata-rata \bar{N}	Kuat geser tanah rata-rata \bar{S}_u (kPa)
Tanah Keras	$\bar{v}_s \geq 350$	$\bar{N} \geq 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
Tanah Sedang	$175 \leq \bar{v}_s < 350$	$15 \leq \bar{N} < 50$	$50 \leq \bar{S}_u < 100$
Tanah Lunak	$\bar{v}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atau, setiap profil dengan tanah lunak yang tebal total lebih dari 3 m, dengan $PI > 20$, $w_n \geq 40\%$, dan $S_u < 25$ kPa		
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi		

Faktor Daktilitas dan Beban Gempa Nominal



Daktalitas Struktur

Rasio antara simpangan maksimum struktur terhadap simpangan struktur pada saat terjadinya sendi plastis yang pertama dinyatakan sebagai faktor daktilitas (μ). Agar struktur gedung memiliki daktilitas yang tinggi, harus diupayakan supaya sendi - sendi plastis yang terjadi akibat beban gempa maksimum ada didalam balok-balok dan tidak terjadi dalam kolom-kolom, kecuali pada kaki kolom yang paling bawah dan pada bagian atas kolom penyangga atap. Hal ini dapat tercapai bila kapasitas (momen leleh) kolom lebih tinggi daripada kapasitas (momen leleh) balok yang bertemu pada kolom tersebut (konsep *strong column weak beam*)