

PENGARUH RENCANA GEMPA METODE “*RESPONSE SPECTRUM ANALYSIS*” PADA PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG RUMAH SAKIT 6 LANTAI DI PALEMBANG

Arifien Nursandah¹⁾Bambang Kiswono²⁾Satriadi³⁾

¹⁾Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya
Jl. Sutorejo No. 59 Surabaya, 60133

Email: arifien.nursandahums@gmail.com

²⁾ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya
Jl. Sutorejo No. 59 Surabaya, 60133

Email: bambangkiswono.48@gmail.com

³⁾ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya
Jl. Sutorejo No. 59 Surabaya, 60133

Email: sat3adi@gmail.com

Abstract

The hospital is a public service building in the health sector located in Palembang. This building consist of 6TH (sixth) floor with a total building height of ± 28 meters, with code SNI 1726 : 2012, this building is design using dynamic procedures (spectrum response). Based on the result of the SPT (Standard Penetration Test) soil investigation, this building is located on the surface of the silt with a classification of soil sites as SE. The structural system applied to withstand earthquakes in this building uses a Special Momen Resisting Frame System (SRPMK) which basically has full ductility and must be used in high seismic risk zones. The modification design made to this are roofing at elevation + 26 meters, where the initial design using steel structures was modified using reinforced concrete structures, this modification was done to obtain a reinforced concrete structure design with long spans.

Keywords: Design Structure, Spectrum Response, SRPMK.

Abstrak

Rumah Sakit merupakan gedung pelayanan publik dibidang kesehatan yang terletak di Palembang. Gedung ini terdiri dari 6 (enam) lantai dengan tinggi total bangunan ± 28 meter, dengan mengacu ketentuan SNI 1726:2012, gedung ini direncanakan dengan menggunakan prosedur dinamis (respons spektrum). Berdasarkan data hasil penyelidikan tanah SPT (Standart Penetration Test), bangunan ini berada di permukaan tanah lanau ke lempungan dengan klasifikasi situs tanah sebagai situs SE. sistem struktur yang diterapkan untuk menahan gempa dalam bangunan ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang pada dasarnya memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan di zona resiko gempa yang tinggi. Perubahan yang dilakukan pada perencanaan ini yaitu lantai atap pada elevasi + 26 meter, yang mana rencana awal yang menggunakan struktur baja dilakukan modifikasi menggunakan struktur beton bertulang, modifikasi ini dilakukan untuk mendapatkan perencanaan struktur beton bertulang dengan bentang yang panjang.

Kata Kunci: Perencanaan Struktur, Respons Spektrum, SRPMK.

PENDAHULUAN

Di dalam dunia konstruksi, perencanaan merupakan suatu langkah awal yang sangat penting sebelum terlaksananya suatu kegiatan di lapangan. Perencanaan yang matang dapat memberikan efek positif dalam jangka waktu panjang, baik pelaksanaan walaupun realisasi di lapangan. Efek positif tersebut berupa efisiensi biaya, waktu dan tenaga yang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

Selain perencanaan yang baik, faktor alam pun harus kita perhitungkan untuk mencegah hal – hal yang dapat mengakibatkan kerusakan. Salah satu faktor alam itu adalah gempa bumi, gempa bumi merupakan faktor alam yang tidak dapat kita prediksi kapan akan terjadi.

Gempa bumi merupakan suatu pelepasan energi gelombang seismik yang terjadi secara tiba – tiba. Pelepasan energi ini diakibatkan karena adanya deformasi lempeng tektonik yang terjadi pada kerak bumi. Masing – masing daerah mempunyai perilaku yang berbeda terhadap gempa, karena tiap daerah mempunyai bentuk maupun jenis wilayah yang berbeda.

Perencanaan Struktur Gedung Rumah Sakit ini sesuai dengan peraturan perencanaan beban gempa, gedung ini termasuk dalam kategori resiko IV karena merupakan gedung ditujukan sebagai fasilitas penting (rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat). Karena bentuk bangunan dari gedung rumah sakit ini tidak beraturan dan tinggi struktur lebih dari 4 (empat) lantai atau 19,8 m dari tinggi struktur, h_n diukur dari dasar, maka perencanaan yang ditentukan menurut ketentuan (SNI 1726:2012) harus direncanakan dengan menggunakan prosedur dinamis (respons spektrum).

Analisis respons spectrum merupakan suatu cara analisis untuk menentukan respons dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastis penuh terhadap pengaruh suatu gempa melalui suatu metoda analisis yang dikenal dengan analisis ragam respons spektrum, dimana respons dinamik total struktur gedung tersebut didapat sebagai super posisi dari respon dinamik maksimum masing – masing ragamnya yang didapat melalui spectrum respons gempa rencana

RUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana mendesain struktur bangunan yang mampu menahan gempa dengan metode *response spectrum analysis*?

TINJAUAN PUSTAKA

Adapun pedoman yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung ini adalah :

1. SNI 1726:2012 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung)
2. SNI 1726:2013 (Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung)
3. SNI 1727:2013 (Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain)
4. PBI 1971 (Peraturan Beton Bertulang Indonesia)
5. PPIUG 1983 (Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung)

A. Mutu bahan

- 1) Mutu beton = K-250 kg/m² ($f'c = 20,75$ Mpa)
- 2) Mutu baja tulangan
 - Tulangan sengkang = BJTP 24 ($f_y=240$ MPa)
 - Tulangan utama = BJTD 40 ($f_y=400$ MPa)
- 3) Modulus elastisitas
 - Beton norma $E_c = 4700\sqrt{f'c}$

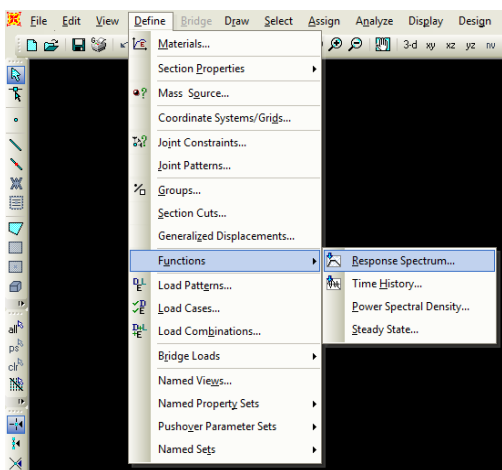
B. Pembebanan struktur

- 1) Beban mati (*Dead Load/DL*)
- 2) Beban hidup (*Live Load/LL*)
- 3) Beban angin (*Wind Load/WL*)
- 4) Beban gempa (*Earthquake Load/EL*)

C. Kombinasi pembebanan

- 1) 1,4 DL
- 2) 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 (L_r atau R)
- 3) 1,2 DL + 1,6 L_r + 1,0 LL
- 4) 1,2 DL + 1,0 EL + 1,0 LL
- 5) 1,2 DL + 1,0 WL + 1,0 LL + 0,5 L_r
- 6) 0,9 DL + 1,0 WL
- 7) 0,9 DL + 1,0 EL

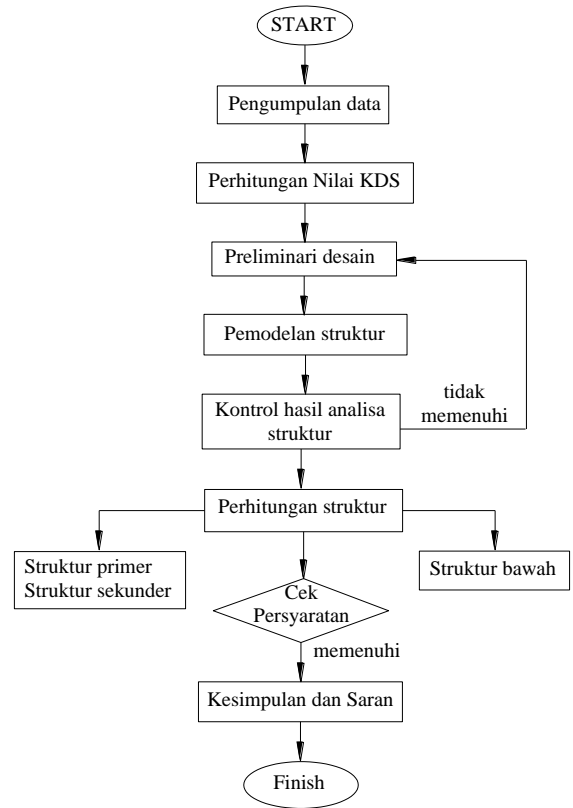
D. Response spectrum pada SAP 2000



Gambar 1. Input response spectrum
Sumber : SAP 2000 v14 (2014)

METODELOGI PENELITIAN

Adapun langkah – langkah dalam perencanaan struktur adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Bagan alir tahap perencanaan
Sumber : Analisis data (2018)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Berdasarkan SNI 1726:2012 didapatkan perencanaan gempa sebagai berikut :

- 1) Kategori bangunan : Gedung rumah sakit
- 2) Lokasi bangunan : Palembang
- 3) Klasifikasi situs : SE (Tanah lunak)
- 4) Kategori risiko : IV
- 5) Faktor keutamaan (I_e) : 1,5
- 6) Koefisien respons (R) : 8 SRPMK

B. Perhitungan nilai kategori desain seismik (KDS)

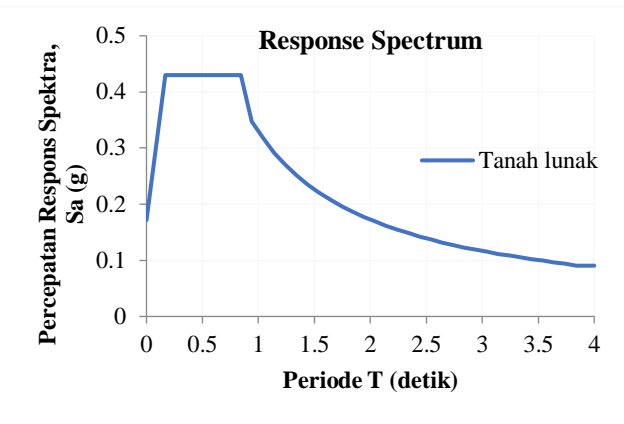
Nilai kategori desain seismik berdasarkan SNI 1726:2012 sebagai berikut :

- 1) Menentukan nilai S_S dan S_1
- 2) Menentukan koef. situs periode nilai F_a dan F_v
- 3) Menentukan nilai S_{MS} dan S_{M1}
 - a) $S_{MS} = F_a \times S_S$
 - b) $S_{M1} = F_v \times S_1$
- 4) Menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1}
 - a) $S_{DS} = 2/3 \times S_{MS}$
 - b) $S_{D1} = 2/3 \times S_{M1}$
- 5) Menentukan periode, T
 - a) $T_0 = 0,2 \times S_{D1} / S_{DS}$
 - b) $T_s = S_{D1} / S_{DS}$
- 6) Membuat spektrum respons desain Untuk periode $T \leq T_0$
 - a) $S_a = S_{DS} \times (0,4 + 0,6T/T_0)$

Untuk periode $T \leq T_0 \leq T_s$

a) $S_a = S_{D_s}$

Dari perhitungan di atas, maka didapatkan grafik spectrum respons percepatan desain sebagai berikut :



Gambar 3 Respons spectrum desain klasifikasi situs SE (Tanah lunak), wilayah Palembang
Sumber : Hasil perhitungan (2018)

C. Perhitungan prelininari desain struktur

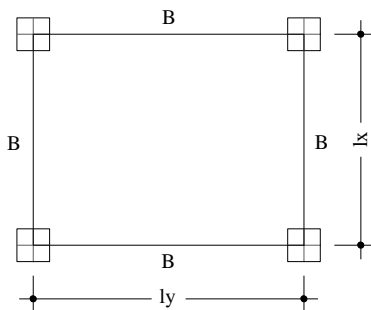
1. Stuktur primer

a) Prelininari dimensi pelat

Data perencanaan :

- 1) Tebal pelat (hf)
- 2) Pelat sumbu panjang (Ly)
- 3) Pelat sumbu pendek (Lx)
- 4) Pelat menumpu pada balok (B)

Perhitungan rencana dimensi pelat



Gambar 4 Prelininari dimensi pelat
Sumber : Autocad (2007)

Bentang bersih pelat sumbu panjang :

$$l_{yn} = l_y - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

Bentang bersih pelat sumbu pendek :

$$l_{xn} = l_x - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

Rasio bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek :

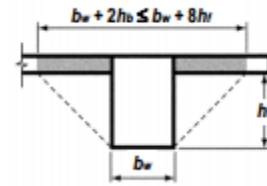
$$\beta = \frac{l_{yn}}{l_{xn}} \text{ jika } \beta < 2, \text{ maka pelat dua arah}$$

Menentukan lebar efektif sayap balok-T berdasarkan (SNI 2847:2013 pasal 13.2.4) :

$$b_{e1} = b_w + 2h_b \leq b_w + 8h_f$$

$$b_{e1} = b_w + 2(h - h_f)$$

$$b_{e2} = b_w + 8h_f$$



Gambar 5 Contoh slab yang disertakan dengan balok
Sumber : SNI 1727:2013 gambar S13.2.4 (2013)

Menghitung nilai k :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

Menghitung momen inersia penampang T :

$$I_b = k \times \frac{1}{12} \times b_w \times h^3$$

Menghitung momen inersia lajur pelat

$$I_p = \frac{1}{12} \times b_p \times h_f^3$$

Menghitung rasio kekuatan balok terhadap pelat

$$\alpha = \frac{I_b}{I_p}$$

Dari keempat balok diatas didapatkan rata – rata :

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

untuk $\alpha_m > 2$, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari :

$$h = l_{yn} \times \frac{0,8 + f_y/1400}{36 + 9\beta_n}$$

Tabel 1. Rencana dimensi pelat

Tipe pelat	Bentang pelat (cm)	h (cm)
P3	350 x 420	12

Sumber : Hasil perhitungan (2018)

b) Prelininari dimensi balok induk

Data perencanaan :

- 1) Tipe balok
- 2) Tegangan leleh (fy)
- 3) Bentang terpanjang

Berdasarkan SNI 2827:2013 Tabel 9.5(a)

$$h = 1/16 \times (0,4 + f_y/700)$$

$$b = 2/3 \times h$$

Tabel 2. Rencana dimensi balok induk

Tipe balok	l (cm)	b (cm)	h (cm)
B1	850	45	75

Sumber : Hasil perhitungan (2018)

c) Prelininari dimensi kolom

Data perencanaan :

- 1) Tipe kolom
- 2) Tinggi kolom (L_{kolom})
- 3) Bentang balok (L_{balok})
- 4) Dimensi balok, (Bb), (hb)

Perhitungan dimensi :

$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

$$\frac{1}{12} \times b_k \times h_k^3 \geq \frac{1}{12} \times b_b \times h_b^3$$

$b_k = h_k$

Tabel 3. Rencana dimensi kolom

Tipe Kolom	b (cm)	h (cm)
K1A	80	80

Sumber : Hasil perhitungan (2018)

2. Struktur sekunder

a) Preliminari dimensi balok anak

Data perencanaan :

- 1) Tipe balok anak
- 2) Tegangan leleh (f_y)
- 3) Bentang terpanjang

Berdasarkan SNI 2827:2013 Tabel 9.5(a)

$$h = 1/21 \times (0,4 + f_y/700)$$

$$b = 2/3 \times h$$

Tabel 4. Rencana dimensi balok anak

Tipe balok	l (cm)	b (cm)	h (cm)
B4	480	25	40

Sumber : Hasil perhitungan (2018)

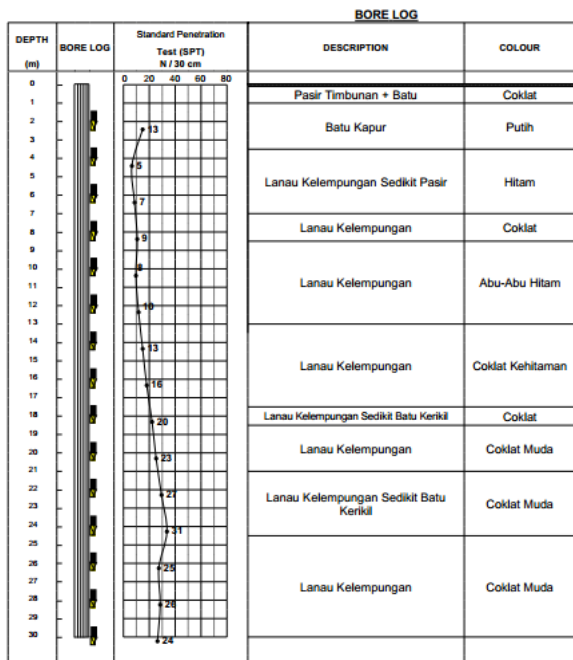
3. Struktur bawah

a) Preliminari dimensi pondasi

Tiang pancang

Data perencanaan :

- 1) Tipe tiang pancang = Lingkaran
- 2) Dimensi tiang pancang = Uk. 30x30
- 3) Kedalaman = 20 meter

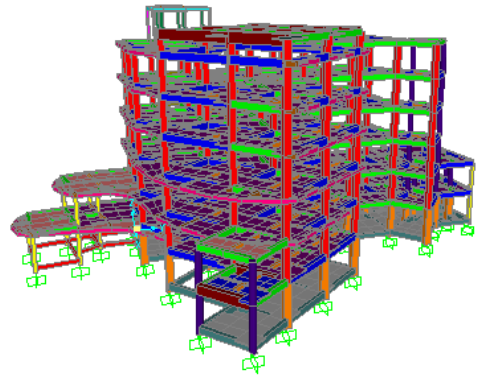


Gambar 6 Bore log penyelidikan tanah
Sumber : Analisis data (2018)

D. Analisis stuktur

Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan program SAP 2000 versi 14, dengan memodelkan struktur gedung 3 dimensi berupa sloof, balok, kolom dan pelat pada program bantu tersebut dan dimasukkan beban – beban yang diterima sesuai dengan peraturan yang telah

ditentukan, maka didapatkan hasil dari analisis struktur sebagai berikut :



Gambar 7 Pemodelan struktur 3D
Sumber : SAP 2000 v14 (2014)

Kontrol hasil analisis struktur

a) Periode fundamental

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2, Periode fundamental struktur, (T) tidak boleh melebihi koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode pendekatan, (T_a) yang ditentukan.

Perkiraan periode struktur

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

Batas nilai maksimum untuk T adalah

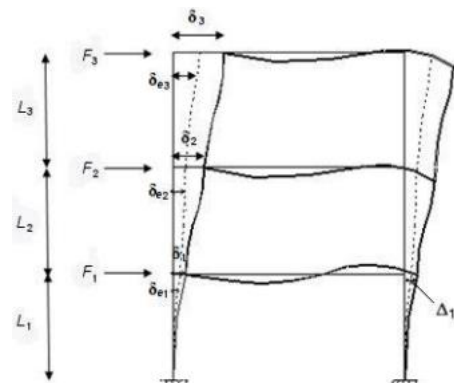
$$(C_u) \cdot (T_a)$$

b) Kontrol Geser Dasar (Base Shear)

Menurut SNI 1726:2013 Pasal 7.9.3, bahwa nilai akhir respons spectrum tidak boleh kurang dari 85% dari nilai respons yang telah dihitung dengan menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen.

$$V_{dinamik} > 0,85 V_{statik}$$

c) Simpangan antar lantai



Gambar 8 Penentuan simpangan antar lantai
Sumber : SNI 1726:2012 gambar 5 (2012)

E. Perhitungan stuktur

1. Perhitungan pelat

Perhitungan tulangan pokok

a) Penentuan nilai d_s :

$$d_s = S_b + (\phi/2)$$

b) Tinggi efektif penampang pelat :

- $d = h - ds$
- c) Koefisien momen pelat :
 $C_i = I_y / I_x$
 Dari tabel PBI 1971 diperoleh Cl_x, Cl_y, Ctx, Cty
- d) Momen perlu :
 $M_{lx (+)} = 0,001 \cdot Cl_x \cdot qU \cdot lx^2$
 $M_{ly (+)} = 0,001 \cdot Cl_y \cdot qU \cdot ly^2$
 $M_{tx (-)} = 0,001 \cdot Ctx \cdot qU \cdot lx^2$
 $M_{ty (-)} = 0,001 \cdot Cty \cdot qU \cdot ly^2$
- e) Faktor momen pikul maksimal :
 $K_{maks} = \frac{382 \cdot \beta_1 \cdot f'c \cdot (600 + fy - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + fy)^2}$
- f) Faktor momen pikul K :
 $K = \frac{Mu}{\Phi \cdot b \cdot d^2}$
- g) Kontrol $K \leq K_{maks}$
- h) Hitung nilai a :
 $a = \left\{ \frac{1 - \sqrt{1 - 2 \cdot K}}{0,85 \cdot f'c} \right\} \cdot d$
- i) Luas tulangan pokok yang diperlukan dengan memilih yang terbesar (As,u) :
 $As,u = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b}{fy}$
 $As,u = 1,4 \cdot b \cdot d$
- j) Dihitung jarak tulangan pokok dipilih yang terkecil (s) :
 $s = \frac{1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{As,u}$
 $s \leq 450 \text{ mm}$
 $s \leq 2 \cdot h$
- Perhitungan tulangan bagi
- a) Luas tulangan bagi yang diperlukan dengan memilih yang terbesar (Asb,u) :
 $Asb,u = 20\% \cdot As,u$
 $Asb,u = 0,002 \cdot b \cdot h$
- b) Dihitung jarak tulangan bagi dipilih yang terkecil (s) :
 $s = \frac{1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{Asb,u}$
 $s \leq 450 \text{ mm}$
 $s \leq 5 \cdot h$

Tabel 5. Kebutuhan tulangan pelat

Type	Tulangan Pokok	Tulangan Bagi
P3	Ø10 - 100	Ø8 - 150

Sumber : Hasil perhitungan (2018)

2. Perhitungan balok

Perhitungan tulangan lentur

- a) Penentuan nilai ds :
 $ds_1 = Sb + dp + (D/2)$
 $ds_2 = D/2 + S_{nv} + D/2$
 $ds = ds_1 + (ds_2/2)$
- b) Jumlah tulangan maksimal per baris :
 $m = \frac{(b - 2 \cdot ds_1) + 1}{(D + S_n)}$

- c) Tinggi efektif penampang balok :
 $d = h - ds$
- d) Faktor momen pikul maksimal :
 $K_{maks} = \frac{382 \cdot \beta_1 \cdot f'c \cdot (600 + fy - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + fy)^2}$
- e) Faktor momen pikul K :
 $K = \frac{Mu}{\Phi \cdot b \cdot d^2}$
- f) Kontrol $K \leq K_{maks}$ (Tulangan tunggal)
 $a = \left\{ \frac{1 - \sqrt{1 - 2 \cdot K}}{0,85 \cdot f'c} \right\} \cdot d$
- g) Luas tulangan tarik yang diperlukan dengan memilih yang terbesar :
 $As,u = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b}{fy}$
 $As,u = \frac{\sqrt{f'c} \cdot fy \cdot b \cdot d}{4}$
 $As,u = 1,4 \cdot b \cdot d$
- h) Jumlah tulangan tarik :
 $n = \frac{As,u}{1/4 \cdot \pi \cdot D^2}$

Kontrol rasio tulangan balok terpasang

- a) Rasio tulangan terpasang :
 $\rho = As/b \cdot d$
- b) Rasio tulangan minimal :
 $\rho_{min} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f'c}}{fy}$
 tetapi tidak kurang dari persamaan berikut
 $\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'c}}{fy}$

Diambil yang terbesar

- c) Rasio tulangan maksimal

$$\rho_{maks} = 2,500 \%$$

Kontrol momen rencana

- a) Tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen :
 $a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$
- b) Momen nominal aktual :
 $M_n = As \cdot fy \cdot (d - a/2)$
- c) Momen rencana :
 $M_r = \Phi \cdot M_n$
 $M_r \geq M_u$

Perhitungan tulangan geser

- a) Gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c) :
 $\phi V_c = \Phi \cdot 1/6 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$
 Ditentukan daerah penulangan :
- b) Jika $V_u \leq \phi V_c/2$
 Tidak perlu begel
 Atau dipakai begel dengan diameter kecil (ϕ)
 spasi $s \leq d/2$
 $s \leq 600 \text{ mm}$
- c) Jika $\phi V_c/2 \leq V_c$
 Dipakai luas begel perlu minimal per meter panjang balok (Av,u) dipilih yang besar :
 $Av,u = \frac{(75 \sqrt{f'c} \cdot b \cdot S)}{1200 \cdot fy}$

- $$A_{v,u} = \frac{b \cdot S}{3 \cdot f_y}$$
- d) Jika $V_u \geq \phi V_c$
Maka gaya geser ditahan begel (V_s)
$$V_s = \frac{(V_u - \phi V_c)}{\phi}$$

Dipakai begel perlu per meter panjang balok ($A_{v,u}$) yang besar :
$$A_{v,u} = \frac{V_s \cdot S}{f_y \cdot d}$$

$$A_{v,u} = \frac{(75 \sqrt{f'c} \cdot b \cdot S)}{1200 \cdot f_y}$$

$$A_{v,u} = \frac{b \cdot S}{3 \cdot f_y}$$

e) Jika $V_s \leq 1/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$
Maka dihitung spasi begel yang diperlukan (s) :
$$s = \frac{n \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot S}{A_{v,u}}$$

$$s \leq d/2$$

$$s \leq 600$$

f) Jika $V_s \geq 1/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$
Maka dihitung spasi begel yang diperlukan (s) :
$$s = \frac{n \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot S}{A_{v,u}}$$

$$s \leq d/2$$

$$s \leq 300$$

g) Jika $V_s \geq 2/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$
Maka ukuran balok terlalu kecil (harus diperbesar)
Perhitungan tulangan torsi
a) Kontrol dimensi penampang :
$$T_u \geq \frac{\phi \cdot \sqrt{f'c} \cdot (A_{cp}^2)}{(P_{cp})}$$

b) Dihitung luas tulangan torsi (A_t) :
$$A_{t,u} = \frac{A_{vt}/s \cdot \phi \cdot f_{yv} \cdot \cot^2 \theta}{f_y}$$

c) Dikontrol luas total tulangan (tulangan lentur dan torsi) :
$$A_{t,u} + A_{st} \geq \frac{\{5 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_{cp} - (A_{vt}/s) \cdot \phi \cdot f_{yv}\}}{12 \cdot f_y \cdot f_y}$$

$$A_{vt}/s \geq \frac{b}{6 f_{yv}}$$

d) Dihitung jumlah tulangan torsi :
$$n = \frac{A_{t,u}}{1/4 \cdot \pi \cdot D^2}$$

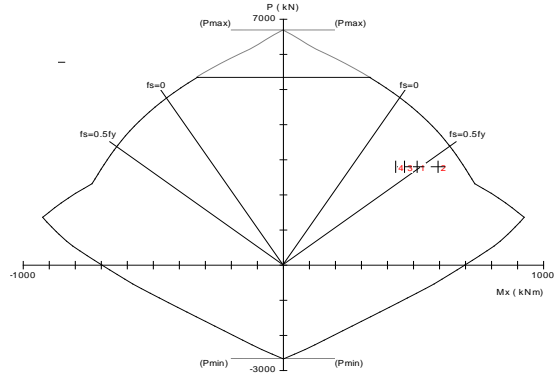
Tabel 6. Kebutuhan tulangan balok induk

Tipe	Tulangan Atas	Tulangan Bawah	Tulangan Tengah
B1	10 D19	5 D19	4 D16
Begel utama		Begel tambahan	
Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Ø10 - 100	Ø10 - 150	Ø10 - 100	Ø10 - 150

Sumber : Hasil perhitungan (2018)

3. Perhitungan kolom
Perhitungan tulangan tekan
a) Penentuan nilai d_s :

- $d_s = S_b + (\phi/2)$
b) Tinggi efektif penampang pelat :
 $d = h - d_s$
c) Analisis menggunakan spColumn
Kita tentukan jumlah tulangan yang akan dipasang, A_{st}



Gambar 9 Analisis kolom menggunakan spColumn
Sumber : spColumn v4.50 (2009)

Kontrol rasio tulangan balok terpasang

- a) Rasio tulangan terpasang :

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

- b) Rasio tulangan minimal :

$$\rho_{min} = 1,00 \%$$

- c) Rasio tulangan maksimal

$$\rho_{maks} = 6,00 \%$$

Kontrol beban aksial kolom

Menurut SNI 2847:2013, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisis struktur

Dimana :

$$A_g = b \cdot h$$

$$A_{st} = \rho \cdot A_g$$

$$\phi P_n = 0,8 \cdot \phi \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$$

$$\phi P_n \geq P_u$$

Perhitungan tulangan geser

- a) Gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c) :

$$V_c = \frac{(1 + P_u) \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d}{14 \cdot A_g \cdot 6}$$

- b) Gaya geser yang ditahan begel (V_s) :

$$V_s = \frac{(V_u - \phi \cdot V_c)}{\phi}$$

$$V_s \text{ harus } \leq 2/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

$$\text{Jika } V_s \text{ harus } \geq 1/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

Maka ukuran kolom harus diperbesar

- c) Dipakai begel perlu per meter panjang kolom ($A_{v,u}$) yang besar :

$$A_{v,u} = \frac{V_s \cdot S}{f_y \cdot d}$$

$$A_{v,u} = \frac{(75 \sqrt{f'c} \cdot b \cdot S)}{1200 \cdot f_y}$$

$$A_{v,u} = \frac{b \cdot S}{3 \cdot f_y}$$

- d) Dihitung spasi begel yang diperlukan (s) :

$$s = \frac{n \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot dp^2 \cdot S}{A_{v,u}}$$

- e) Jika $V_s \leq 1/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$
Maka dikontrol spasi begel (s) :
 $s \leq 16 \cdot D$
 $s \leq 48 \cdot dp$
 $s \leq d/2$
 $s \leq 600 \text{ mm}$
- f) Jika $V_s \geq 1/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$
Maka dikontrol spasi begel (s) :
 $s \leq 16 \cdot D$
 $s \leq 48 \cdot dp$
 $s \leq d/4$
 $s \leq 300 \text{ mm}$

Tabel 7. Kebutuhan tulangan kolom

Tipe		Tulangan pokok	
K1A		24 D22	
Begelutama		Begeltambahan	
Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Ø10 - 100	Ø10 - 150	Ø10 - 100	Ø10 - 150

Sumber : Hasil perhitungan (2018)

4. Perhitungan pondasi

A. Pondasi tiang pancang

Daya dukung tiang tunggal

Perhitungan daya dukung tiang tunggal menggunakan metode Luciano Decourt (1982) dengan data tanah SPT :

- a) Daya dukung tanah maksimum pada tiang :
 $Q_u = Q_p + Q_s$
- b) Daya dukung pada ujung tiang :
 $Q_p = \alpha \cdot (N_p \cdot K) \cdot A_p$
- c) Daya dukung akibat gesekan tiang
 $Q_s = \beta \cdot (N_s/3+1) \cdot A_s$
- d) Daya dukung ijin tiang :
 $Q_a = Q_u/F$
- e) Harga N terkoreksi karena N di bawah muka air tanah:
 $N' = 15 + 0,5 \cdot (N - 15)$
- f) Nilai rata – rata SPT :
 $N_p = 4 \cdot d$ (di atas ujung tiang)
 $= 4 \cdot d$ (di bawah ujung tiang)
- g) Nilai rata – rata sepanjang tiang yang tertanam :
 $N_s = \text{Batasan } 3 < N < 50$

Perhitungan Kebutuhan Tiang Pondasi

$$n_p = \frac{P_u}{Q_a}$$

Keterangan :

n_p = Kebutuhan tiang

P_u = Gaya aksial yang terjadi pada joint

Q_a = Daya dukung ijin tiang

Efisiensi Tiang Kelompok

Perhitungan efisiensi tiang kelompok menggunakan rumus Converse – Labbare :

$$E_g = \frac{1 - \theta \cdot (n' - 1) \cdot m + (m - 1) \cdot n}{90}$$

Keterangan :

E_g = Efisiensi tiang kelompok

θ = arc tg (D/s) (derajat)

D = ukuran penampang tiang

s = Jarak antar tiang (as ke as)

n = jumlah tiang dalam kelompok

m = jumlah baris tiang

n' = jumlah tiang dalam 1 baris

Tabel 8. Kebutuhan tiang pancang

Tipe	Jumlah pile
P2	4 titik

Sumber : Hasil perhitungan (2018)

B. Pondasi pile cape

- a) Dihitung tegangan tanah di dasar pondasi

$$\sigma_{maks} = \frac{P_u}{B \cdot L} + \frac{M_{ux}}{1/6 \cdot B \cdot L^2} + q$$

$$\sigma_{min} = \frac{P_u}{B \cdot L} - \frac{M_{ux}}{1/6 \cdot B \cdot L^2} - q$$

- b) Kontrol tegangan geser 1 arah :

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{min} + (L - a) \cdot (\sigma_{maks} - \sigma_{min})}{L}$$

Gaya tekan ke atas dari tanah

$$V_u = a \cdot B \cdot \frac{(\sigma_{maks} + \sigma_a)}{2}$$

Gaya geser yang ditahan beton

$$\Phi \cdot V_c = \frac{\phi \cdot \sqrt{f'c} \cdot B \cdot d}{6}$$

- c) Kontrol tegangan geser 2 arah (geser pons) :

$$b_k + d = h_k + d$$

Gaya tekan ke atas (geser pons) :

$$V_u = \{B^2 - (b_k + d) \cdot (h_k + d)\} \cdot \frac{(\sigma_{maks} + \sigma_{min})}{2}$$

Gaya geser yang ditahan beton, dipilih yang terkecil :

$$V_c = \frac{1 + 2 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_0 \cdot d}{\beta_c \cdot 6}$$

$$V_c = \frac{2 + \alpha_s \cdot d \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_0 \cdot d}{b_0 \cdot 12}$$

$$V_c = 1/3 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_0 \cdot d$$

Penulangan pondasi pile cape bujur sangkar

$$\sigma_x = \frac{\sigma_{min} + (L - x) \cdot (\sigma_{maks} - \sigma_{min})}{L}$$

$$M_u = 1/2 \cdot \sigma_x \cdot x^2 + 1/3 \cdot (\sigma_{maks} - \sigma_x) \cdot x^2$$

- a) Faktor momen pikul K :

$$K = \frac{M_u}{\Phi \cdot b \cdot d^2}$$

- b) Ketentuan nilai a :

$$a = \left\{ 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \frac{K}{0,85 \cdot f'c}} \right\} \cdot d$$

Luas tulangan yang diperlukan, pilih yang terbesar (A_s, u) :

$$A_s, u = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b}{f_y}$$

$$A_s, u = \frac{1,4 \cdot b \cdot d}{f_y}$$

Jarak tulangan yang diperlukan (s), dipilih yang terkecil :

$$s = \frac{1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_s, u}$$

$$s < hf$$

$$s < 450 \text{ mm}$$

c) Kuat dukung pondasi :
 $Pu_{maks} = \phi \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot A_1$
 Dikontrol $Pu_{maks} < Pu$

Tabel 9. Dimensi pile cape

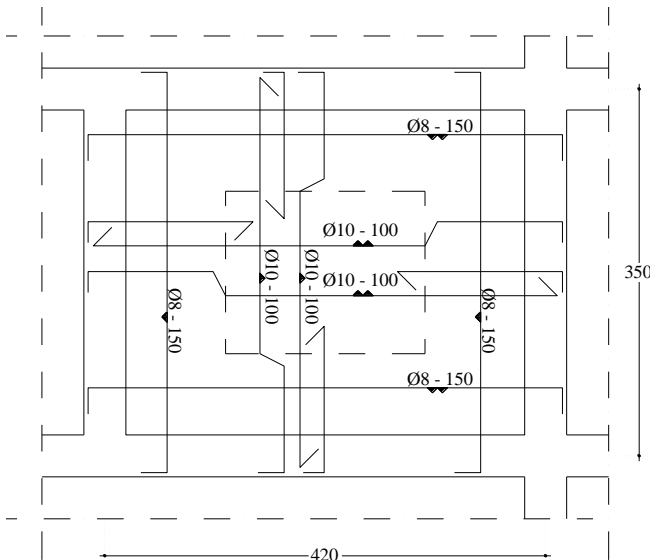
Type	b (cm)	l (cm)	h (cm)
P2	200	200	60

Sumber : Hasil perhitungan (2018)

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dijelaskan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa sebagai berikut :

1) Detail penulangan pelat P3



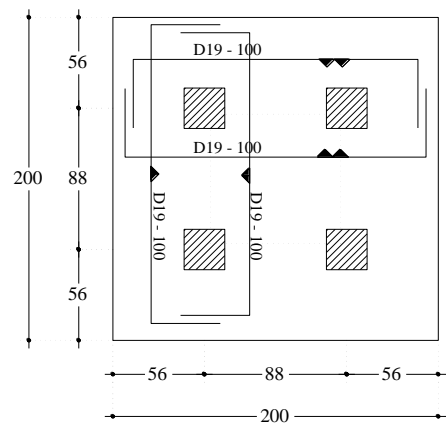
2) Detail penulangan balok B1

NOTASI	BALOK B1	
	Tumpuan	Lapangan
Ukuran	450 X 750	450 X 750
Tulangan Atas	10 D19	5 D19
Tulangan Tengah	4 D16	4 D16
Tulangan Bawah	5 D19	10 D19
Sengkang Utama	Ø10 - 100	Ø10 - 150
Sengkang Tambahan	Ø10 - 100	Ø10 - 150

3) Detail penulangan kolom K1A

NOTASI	KOLOM K1A	
	Tumpuan	Lapangan
Ukuran	800 X 800	800 X 800
Tulangan Pokok	24 D22	24 D22
Sengkang Utama	Ø10 - 100	Ø10 - 150
Sengkang Tambahan	Ø10 - 100	Ø10 - 150

4) Detail penulangan pile cape P2



DAFTAR PUSTAKA

Asroni, Ali. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Surakarta

Asroni, Ali. 2010. *Kolom, Fondasi dan Balok "T" Beton Bertulang*. Surakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. SNI 1726:2012. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. SNI 2847:2013. Jakarta.

Pamungkas, Anugrah. dan Harianti Erni. 2013. *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta

Wang, C.K. dan Salmon, C.G. 1986. *Disain Beton Bertulang Jilid I (Edisi Keempat)*. Jakarta