

Analisis Perencanaan Gedung Tahan Gempa Dengan Menggunakan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan Peraturan SNI 2847:2013, SNI 1727:2013 dan SNI 1726:2012

Agung Prasetyo

Fakultas Teknik, Universitas Swadaya Gunung Jati Cirebon

Email korespondensi : prsty.agung@gmail.com

Abstrak

Indonesia adalah salah satu negara rawan gempa bumi di dunia. Pengamatan beberapa tahun terakhir menunjukkan gempa tektonik cenderung lebih sering terjadi di Indonesia. Struktur bangunan yang tepat perlu disiapkan agar berfungsi semestinya. Struktur bangunan perlu didesain mengikuti peraturan SNI terbaru. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan dengan studi kasus gedung apartemen beton bertulang 6 lantai yang lokasinya terletak di Kota Cirebon untuk mewakili beban gempa rencana yang berdasarkan peraturan ketahanan gempa SNI 1726:2012. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perencanaan elemen struktur atas (upper structure) terdiri dari elemen kolom, balok dan pelat lantai. Sistem gedung apartemen beton bertulang 6 lantai tersebut yang telah memenuhi peraturan-peraturan saat inistruktur beton bertulang tahan gempa berdasarkan SNI 2847:2013, SNI 1727:2013, dan SNI 1726:2012.

Kata Kunci : Beton bertulang tahan gempa, Peraturan desain SNI, Rawan gempa.

PENDAHULUAN

Saat ini Kota Cirebon telah menjadi pusat bisnis, industri, perdagangan, dan pariwisata di wilayah Jawa Barat. Hal ini pun disebabkan Kota Cirebon terletak di wilayah yang strategis yakni terletak di antara tiga kota besar yakni Jakarta, Bandung dan Semarang. Hal ini pun didukung dengan telah adanya akses Jalan Tol Cipali dan Jalan Tol Cisumdawu. Dimana Tol Cipali menghubungkan Jakarta-Cirebon, sedangkan Tol Cisumdawu menghubungkan Cirebon - Bandung. Selain itu telah beroperasionalnya Bandara Internasional Jawa Barat yang berlokasi di daerah Majalengka- Cirebon mengakibatkan akses dari dan ke Kota Cirebon akan terus meningkat perkembangannya sehingga menuntut dibutuhkannya tempat hunian menetap ataupun tempat menginap sementara untuk transit.

Dengan adanya hal-hal tersebut, Kota Cirebon sangat cocok dan berprospek baik untuk dibangun tempat-tempat hunian seperti hotel, apartemen dan tempat hunian

lainnya dikarenakan ketersediaan lahan yang semakin terbatas di Kota Cirebon mengakibatkan pembangunan hunian vertikal lebih diunggulkan ketimbang pembangunan hunian horizontal pada saat ini.

Sehingga dengan semakin banyaknya pembangunan hunian arah vertikal tersebut diharapkan dapat didesain hunian yang aman dan nyaman terutama terhadap beban gempa rencana dikarenakan akhir-akhir ini gempa bumi sering terjadi di Indonesia baik gempa vulkanik maupun tektonik. Maka dari itu pembangunan hunian apartemen ini harus memenuhi kriteria keselamatan dan layanan prima untuk menjaga agar tidak terjadi suatu dampak yang tidak diinginkan terutama saat terjadi gempa bumi besar. Hal ini dikarenakan sebagian besar wilayah di Indonesia merupakan wilayah yang memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap gempa. (Iswandi,2009)

Atas dasar kriteria keselamatan dan layanan prima maka proses perencanaan pembebanan harus sesuai dengan peraturan

SNI 1727 : 2013 serta perencanaan struktur apartemen beton bertulang ini harus mengacu dengan SNI 2847:2013 beton bertulang, yang merupakan peraturan terbaru yang disesuaikan dengan perkembangan teknologi material terkini dengan mengacu pada ACI 318M-11, selain itu dalam perhitungan beban gempa rencana juga harus mengacu pada SNI 1726 :2012.

TINJAUAN PUSTAKA

Struktur Beton Bertulang

Pada umumnya struktur bangunan gedung dapat digolongkan menjadi struktur bangunan bawah dan struktur bangunan atas. Struktur bangunan bawah (*lower structure*) adalah struktur bangunan yang berada di bawah permukaan tanah yang biasanya disebut sebagai pondasi. Sedangkan struktur bangunan atas (*upper structure*) adalah struktur bangunan yang berada di atas permukaan tanah yang mencakup struktur atap, kolom, balok, dan pelat lantai.

Kolom dan balok menjadi satu kesatuan yang kokoh dan sering disebut sebagai kerangka (portal) dari suatu struktur gedung. Kolom berfungsi sebagai pendukung dari beban-beban yang diterima balok dan pelat untuk diteruskan ke tanah dasar melalui pondasi. Sedangkan pondasi berfungsi sebagai pendukung struktur bangunan di atasnya untuk diteruskan ke tanah dasar (Asroni A, 2017a).

Beton bertulang merupakan kombinasi dari dua unsur material tulangan baja dan beton yang digunakan secara bersamaan. Sifat utama dari beton adalah cukup kuat terhadap beban tekan, akan tetapi beton memiliki sifat yang mudah rusak pada beban tarik. Sedangkan baja tulangan memiliki sifat yang sangat kuat pada kedua beban tersebut, baik beban tekan maupun tarik. Sistem struktur adalah rangkaian elemen-

elemen struktur yang membentuk suatu bangunan struktur yang mempunyai fungsi dan kegunaan tertentu. Pada suatu sistem struktur, elemen-elemen struktur memiliki suatu mekanisme penyaluran beban dari atas ke bawah / pondasi (Asroni A, 2017b).

Sistem struktur portal pada dasarnya di desain memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap yang disebut sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen. Beban lateral dipikul oleh sistem rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Pembagian Sistem Rangka Pemikul Momen dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah sistem rangka (portal) yang direncanakan bersifat daktail penuh dengan pendetailan secara khusus. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sistem rangka (portal) yang direncanakan bersifat daktail parsial. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) adalah sistem rangka (portal) yang direncanakan bersifat elastik penuh (Asroni A, 2017a).

Elemen Struktur Lentur / Balok

Balok dapat didefinisikan sebagai salah satu dari elemen struktur portal arahnya horizontal ataupun miring yang panjang dengan ukuran lebar serta tinggi yang terbatas (Setiawan, 2016). Beban yang bekerja pada balok biasanya berupa beban lentur, beban geser maupun torsi (momen puntir), sehingga diperlukan baja tulangan untuk menahan beban-beban tersebut. Tulangan ini berupa tulangan memanjang atau tulangan longitudinal (yang menahan beban lentur) serta tulangan geser/begel (yang menahan beban geser dan torsi). (Asroni A, 2017b)

Jika persyaratan lendutan tidak diperhitungkan secara detail, maka Pasal 9.5.2.1 SNI 2847:2013 memberikan tinggi penampang (h) minimum pada balok maupun pelat lantai (Asroni A, 2017b). Tulangan longitudinal tarik maupun tulangan longitudinal tekan pada balok dipasang dengan arah sejajar sumbu balok. Jumlah tulangan tarik biasanya dipasang lebih banyak daripada jumlah tulangan tekan, kecuali pada balok yang menahan beban lentur kecil.

Pada portal bangunan gedung, biasanya balok yang menahan momen lentur terbesar terjadi di daerah lapangan (daerah bentang di tengah balok) dan di ujung balok (daerah tumpuan jepit balok). Pada daerah lapangan balok terjadi momen positif (M^+) yang berarti penampang beton daerah tarik berada di bagian bawah, sedangkan pada daerah tumpuan jepit balok terjadi momen negatif (M^-) yang berarti penampang beton daerah tarik berada di bagian atas.

Penulangan Longitudinal Balok

Jika momen lentur yang bekerja pada balok bernilai kecil, maka diperoleh faktor momen pikul (K) yang lebih kecil daripada faktor momen pikul maksimum (K_{maks}). Untuk kasus dimana nilai faktor momen pikul (K) yang lebih kecil atau sama dengan faktor momen pikul maksimum (K_{maks}), maka balok dapat direncanakan dengan tulangan tunggal. Jika momen lentur yang bekerja pada balok adalah besar, maka diperoleh faktor momen pikul (K) yang lebih besar daripada faktor momen pikul maksimum (K_{maks}). Untuk kasus nilai faktor momen pikul (K) yang lebih besar daripada faktor momen pikul maksimum (K_{maks}), dapat diatasi dengan 2 cara yaitu :

- 1) Memperbesar ukuran dimensi penampang balok
- 2) Direncanakan dengan tulangan rangkap.

Balok dengan tulangan rangkap artinya tulangan dipasang di daerah beton tarik (ada

tulangan tarik) dan di daerah beton tekan (ada tulangan tekan), untuk kasus balok yang diselesaikan dengan tulangan rangkap, karena momen yang bekerja cukup besar ($M_n > M_{n\ maks}$ sehingga $K > K_{maks}$), maka diselesaikan dengan :

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \text{ atau } K = K_1 + K_2$$

$$K_1 = M_{nc} / (b \cdot d^2) \text{ dengan } K_1 < K_{maks}, \text{ dimana}$$

$$K_1 = 0,8 K_{maks}$$

M_{nc} adalah momen nominal yang ditimbulkan oleh gaya tarik tulangan (T_1) dan gaya tekan beton (C_c).

Tulangan A_1 dipasang di daerah beton tarik M_{ns} adalah momen nominal yang ditimbulkan oleh tulangan A_2 pada bagian beton tarik dan beton tekan.

Skema hitungan tulangan longitudinal balok dengan penampang balok tulangan tunggal dapat dilihat pada Gambar 1.

Perencanaan Tulangan Geser Balok

Beberapa rumus yang digunakan sebagai dasar untuk perhitungan tulangan geser/begel balok yang tercantum didalam pasal-pasal SNI 2847:2013 adalah sebagai berikut :(Asroni A, 2017a)

- 1) Pasal 11.1.1 SNI 2847:2013 berbunyi gaya geser rencana, gaya geser nominal, gaya geser yang ditahan oleh beton dan tulangan geser/begel dirumuskan sebagai berikut :

$$V_d = \phi \cdot V_n$$

$$\phi \cdot V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

dimana :

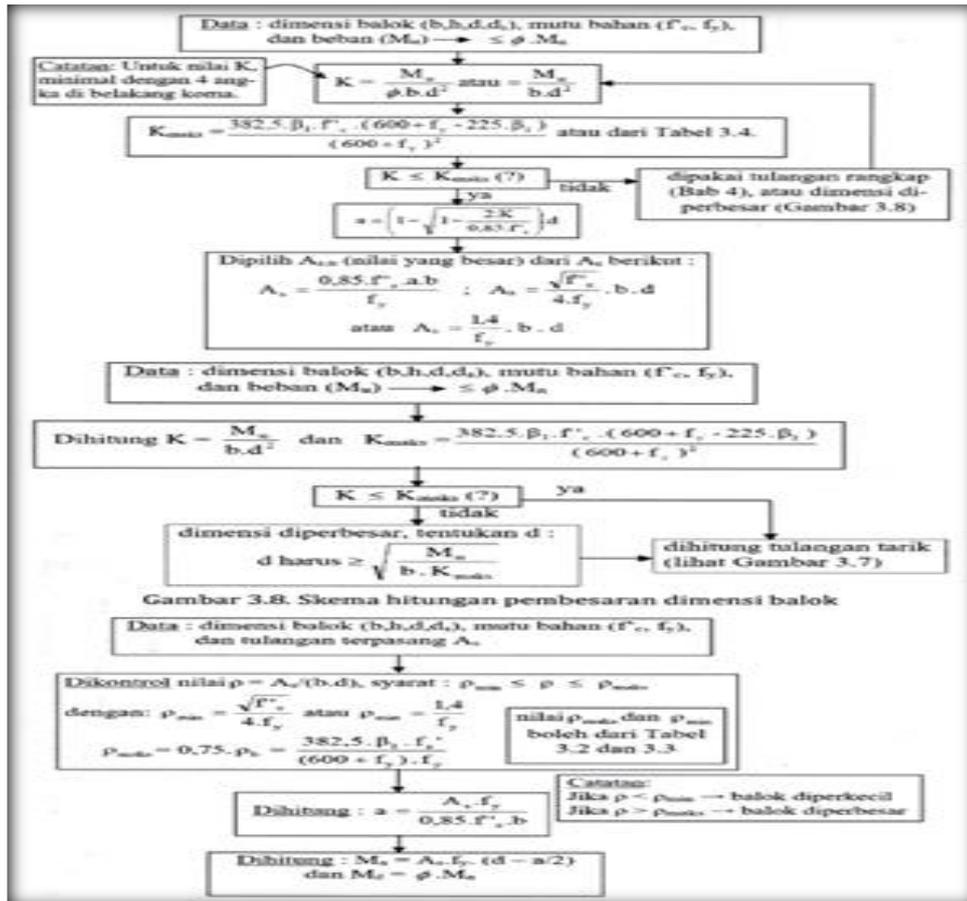
V_d : gaya geser desain/rencana

V_n : gaya geser nominal

V_c : gaya geser yang ditahan oleh beton

V_s : gaya geser yang ditahan oleh tulangan geser/begel

Φ : faktor reduksi kekuatan geser = 0,75 (SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)



Gambar 1. Skema perhitungan tulangan longitudinal balok tulangan tunggal

2) Pasal 11.2.1.1 SNI 2847:2013 berbunyi gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

dimana :

λ : faktor beban agregat ringan (Pasal 8.6.1)

Penentuan nilai λ adalah sebagai berikut:

$\lambda = 0,75$ jika digunakan beton agregat ringan

$\lambda = f_{ct} / (0,56 \cdot \sqrt{f'_c})$ tetapi harus $\leq 1,0$.

f_{ct} adalah kuat tarik belah rata-rata beton agregat ringan (MPa)

$\lambda = 1,0$ jika digunakan beton normal

3) Gaya geser yang ditahan oleh begel (V_s) dapat dihitung berdasarkan persamaan :

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

$$V_s = \frac{(V_u - 0,75 \cdot V_c)}{0,75}$$

4) Pasal 11.4.7.9 menyatakan bahwa V_s harus $\leq V_{s \text{ maks}}$

dimana :

$$V_{s \text{ maks}} = 0,66 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

Jika $V_s > V_{s \text{ maks}}$ maka ukuran balok diperbesar.

5) Spasi begel (s) dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

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

b) $s \leq d/2$ dan $s \leq 600$ mm, untuk nilai $V_s < 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$ (atau $\frac{1}{2} V_{s \text{ maks}}$)

c) $s \leq d/4$ dan $s \leq 300$ mm, untuk nilai $V_s > 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$ (atau $\frac{1}{2} V_{s \text{ maks}}$)

dengan :

n : jumlah kaki begel (yakni 2, 3, atau 4 kaki)

dp : ukuran diameter begel dari tulangan polos (mm)

6) Luas tulangan geser per meter panjang balok yang diperlukan ($A_{v,u}$) dihitung dengan memilih nilai terbesar dari rumus berikut :

a) $A_{v,u} = V_s \cdot S / (f_{yt} \cdot d)$

b) $A_{v,u} = 0,062 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot S / f_{yt}$

c) $A_{v,u} = 0,35 \cdot b \cdot S / f_{yt}$

dimana :

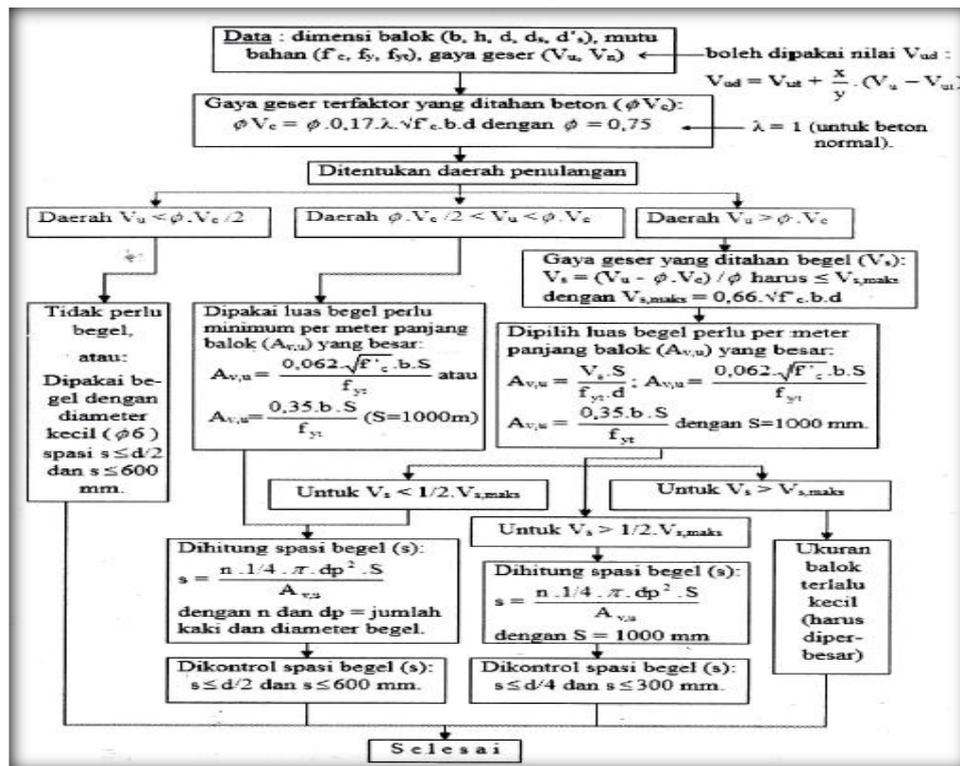
S : panjang balok 1.000 mm

f_{yt} : tegangan leleh tulangan transversal

Dengan memperhatikan dan menggunakan rumus-rumus yang terkait dengan tulangan geser/begel balok di atas, maka langkah-langkah hitungan tulangan geser/begel balok dapat ditentukan berdasarkan 3 tahap sebagai berikut :

- a) Dihitung gaya geser (V_u) dan gaya geser yang ditahan oleh beton ($\phi.V_c$)
- b) Dihitung gaya geser yang ditahan oleh tulangan geser/senggang (V_s)
- c) Dihitung luas begel yang diperlukan untuk setiap 1 meter panjang balok ($A_{v,u}$) dan jarak antara begel (s)

Skema perhitungan tulangan geser/senggang/begel balok dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema perhitungan tulangan geser / senggang balok

Pelat

Pelat beton bertulang yaitu struktur tipis yang dibuat dari beton bertulang dengan bidang yang arahnya horisontal, dan beban yang bekerja adalah tegak lurus pada bidang tersebut. Ketebalan bidang pelat ini relatif sangat kecil apabila dibandingkan dengan bentang panjang maupun lebarnya. Pelat beton bertulang ini sangat kaku dan arahnya horisontal, sehingga pada bangunan gedung pelat berfungsi sebagai diafragma atau unsur pengaku horisontal yang berfungsi mendukung balok portal. (Asroni A, 2017a)

Beban yang bekerja pada pelat umumnya diperhitungkan terhadap beban gravitasi (beban mati dan atau beban hidup).

Beban tersebut mengakibatkan terjadinya momen lentur, oleh karena itu pelat juga direncanakan terhadap momen lentur. Perencanaan tulangan pelat terbagi menjadi 2 macam yaitu pelat dengan tulangan pokok satu arah (pelat satu arah / *one way slab*) dan pelat dengan tulangan pokok dua arah (pelat dua arah / *two way slab*). (Asroni A, 2017a)

Oleh karena momen lentur hanya bekerja pada 1 arah yang searah bentang L, maka tulangan pokok juga dipasang 1 arah yang searah dengan bentang L tersebut. Untuk menjaga agar kedudukan tulangan pokok (pada saat pengecoran beton) tidak berubah / tidak bergeser dari tempat semula, maka dipasang tulangan tambahan yang

arahnya tegak lurus tulangan pokok. Tulangan tambahan ini lazimnya disebut tulangan bagi. Tulangan bagi selain memperkuat kedudukan tulangan pokok tersebut dapat pula berfungsi sebagai tulangan untuk menahan retak pada beton akibat susut dan perbedaan suhu pada beton. (Asroni A, 2017a)

Pelat dengan tulangan pokok dua arah ini akan dijumpai jika pelat beton menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang dua arah. Contoh pelat dua arah adalah pelat yang ditumpu oleh empat sisi yang saling sejajar. Oleh karena momen lentur bekerja pada 2 arah yaitu arah searah dengan bentang I_x dan bentang I_y , maka tulangan pokok juga dipasang pada 2 arah yang saling tegak lurus (bersilangan), sehingga tidak diperlukan tulangan bagi. Tetapi pada pelat di daerah tumpuan hanya bekerja momen lentur satu arah saja, sehingga untuk daerah tumpuan ini dipasang tulangan pokok dan tulangan bagi. Untuk pelat dua arah / *two way slab* bahwa di daerah lapangan hanya ada tulangan pokok saja (baik arah I_x maupun arah I_y) yang saling bersilangan, namun di daerah tumpuan terdapat tulangan pokok dan tulangan bagi. (Asroni A, 2017a)

Perencanaan Tulangan Pelat

Pada perencanaan pelat beton bertulang, perlu diperhatikan beberapa persyaratan atau ketentuan sebagai berikut : (Asroni A, 2017a)

- a) Pada perhitungan pelat, lebar pelat diambil 1 meter ($b = 1.000 \text{ mm}$)
- b) Panjang bentang (L) \rightarrow SNI 2847:2013 Pasal 8.9
 - 1) Pelat yang tidak menyatu dengan struktur pendukung (Pasal 8.9.1)
 - 2) Pelat yang menyatu dengan struktur pendukung (Pasal 8.9.4)
 - \rightarrow jika $L_n \leq 3,0 \text{ m}$ \rightarrow maka $L = L_n$

\rightarrow jika $L_n > 3,0 \text{ m}$ \rightarrow maka $L = L_n + (2 \times 50 \text{ mm})$

c) Tebal minimum pelat (h) \rightarrow SNI 2847:2013 Pasal 11.5

- 1) Untuk pelat satu arah, tebal minimum pelat dapat dilihat pada Tabel 2.1 (SNI Pasal 9.5.2.1)
- 2) Untuk pelat dua arah, tebal minimum pelat bergantung pada $\alpha_m = \alpha$ rata-rata. α adalah rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat dengan rumus sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{E_{cb}/I_b}{E_{cp}/I_p}$$

Pasal 9.5.3.3 SNI 2847:2013 tebal minimum pelat (h) :

- a. Jika $\alpha_m \leq 0,2$ \rightarrow maka $h \geq 125 \text{ mm}$
- b. Jika $0,2 < \alpha_m \leq 2$ \rightarrow maka nilai h adalah sebagai berikut :

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)}$$

dan $h \geq 125 \text{ mm}$

- c. Jika $\alpha_m > 0,2$ \rightarrow maka nilai h adalah sebagai berikut :

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$$

dan $h \geq 90 \text{ mm}$

dimana :

β : rasio bentang bersih pelat dalam arah memanjang dan arah memendek

d) Tebal selimut beton minimum \rightarrow SNI 2847:2013 Pasal 7.7.1

- \rightarrow untuk batang tulangan $D \leq 36$ \rightarrow tebal selimut beton $\geq 20 \text{ mm}$
- \rightarrow untuk batang tulangan $D44 - D56$ \rightarrow tebal selimut beton $\geq 40 \text{ mm}$

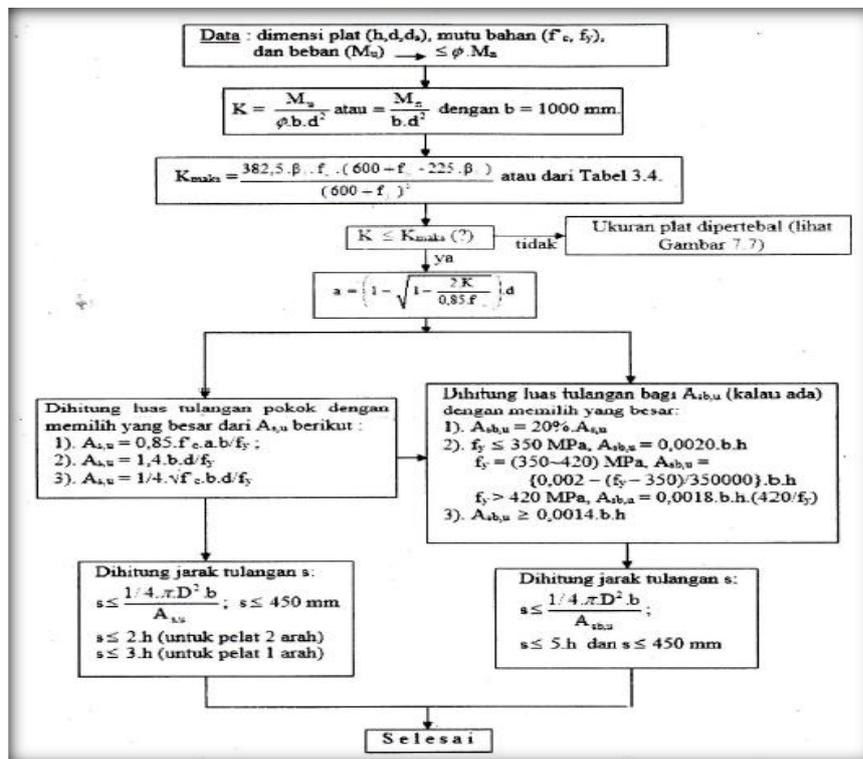
e) Jarak bersih antar tulangan (s) \rightarrow SNI 2847:2013 Pasal 7.6.1

- $\rightarrow s \geq D$ dan $s \geq 25 \text{ mm}$

- $s \geq 4/3 \cdot \text{diameter maksimum agregat}$
atau $s \geq 40 \text{ mm}$ → Pasal 3.3.2
(diameter nominal maksimum kerikil = 30 mm)
- f) Jarak maksimum tulangan (as ke as)
Tulangan pokok :
 - Pelat 1 arah → $s \leq 3 \cdot h$ dan $s \leq 450 \text{ mm}$ (Pasal 7.6.5)
 - Pelat 2 arah → $s \leq 2 \cdot h$ dan $s \leq 450 \text{ mm}$ (Pasal 13.3.2)
 Tulangan bagi → $s \leq 5 \cdot h$ dan $s \leq 450 \text{ mm}$ (Pasal 7.12.2.2)
- g) Luas tulangan minimum pelat
 - 1) Tulangan pokok → SNI 2847:2013
Pasal 10.5.1

- 2) Tulangan bagi/tulangan susut dan suhu → SNI 2847:2013 Pasal 7.12.2.1
 - untuk $f_y \leq 350 \text{ MPa}$ → maka $A_{sh} \geq 0,002 \cdot b \cdot h$
 - untuk $350 \text{ MPa} < f_y < 420 \text{ MPa}$ → maka :
 $A_{sh} \geq \{0,002 - (f_y - 350)/350000\} \cdot b \cdot h$
 - untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$ → maka $A_{sh} \geq 0,0018 \cdot b \cdot h \cdot (420/f_y)$
tetapi $A_{sb} \geq 0,0014 \cdot b \cdot h$

Langkah perhitungan penulangan pelat lantai dalam bentuk skema perhitungan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema perhitungan pelat

Kolom

Pada struktur bangunan gedung, kolom memiliki fungsi untuk mendukung beban-beban dari balok dan pelat untuk diteruskan ke tanah dasar melalui fondasi. Oleh karena itu, dapat didefinisikan kolom adalah salah satu komponen struktur vertikal yang secara khusus difungsikan untuk memikul beban aksial tekan (dengan atau tanpa adanya momen lentur) dan memiliki rasio

tinggi/panjang terhadap dimensi terkecilnya sebesar 3 atau lebih (Setiawan, 2016).

Kolom dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu : kolom panjang (sering disebut dengan kolom kurus atau kolom langsing) dan kolom pendek (sering disebut dengan kolom gemuk atau kolom tidak langsing). Batasan tentang panjang atau pendeknya suatu kolom tergantung pada ukuran tinggi

atau rendahnya kolom bila dibandingkan dengan dimensi lateral.

Perencanaan Tulangan Longitudinal Kolom

Pada prinsipnya perencanaan tulangan longitudinal pada kolom dibagi menjadi 6 kondisi hitungan sebagai berikut : (Asroni A, 2017b)

- 1) Menghitung nilai a_c dan nilai a_b dengan persamaan sebagai berikut :

$$a_c = \frac{P_u}{\phi \times 0,85 \times f'_c \times b \times 600 \times \beta_1 \times d}$$

$$a_b = \frac{600 + f_y}{600 + f_y}$$

- 2) Membandingkan nilai a_c dan a_b , sehingga diperoleh 2 kondisi penampang kolom sebagai berikut :

- a) Jika $a_c > a_b$, maka penampang kolom pada kondisi beton tekan menentukan. Pada kondisi ini menghitung nilai a_{b1} dan a_{b2} dengan persamaan sebagai berikut :

$$a_{b1} = \frac{600 \times \beta_1 \times d}{600 - f_y}$$

$$a_{b2} = \beta_1 \times d$$

dengan nilai $\phi = 0,65$.

- b) Jika $a_c < a_b$, maka penampang kolom pada kondisi tulangan tarik menentukan. Pada kondisi ini menghitung nilai a_{t1} dan a_{t2} dengan persamaan sebagai berikut :

$$a_{t1} = \frac{600 \times \beta_1 \times d'_s}{600 - f_y}$$

$$a_{t2} = \beta_1 \times d'_s$$

Kemudian dilanjutkan perhitungan ke langkah 4).

- 3) Untuk penampang kolom pada kondisi beton tekan menentukan, masih dibagi lagi menjadi 3 kondisi sebagai berikut :

- a) Jika $a_c > a_{b1}$, maka termasuk ke dalam **KONDISI 1** yaitu kondisi dimana beton tekan menentukan dengan semua tulangan tekan (A'_s) sudah leleh atau dianggap kolom menerima beban sentris. Cara menghitung tulangan tarik (A_s) dan tulangan tekan (A'_s) dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_s = A'_s = \frac{1,25 \times \frac{P_u}{\phi} - 0,85 \times f'_c \times b \times h}{2 \times (f_y - 0,85 \times f'_c)}$$

- b) Jika $a_{b2} < a_c < a_{b1}$, maka termasuk ke dalam **KONDISI 2** yaitu kondisi dimana beton tekan menentukan dengan tulangan tekan (A'_s) kiri belum leleh.

Proses perhitungan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menghitung nilai eksentrisitas (e) dengan persamaan sebagai berikut:

$$e = \frac{M_u}{P_u}$$

2. Menghitung nilai a_{p1}

$$a_{p1} = \frac{(600 - f_y) \times (d - d'_s)}{600 + f_y}$$

3. Menghitung nilai R_1

$$R_1 = -(a_b + a_{p1} + h)$$

4. Menghitung nilai R_2

$$R_2 = 2 \times a_b \times d + a_c \times (a_{p1} + 2 \times e)$$

5. Menghitung nilai R_3

$$R_3 = a_b \times a_c \times (d - d'_s + 2 \times e)$$

6. Menghitung nilai a dengan cara trial and error dengan persamaan sebagai berikut :

$$a^3 + R_1 \cdot a^2 + R_2 \cdot a + R_3 = 0$$

dengan syarat : $a_{b1} < a < a_{b2}$

7. Menghitung luas tulangan tarik

(A_s) dan luas tulangan tekan (A'_s)

dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_s = A'_s = \frac{a \cdot \left(\frac{P_u}{\phi} - 0,85 \times f'_c \times a \times b \right)}{(600 + f_y) \times a - 600 \times \beta_1 \times d}$$

- c) Jika $a_b < a_c < a_{b2}$, maka termasuk ke dalam **KONDISI 3** yaitu kondisi dimana beton tekan menentukan dengan tulangan tarik (A_s) kiri belum leleh.

Proses perhitungan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menghitung nilai eksentrisitas (e) dengan persamaan sebagai berikut:

$$e = \frac{M_u}{P_u}$$

2. Menghitung nilai a_{p2}

$$a_{p2} = \frac{2 \times f_y \times d_s + 1200 \times d}{600 + f_y}$$

3. Menghitung nilai R_4

$$R_4 = -(a_b + a_{p2})$$

4. Menghitung nilai R_5

$$R_5 = 2 \times a_b \times d - a_c \times (h - a_{p2} - 2 \times e)$$

5. Menghitung nilai R_6

$$R_6 = -a_b \times a_c \times (d - d'_s + 2 \times e)$$

6. Menghitung nilai a dengan cara trial and error dengan persamaan sebagai berikut :

$$a^3 + R_4 \cdot a^2 + R_5 \cdot a + R_6 = 0$$

dengan syarat : $a_{b2} < a < a_b$

7. Menghitung luas tulangan tarik (A_s) dan luas tulangan tekan (A'_s) dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_s = A'_s = \frac{a \cdot \left(\frac{P_u}{\phi} - 0,85 \times f'_c \times a \times b \right)}{(600 + f_y) \times a - 600 \times \beta_1 \times d}$$

4) Untuk penampang kolom pada kondisi tulangan tarik menentukan, dibagi juga menjadi 3 kondisi sebagai berikut :

a) Jika $a_{t1} < a_c < a_b$, maka termasuk ke dalam **KONDISI 4** yaitu kondisi dimana tulangan tarik menentukan dengan tulangan tekan (A'_s) kanan sudah leleh dan menghitung tulangan tarik (A_s) dan tulangan tekan (A'_s) dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_s = A'_s = \frac{0,5 \times P_u \times (2 \times e - h + a_c)}{\phi \times (d - d'_s) \times f_y}$$

b) Jika $a_{t1} < a_c < a_{t2}$, maka termasuk ke dalam **KONDISI 5** yaitu kondisi dimana tulangan tarik menentukan dengan tulangan tekan (A'_s) kanan belum leleh.

Proses hitungan dilaksanakan sebagai berikut :

1. Menghitung nilai eksentrisitas (e) dengan persamaan sebagai berikut:

$$e = \frac{M_u}{P_u}$$

2. Menghitung nilai a_{p3}

$$a_{p3} = \frac{2 \times f_y \times d - 1200 \times d_s}{600 - f_y}$$

3. Menghitung nilai R_7

$$R_7 = a_{p3} - a_{t1}$$

4. Menghitung nilai R_8

$$R_8 = a_c \times (2 \times e - h - a_{p3}) + 2 \times a_{t1} \times d'_s$$

5. Menghitung nilai R_9

$$R_9 = a_c \times a_{t1} \times (d - d'_s - 2 \times e)$$

6. Menghitung nilai a dengan cara trial and error dengan persamaan sebagai berikut :

$$a^3 + R_7 \cdot a^2 + R_8 \cdot a + R_9 = 0$$

dengan syarat : $a_{t1} < a < a_{t2}$

7. Menghitung luas tulangan tarik (A_s) dan luas tulangan tekan (A'_s) dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_s = A'_s = \frac{a \cdot \left(\frac{P_u}{\phi} - 0,85 \times f'_c \times a \times b \right)}{(600 - f_y) \times a - 600 \times \beta_1 \times d}$$

c) Jika $a_{t2} > a_c$, maka termasuk ke dalam **KONDISI 6** yaitu kondisi dimana tulangan tarik menentukan tanpa tulangan tekan. Pada kondisi ini nilai eksentrisitas (e) sangat besar, beban aksial kolom (P_u) diabaikan dan kolom boleh dianggap hanya menahan momen lentur (M_u) saja.

Proses perhitungan dilakukan seperti perhitungan pada penulangan balok.

Perencanaan Tulangan Geser / Senggang Pada Kolom

Faktor kegagalan kolom dapat pula disebabkan oleh ketidakmampuan kolom dalam menerima gaya geser atau gaya lintang yang bekerja (Asroni A, 2017b). Gaya geser nominal kolom dianggap hanya ditahan oleh serat beton dan begel saja dan dirumuskan seperti berikut :

$$V_n = V_c + V_s$$

dengan :

V_n : gaya geser nominal (N)

V_c : gaya geser yang ditahan oleh beton (N)

V_s : gaya geser yang ditahan oleh tulangan sengkang (N)

Berikut ini prosedur perhitungan tulangan geser (sengkang/begel) kolom : (Asroni A, 2017b)

1. Menghitung gaya geser perlu kolom ($V_{u,k}$)

$$V_{u,k} = \frac{M_{u2} - M_{u1}}{l_k}$$

dengan :

$V_{u,k}$: gaya geser perlu kolom (N)

M_{u2} : momen perlu yang besar pada salah satu ujung kolom (N.mm)

M_{ul} : momen perlu yang kecil pada salah satu ujung kolom (N.mm)

l_k : panjang kolom (mm)

2. Menghitung gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c)

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \times \lambda \times b \times d$$

3. Menghitung gaya geser yang ditahan oleh tulangan geser (V_s)

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

dengan $\phi = 0,75$

4. Menghitung luas sengkang perlu (A_v) untuk setiap panjang kolom $S = 1000$ mm dengan memilih yang terbesar dari nilai A_v berikut ini :

$$A_v = \frac{V_s \times S}{f_{yt} \times d}$$

$$A_v = \frac{0,35 \times b \times S}{f_{yt}}$$

$$A_v = \frac{0,062 \times \sqrt{f'_c} \times b \times S}{f_{yt}}$$

Pasal 11.4.2 \rightarrow Tegangan leleh begel (f_{yt}) harus ≤ 420 MPa

5. Memilih begel n kaki dengan diameter (d_p), kemudian menghitung jarak begel (s) dengan persamaan sebagai berikut :

$$s = \frac{n \times \pi \times d_p^2 \times S}{4 \times A_v}$$

Pasal 7.10.5.1 $\rightarrow d_p \geq 10$ mm untuk $D \leq 32$ mm dan $d_p \geq 13$ mm untuk D36, D45 dan D56

6. Mengontrol jarak begel (s) dengan persyaratan sebagai berikut :

Pasal 7.6.3 $\rightarrow s_n \geq 1,5 \times D$ dan $s_n \geq 40$ mm

Pasal 7.10.5.2 $\rightarrow s \leq 16 \times D$ dan $s \leq 48 \times d_p$

Pasal 11.4.5.1 \rightarrow untuk $V_s < 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$, maka $s \leq d/2$ dan $s \leq 600$ mm

Pasal 13.5.4.3 \rightarrow untuk $V_s > 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$, maka $s \leq d/4$ dan $s \leq 300$ mm

dengan :

s dan s_n : spasi dan spasi bersih antar tulangan (mm)

D : diameter tulangan memanjang kolom (mm)

d_p : diameter tulangan geser / sengkang
 $d = h - d_s =$ tinggi efektif penampang kolom (mm).

7. Memilih jarak begel (s) yang memenuhi point 6 dan dibulatkan ke bawah pada kelipatan 5 mm.

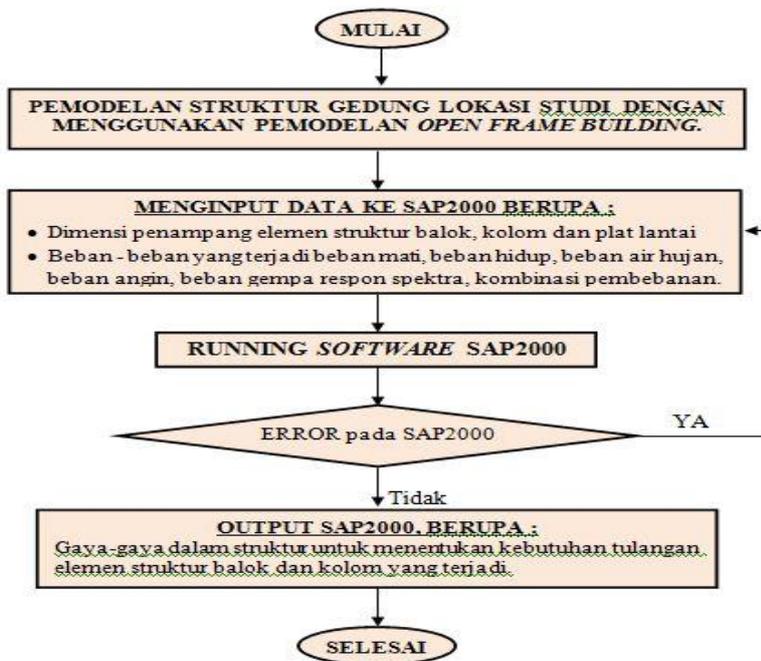
8. Dihitung luas sengkang/begel terpasang (A_v) dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_v = \frac{n \times \pi \times d_p^2 \times S}{4 \times s}$$

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret-September 2018. Alat dan bahan yang digunakan adalah gambar perencanaan gedung lokasi penelitian, peraturan perencanaa struktur tahan gempa, Microsoft office, *software* SAP2000, dan Auto CAD

Struktur gedung lokasi studi ini dimodelkan dan dianalisis secara 3 dimensi (3D) dengan menggunakan *software* SAP 2000. Adapun diagram alir (*flowchart*) analisis perhitungan portal 3D struktur gedung apartemen lokasi studi kasus dengan menggunakan *software* SAP 2000 adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Flowchart perhitungan portal gedung lokasi studi dengan menggunakan SAP 2000

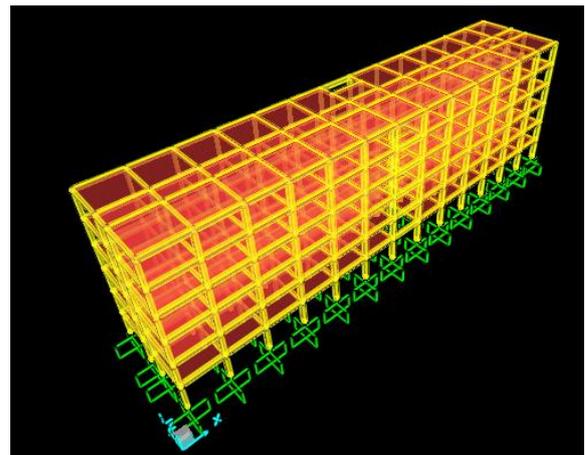
Hasil dan Pembahasan

Analisis Struktur Gedung Lokasi Studi

Analisis pembebanan pada struktur gedung apartemen lokasi studi Kota Cirebon yang terdiri dari 6 (enam) lantai dengan tinggi tiap lantai sebesar 3,25 meter dan luas bangunan untuk tiap lantai sebesar 833,28 m² (67,20 m x 12,40 m) dilakukan dengan bantuan program SAP2000. Hasil analisa SAP2000 akan menghasilkan output berupa reaksi gaya-gaya dalam struktur (berupa gaya aksial tekan/tarik, gaya lintang/geser dan momen lentur) yang akan digunakan untuk perencanaan kebutuhan tulangan balok dan perencanaan kebutuhan tulangan kolom gedung lokasi studi.

Pembebanan Pada Struktur Gedung Lokasi Studi

Adapun beban-beban yang akan dianalisa dan yang akan bekerja pada struktur portal gedung lokasi studi adalah :



Gambar 5. Pemodelan struktur gedung lokasi studi dengan SAP2000

Beban Mati (Dead Load)

Beban mati yang bekerja di dalam struktur gedung lokasi studi adalah beban sendiri struktur yang secara otomatis dihitung oleh software SAP2000, tanpa dilakukan penginputan besarnya nilai beban mati tersebut. Beban mati meliputi berat balok, berat kolom dan berat pelat lantai.

Beban Mati Tambahan (Super DeadLoad)

1. Beban Dinding

Di dalam PPIURG 1987 dijelaskan bahwa besarnya beban dinding pasangan setengah batu bata merah adalah sebesar 250 kg/m^2 . Sehingga dapat dihitung beban dinding yang bekerja pada balok yang terdapat dinding adalah sebesar :

$$250 \text{ kg/m}^2 \times 0,5 \times 3,25 \text{ m} = 406,25 \text{ kg/m.}$$

2. Beban Spesi dan Penutup Lantai

Di dalam PPIURG 1987 dijelaskan bahwa besarnya beban adukan semen per cm tebal adalah sebesar 21 kg/m^2 , sedangkan beban penutup lantai tanpa adukan per cm tebal adalah sebesar 24 kg/m^2 .

$$\begin{aligned} \text{Adukan semen tebal 3 cm} &= 3 \times 21 \text{ kg/m}^2 \\ &= 63 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penutup lantai keramik 2 cm} &= 2 \times 24 \text{ kg/m}^2 \\ &= 48 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga beban spesi dan penutup lantai yang bekerja adalah sebesar := 111 kg/m^2

3. Beban Langit – Langit dan Penggantung

Di dalam PPIURG 1987 dijelaskan bahwa besarnya :

$$\begin{aligned} \text{Beban langit-langit} &= 11 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Beban penggantung} &= 7 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Beban ME} &= \frac{25 \text{ kg/m}^2}{43 \text{ kg/m}^2} \end{aligned}$$

Beban Hidup (Live Load)

Beban hidup (*live load*) yang bekerja pada lantai bangunan tergantung dari fungsi ruang yang digunakan. Berdasarkan SNI 1727:2013, maka besarnya beban hidup yang bekerja pada struktur gedung lokasi studi adalah sebesar $4,79 \text{ kN/m}^2$ atau sebesar 479 kg/m^2 .

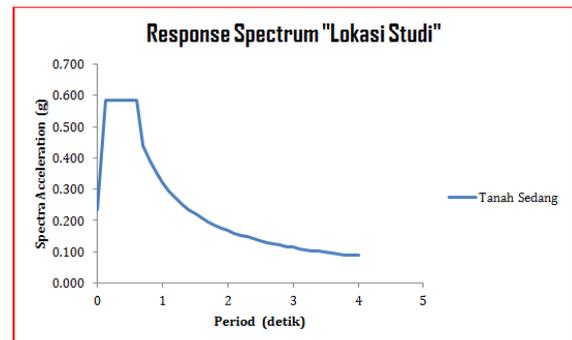
Beban Gempa (Earthquake Load)

Analisis perhitungan gaya gempa pada struktur gedung berdasarkan acuan SNI 1726:2012, dimana dalam melakukan analisis terhadap beban gempa yang terjadi

di struktur gedung lokasi studi Kota Cirebon menggunakan Respon Spektra Gempa. Analisis gaya gempa meliputi :

1) Parameter Percepatan Gempa (S_s, S_1)

Hasil *output* percepatan gempa (S_s, S_1) untuk lokasi studi ini adalah sebesar $S_s = 0,715 \text{ g}$ dan $S_1 = 0,291 \text{ g}$ ($g = \text{percepatan gravitasi} = 9,81 \text{ m/det}^2$)



Gambar 6. Nilai spektral percepatan untuk tanah sedang di lokasi studi

2) Kategori Desain Seismik

Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS) berdasarkan kategori risiko dan parameter respons spectral percepatan desain sesuai dengan SNI 1726:2012. Berdasarkan perhitungan sebelumnya, didapatkan nilai parameter percepatan respons spectral pada perioda pendek (S_{DS}) sebesar $0,585 \text{ g}$ dan parameter percepatan respons spektral pada perioda 1detik (S_{D1}) sebesar $0,353 \text{ g}$, maka struktur gedung lokasi studi termasuk ke dalam kategori risiko D.

3) Jenis Sistem Penahan Gaya Gempa

Karena lokasi studi termasuk kategori desain seismik "D", sehingga diperoleh kesimpulan bahwa struktur gedung di lokasi studi menggunakan sistem penahan gaya gempa yakni Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), sehingga didapatkan nilai faktor modifikasi respons gempa (R) = 8.

4) Respon Spektrum Gempa Rencana

Setelah mendapatkan respon spektrum gempa di lokasi studi, maka selanjutnya menginput respon spektrum gempa rencana tersebut ke dalam *software* SAP2000. Di dalam menginput respon spektrum gempa ke dalam SAP2000 besarnya nilai Skala Faktor (*Scale Factor*) Gempa pada arah X sebesar 1,225 untuk SF(1) dan 0,3675 untuk SF(0,3) dan besarnya nilai Skala Faktor (*Scale Factor*) Gempa pada arah Y sebesar 1,225 untuk SF(1) dan 0,3675 untuk SF(0,3).

Beban Angin (*Wind Load*)

Perhitungan beban angin yang terjadi pada struktur lokasi studi dianalisa berdasarkan acuan SNI 1727:2013. Tahapan perhitungan beban angin yang terjadi pada struktur meliputi :

1) Penentuan Kecepatan Angin / *Wind Speed*

Besarnya kecepatan angin di lokasi studi yakni di daerah Kota Cirebon, Jawa Barat, berkisar sekitar 14,5 km/jam atau setara dengan 9,01 mile/hours.

2) Penentuan Kategori Eksposur / *Exposure Type*

Berdasarkan SNI 1727:2013, maka kategori eksposur di struktur gedung lokasi studi tergolong ke dalam Kategori Eksposur B karena lokasi studi memiliki kekasaran permukaan B (daerah perkotaan).

3) Penentuan Faktor kepentingan Komponen (*Importance Factor*)

Karena struktur gedung lokasi studi tergolong ke dalam kategori risiko I, maka berdasarkan SNI 1727:2013 besarnya faktor kepentingan komponen (Faktor Kepentingan Es-Angin) sebesar 1,00.

4) Penentuan Faktor Topografi / *Topographical Factor* (K_{zt})

Berdasarkan SNI 1727:2013 besarnya faktor topografi (K_{zt}) adalah sebesar 1,0.

5) Penentuan Efek Tiupan Angin (*Gust Factor*)

Berdasarkan SNI 1727:2013 besarnya faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.

6) Penentuan Arah Angin / *Directionality Factor* (K_d)

Berdasarkan SNI 1727:2013 besarnya faktor arah angin (K_d) untuk suatu bangunan gedung dengan sistem penahan beban angin utama diambil sebesar 0,85.

7) Menginput parameter angin ke dalam SAP2000

Setelah parameter-parameter beban angin tersebut diatas berdasarkan SNI 1727:2013 telah ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah menginput parameter-parameter beban angin tersebut di atas ke dalam SAP2000.

Kombinasi Pembebanan (Load Combination) pada Struktur Gedung

Kombinasi pembebanan atau kekuatan perlu di dalam Pasal 9.2 SNI 2847:2013 atau di dalam Pasal 4.2.2 SNI 1726:2012 yakni sebagai berikut :

- 1) 1,4 D
- 2) 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r atau R)
- 3) 1,2 D + 1,6 (L_r atau R) + (1,0 L atau 0,5 W)
- 4) 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (L_r atau R)
- 5) 1,2 D + 1,0 E + 1,0 L
- 6) 0,9 D + 1,0 W
- 7) 0,9 D + 1,0 E
- 8) $(1,2 + 0,2 S_{DS}).D + \rho.Q_E + L$

dimana :

D : beban mati

E : beban gempa

L : beban hidup

L_r : beban hidup atap

R : beban hujan

W : beban angin

Di dalam pasal 7.4.2 SNI 1726:2012 bahwa pengaruh beban gempa (E) harus ditentukan sebagai berikut ini :

a) Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 dalam 4.2.2 SNI 1726:2012 harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini :

$$E = E_h + E_v$$

$$E = (\rho \cdot Q_E) + (0,2 \cdot S_{DS} \cdot D_L)$$

b) Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 dalam 4.2.2 SNI 1726:2012 harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini :

$$E = E_h - E_v$$

$$E = (\rho \cdot Q_E) - (0,2 \cdot S_{DS} \cdot D_L)$$

dimana :

E_h : pengaruh beban gempa horizontal

E_v : pengaruh beban gempa vertikal

ρ : faktor redundansi

$$\rho = 1,30$$

Q_E : pengaruh gaya gempa horizontal

S_{DS} : parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek

$$S_{DS} = 0,585 g$$

Sehingga, kombinasi pembebanan yang digunakan pada struktur gedung lokasi studi adalah sebagai berikut :

- 1) 1,4 D
- 2) 1,2 D + 1,6 L + 0,5 R
- 3) 1,2 D + 1,6 R + 1,0 L
- 4) 1,2 D + 1,6 R + 0,5 W_X + 0,5 W_Y
- 5) 1,2 D + 1,6 R + 0,5 W_X - 0,5 W_Y
- 6) 1,2 D + 1,6 R - 0,5 W_X + 0,5 W_Y
- 7) 1,2 D + 1,6 R - 0,5 W_X - 0,5 W_Y
- 8) 1,2D + 1,0 W_X + 1,0 W_Y + 1,0L + 0,5R
- 9) 1,2D + 1,0 W_X - 1,0 W_Y + 1,0L + 0,5R
- 10) 1,2D - 1,0 W_X + 1,0 W_Y + 1,0L + 0,5R
- 11) 1,2D - 1,0 W_X - 1,0 W_Y + 1,0L + 0,5R
- 12) 1,2D + 0,3($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 1,0 ($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 1,0L
- 13) 1,2D + 0,3($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) - 1,0 ($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 1,0L
- 14) 1,2D - 0,3 ($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 1,0 ($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 1,0 L

- 15) 1,2D - 0,3 ($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) - 1,0 ($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 1,0 L
- 16) 1,2D + 1,0 ($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 0,3 ($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 1,0 L
- 17) 1,2D + 1,0 ($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) - 0,3 ($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 1,0 L
- 18) 1,2D - 1,0 ($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 0,3 ($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 1,0 L
- 19) 1,2D - 1,0 ($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) - 0,3 ($\rho \cdot Q_E$ + 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 1,0 L
- 20) 0,9D + 1,0 W_X + 1,0 W_Y
- 21) 0,9D + 1,0 W_X - 1,0 W_Y
- 22) 0,9D - 1,0 W_X + 1,0 W_Y
- 23) 0,9D - 1,0 W_X - 1,0 W_Y
- 24) 0,9 D + 0,3($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 1,0 ($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$)
- 25) 0,9 D + 0,3 ($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$) - 1,0($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$)
- 26) 0,9 D - 0,3 ($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 1,0($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$)
- 27) 0,9 D - 0,3 ($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$) - 1,0 ($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$)
- 28) 0,9 D + 1,0 ($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 0,3 ($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$)
- 29) 0,9 D + 1,0 ($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$) - 0,3 ($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$)
- 30) 0,9 D - 1,0 ($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$) + 0,3 ($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$)
- 31) 0,9 D - 1,0 ($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$) - 0,3($\rho \cdot Q_E$ - 0,2. $S_{DS} \cdot D$)

Setelah menghitung besarnya kombinasi pembebanan selanjutnya dilakukan kombinasi pembebanan ke dalam SAP2000.

Perencanaan Struktur

Perencanaan Pelat Lantai

Struktur gedung lokasi studi digunakan pelat lantai dua arah (*two way slab*). Untuk perhitungan pelat lantai dipilih dari pelat lantai dengan kondisi terjepit penuh pada keempat sisinya (terjepit penuh oleh balok pada keempat sisi pelat lantai) dengan tebal pelat lantai sebesar 13 cm dan dimensi pelat lantai berukuran 4,80 m x 5,0 m. Bentang

pelat lantai *two way slab* (dua arah) dibagi menjadi 2 jenis yaitu :

1. Bentang Iy (Bentang pelat lantai yang terpanjang, dalam penelitian ini yakni 5,0 m).
2. Bentang Ix (Bentang pelat lantai yang terpendek, dalam penelitian ini yakni 4,80 m).

Dari hasil perhitungan, penulangan untuk arah Iy (bentang terpanjang 5,0 m) menggunakan tulangan pokok berukuran D10-175 dan tulangan bagi D8-175 sedangkan penulangan untuk arah Ix (bentang terpendek 4,80 m) menggunakan tulangan pokok berukuran D10-175 dan tulangan bagi D8-175.

Tabel 1. Rekapitulasi Dimensi Balok, Tulangan Pokok Balok dan Tulangan Senggang Balok

No.	Type	DIMENSI		TULANGAN POKOK TUMPUAN				TULANGAN POKOK LAPANGAN				TULANGAN SENGGANG	
		B (mm)	H (mm)	ATAS		BAWAH		ATAS		BAWAH		Ø (mm)	Spasi (mm)
				Jumlah (buah)	D (mm)	Jumlah (buah)	D (mm)	Jumlah (buah)	D (mm)	Jumlah (buah)	D (mm)		
1	B1	300	500	4	16	2	16	2	16	3	16	8	194.25
2	B2	300	500	5	16	3	16	2	16	3	16	8	194.25
3	B3	300	500	5	16	3	16	2	16	3	16	8	194.25
4	B4	300	500	5	16	3	16	2	16	3	16	8	194.25
5	B5	300	500	4	16	2	16	2	16	3	16	8	194.25
6	B6	300	500	4	16	2	16	2	16	3	16	8	194.25
7	B7	300	500	3	16	2	16	2	16	3	16	8	194.25
8	B8	300	500	4	16	2	16	2	16	3	16	8	194.25
9	B9	300	500	4	13	2	13	2	13	4	13	8	194.25
10	B10	300	500	5	13	3	13	2	13	4	13	8	194.25
11	B11	300	500	4	13	2	13	2	13	4	13	8	194.25
12	B12	300	500	5	13	3	13	2	13	4	13	8	194.25
13	B13	250	500	5	13	3	13	2	13	3	13	8	194.25
14	B14	250	500	7	13	4	13	2	13	3	13	8	193.99
15	B15	250	500	5	13	3	13	2	13	3	13	8	194.25
16	B16	250	500	6	13	3	13	2	13	3	13	8	194.25

Perencanaan Kolom

Pada struktur gedung lokasi studi digunakan kolom dengan mutu beton K-400. Untuk perhitungan kolom pada struktur gedung lokasi studi dilakukan dengan menggunakan metode perhitungan kolom yang telah dijelaskan. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan metode analisis, maka pada struktur gedung lokasi studi digunakan 1 type yaitu kolom type K1 dengan detail dimensi dan penulangan kolom sebagai berikut :

1. Dimensi kolom 350 cm x 350 cm
2. Penulangan untuk tulangan pokok atau tulangan memanjang menggunakan tulangan 8-D19.

Perencanaan Balok

Pada struktur gedung lokasi studi digunakan balok dengan mutu beton K-350 dengan 16 type balok dengan rincian penempatan balok sebagai berikut :

1. Lantai 1 → balok type B1, B2, B3, B4.
2. Lantai 2 → balok type B5, B6, B7, B8.
3. Lantai 3 & Lantai 4 → balok type B9, B10, B11, B12.
4. Lantai 5 & Lantai 6 → balok type B13, B14, B15, B16.

Dimensi balok dan detail penulangan balok yang telah dihitung pada struktur gedung disajikan pada Tabel 1

3. Penulangan untuk tulangan geser atau tulangan sengkang menggunakan tulangan polos diameter (\emptyset) 10 dengan jarak 140 cm.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari hasil penelitian ini dapat ditampilkan sebagai berikut:

1. Penentuan tentang pembebanan suatu gedung harus disesuaikan dengan fungsi dari bangunan tersebut yang mengacu pada SNI 1727:2013 tentang pembebanan untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, dan

- SNI 2847:2013 tentang Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.
2. Pembebanan gempa pada struktur gedung lokasi studi mengacu pada aturan SNI 1726:2012 tentang gempa, dimana pada struktur gedung Lokasi Studi Kota Cirebon untuk perhitungan beban gempa menggunakan Respon Spektrum Gempa.
 3. Struktur gedung lokasi studi terdiri dari 6 (enam) lantai dengan tinggi tiap lantai sebesar 3,25 meter dan luas bangunan untuk tiap lantai sebesar 833,28 m² (67,20 m x 12,40 m).
 4. Struktur gedung lokasi studi menggunakan pelat lantaidua arah (*two way slab*) dengan tebal pelat sebesar 13 cm dan ukuran pelat lantai yakni 4,80 m x 5,0 m. Penulangan untuk arah Iy (bentang terpanjang 5,0 m) menggunakan tulangan pokok berukuran D10-175 dan tulangan bagi D8-175 sedangkan penulangan untuk arah Ix (bentang terpendek 4,80 m) menggunakan tulangan pokok berukuran D10-175 dan tulangan bagi D8-175.
 5. Struktur gedung lokasi studi menggunakan balok dengan 16 type yaitu balok B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11, B12, B13, B14, B15, dan B16 dengan detail dimensi dan penulangan sebagai berikut :
 - a) Balok type B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11, dan B12 memiliki dimensi penampang balok $b = 300$ mm dan $h = 500$ mm.
 - b) Balok type B13, B14, B15 dan B16 memiliki dimensi penampang balok $b = 250$ mm dan $h = 500$ mm.
 - c) Balok type B1 memiliki tulangan pokok tumpuan dengan tulangan atas berukuran 4-D16, tulangan bawah 2-D16 dan memiliki tulangan pokok lapangan dengan tulangan atas 2-D16, tulangan bawah 3-D16.
 - d) Balok type B2, B3 dan B4 memiliki tulangan pokok tumpuan dengan tulangan atas berukuran 5-D16, tulangan bawah 3-D16 dan memiliki tulangan pokok lapangan dengan tulangan atas 2-D16, tulangan bawah 3-D16.
 - e) Balok type B5, B6 dan B8 memiliki tulangan pokok tumpuan dengan tulangan atas berukuran 4-D16, tulangan bawah 2-D16 dan memiliki tulangan pokok lapangan dengan tulangan atas 2-D16, tulangan bawah 3-D16.
 - f) Balok type B7 memiliki tulangan pokok tumpuan dengan tulangan atas berukuran 3-D16, tulangan bawah 2-D16 dan memiliki tulangan pokok lapangan dengan tulangan atas 2-D16, tulangan bawah 3-D16.
 - g) Balok type B9, B11 memiliki tulangan pokok tumpuan dengan tulangan atas berukuran 4-D13, tulangan bawah 2-D13 dan memiliki tulangan pokok lapangan dengan tulangan atas 2-D13, tulangan bawah 4-D13.
 - h) Balok type B10 memiliki tulangan pokok tumpuan dengan tulangan atas berukuran 5-D13, tulangan bawah 3-D13 dan memiliki tulangan pokok lapangan dengan tulangan atas 2-D13, tulangan bawah 4-D13.
 - i) Balok type B12 memiliki tulangan pokok tumpuan dengan tulangan atas berukuran 5-D13, tulangan bawah 3-D13 dan memiliki tulangan pokok lapangan dengan tulangan atas 2-D13, tulangan bawah 4-D13.
 - j) Balok type B13 dan B15 memiliki tulangan pokok tumpuan dengan tulangan atas berukuran 5-D13, tulangan bawah 3-D13 dan memiliki tulangan pokok lapangan dengan

- tulangan atas 2-D13, tulangan bawah 3-D13.
- k) Balok type B14 memiliki tulangan pokok tumpuan dengan tulangan atas berukuran 7-D13, tulangan bawah 4-D13 dan memiliki tulangan pokok lapangan dengan tulangan atas 2-D13, tulangan bawah 3-D13.
- l) Balok type B16 memiliki tulangan pokok tumpuan dengan tulangan atas berukuran 6-D13, tulangan bawah 3-D13 dan memiliki tulangan pokok lapangan dengan tulangan atas 2-D13, tulangan bawah 3-D13
- m) Balok type B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11, B12, B13, B15 dan B16 memiliki tulangan sengkang dengan ukuran tulangan $\varnothing 8$ mm dengan jarak spasi 194,25 mm.
- n) Balok type B14 memiliki tulangan sengkang dengan ukuran tulangan $\varnothing 8$ mm dengan jarak spasi 193,99 mm.
6. Struktur gedung lokasi studi menggunakan kolom dengan dimensi 300cm x 600 cm dengan penulangan untuk tulangan pokok atau tulangan memanjang menggunakan 6 D-19 dan untuk tulangan geser atau tulangan sengkang menggunakan $\varnothing 10 - 140$.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni A. (2017a). Balok Plat Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2013. Surakarta: MUP.
- Asroni A. (2017b). Kolom Fondasi dan Balok T Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2013. Surakarta: MUP.
- Badan Standarisasi Nasional. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727:2013.
- Budiono, B. (2009). *Catatan Kuliah Dinamika Struktur dan Pengantar*

Rekayasa Gempa,. Bandung: ITB.

- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung (PPIURG) 1987. Yayasan Penerbit PU.
- Dewobroto, W. (2013). Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP2000. *Lumina, Jakarta*.
- Djamaludin, S. (1999). *Konstruksi Beton Bertulang*. Bandung: Angkasa.
- Faizah, R. (2013). Analisis Gaya Gempa Rencana Pada Struktur Bertingkat Banyak Dengan Metode Dinamik Respon Spektra. *Universitas Sebelas Maret*.
- Imran, I., & Hendrik, F. (2010). Perencanaan struktur gedung beton bertulang tahan gempa. *Penerbit ITB*.
- Indarto, H., Hanggoro, T. C. A., & Putra, K. C. A. (2013). Aplikasi SNI Gempa 1726: 2012 for Dummies. Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang.
- Nasional, B. S. (n.d.-a). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, SNI 2847:2013.
- Nasional, B. S. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726:2012.
- Setiawan, A. (2016). Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847: 2013. *Jakarta: Erlangga*.
- Ticoalu, P. E. E., Pangouw, J. D., & Dapas, S. O. (2015). Studi Komparasi Perhitungan Struktur Bangunan Dengan Menggunakan Sni 03-2847-2013 Dan British Standard 8110-1-1997. *Jurnal Sipil Statik*, 3(10).S