

SNI 2847 : 2013 SEBAGAI ACUAN UJI KEKUATAN STRUKTUR KOLOM GEDUNG BETON BERTULANG PADA BANGUNAN BERTINGKAT

Adventus Gultom ¹⁾, Rahelina Ginting ²⁾, Yusuf Aulia Lubis ³⁾

Fakultas Teknik Universitas Darma Agung, Medan, Indonesia ^{1,2,3)}

Corresponding Author:

adventusgultom53@gmail.com ¹⁾, rahalex77@gmail.com ²⁾, cupteh@gmail.com ³⁾

Abstrak

Perencanaan dan desain berperan penting dalam memastikan kekuatan serta keamanan struktur. Bangunan yang harus menahan beban berat memerlukan struktur penopang yang kuat, terutama untuk struktur bertingkat. Desain struktur juga harus mempertimbangkan aspek ekonomis. Sebagai elemen penting, kolom berfungsi menopang beban aksial tekan vertikal. Agar kolom mampu menahan tekanan bangunan dengan aman, perencanaan dimensi dan desain kolom sangat krusial. Berdasarkan analisis kolom yang mengacu pada SNI 2847:2013, standar beton struktural untuk gedung bertingkat, kolom dengan dimensi 600 mm x 600 mm dimodelkan menggunakan SAP200, dengan data pembebanan yang dimasukkan ke kolom serta dihasilkan tulangan yang sesuai.

Kata kunci : Dimensi Kolom, Beton Bertulang, Bangunan Bertingkat

Abstract

Planning and design play a crucial role in ensuring the strength and safety of structures. Buildings that need to bear heavy loads require strong supporting structures, especially for multi-story buildings. Structural design should also take economic aspects into account. As an essential element, columns function to support vertical axial compressive loads. To ensure that columns can safely withstand building pressure, the planning of column dimensions and design is critical. Based on column analysis according to SNI 2847:2013, the structural concrete standard for multi-story buildings, columns with dimensions of 600 mm x 600 mm were modeled using SAP200, with load data entered into the columns, and appropriate reinforcement was generated.

Keywords: Column Dimensions, Reinforced Concrete, Multi-Story Buildings

PENDAHULUAN

Istilah "bangunan bertingkat tinggi" merujuk pada bangunan dengan berbagai struktur yang memiliki beragam fungsi, seperti hotel, apartemen, dan gedung perkantoran tinggi. Dengan adanya elevator dan material bangunan yang memenuhi standar tertentu, bangunan bertingkat tinggi menjadi layak huni dan dapat dibangun untuk keperluan manusia. Bangunan bertingkat biasanya dibedakan menjadi dua kategori: gedung rendah dan gedung tinggi, sesuai dengan persyaratan teknis strukturnya. Karena perhitungan struktur yang lebih rumit, bangunan dengan tinggi lebih dari empat puluh meter dianggap sebagai bangunan tinggi. Bangunan bertingkat diklasifikasikan dalam kategori bangunan berlantai sedang (5–10 lantai) dan sky building, serta gedung rendah (2–4 lantai), dengan tinggi satu lantai rata-rata sekitar 13 kaki.

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan persyaratan tulangan besi
2. Menghasilkan simpangan antar lantai
3. Menghasilkan rancangan struktur kebal gempa

A. Pembebanan Pada Gedung

Perencanaan gedung sangat dipengaruhi oleh beban yang harus ditanggung struktur, karena hal ini berkaitan erat dengan kekokohan dan kekuatan bangunan. Oleh karena itu, sangat penting untuk melakukan perhitungan beban dengan cermat agar

History:

Received : 25 Maret 2024

Revised : 10 Mei 2024

Accepted : 23 Juni 2024

Published : 31 Oktober 2024

Publisher: LPPM Universitas Darma Agung

Licensed: This work is licensed under

Attribution-NonCommercial-No

Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)



struktur yang dirancang tetap aman saat dibangun dan digunakan sesuai fungsinya. Kesalahan signifikan dalam desain bangunan dapat muncul akibat kekeliruan dalam perencanaan beban atau penerapan beban pada tahap perhitungan.

1. Beban Mati (D): Setiap aspek dari struktur yang bersifat permanen, termasuk elemen tambahan, penyelesaian akhir, dan peralatan pendukung lainnya, dianggap sebagai beban mati. Ada dua kategori beban mati struktur, yakni :
 - a. *Death load* oleh material bangunan
 - b. *Death load* oleh komponen struktur yang menjadi bagian dari bangunan. Berat material bangunan menjadi salah satu syarat, dan komponen bahan bangunan menentukan beban mati pada struktur bangunan.
2. Beban Hidup (L): "Beban hidup" merujuk pada seluruh beban yang diakibatkan oleh penggunaan gedung oleh manusia. Ini mencakup beban pada lantai yang dihasilkan dari objek bergerak, mesin, serta peralatan yang merupakan bagian integral dari gedung. Berdasarkan PPPURG 1987, beban hidup pada struktur terbagi menjadi dua bagian, yaitu:
 - a. Beban hidup pada *building floor*,
 - b. Beban hidup pada *building ceiling*
3. Beban Gempa (E): Beban gempa adalah semua beban statis ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian-bagiannya untuk merepresentasikan gerakan tanah akibat gempa bumi. Dalam konteks ini, beban gempa merujuk pada gaya-gaya dalam gedung yang dipengaruhi oleh pergerakan tanah saat gempa terjadi. Hal ini sesuai dengan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012).

B. Metode Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Terdapat dua metode analisis yang dapat digunakan untuk mengevaluasi beban gempa pada bangunan gedung, yaitu metode beban statis dan beban dinamis.

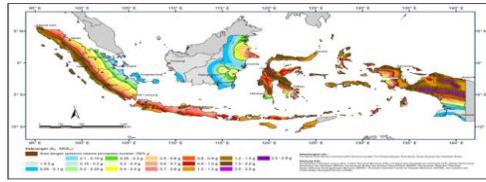
1. Metode Analisis Beban Statik: Dampak gempa pada struktur dianalisis sebagai beban statis horizontal dalam metode analisis beban statis ekuivalen. Metode ini tidak boleh diterapkan pada struktur yang tidak memiliki perbandingan berat dan kekakuan yang mencolok di setiap tingkatnya, karena hanya analisis beban statis ekuivalen yang dapat mendekati efek dinamis gaya yang sebenarnya. Biasanya, gaya geser pada tingkat getar pertama ini disederhanakan menjadi bentuk segitiga terbalik.
2. Metode Analisis Beban Dinamik: Analisis beban dinamik mencakup pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat dengan memperhitungkan pengaruh gerakan tanah yang dinamis pada struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi dua kategori, yaitu:
 - a. Time History adalah metode analisis dinamis yang menggunakan rekaman gempa sebagai masukan untuk model struktur, di mana respons struktur dihitung secara bertahap pada interval yang telah ditentukan.
 - b. Metode Respon Spektrum digunakan untuk menghitung dan mengidentifikasi simpangan, gaya dinamis, serta elemen struktur lainnya, di mana penjumlahan dari respons setiap mode getar menghasilkan total spektrum.

C. Wilayah Gempa Dan Respons Spektrum

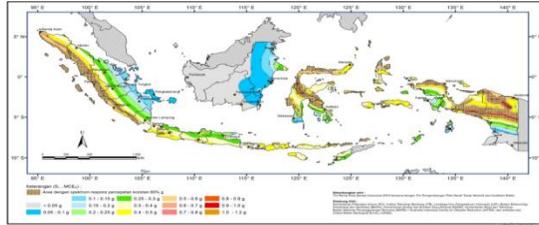
1. Zona Gempa

Parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode pendek (S_s) dan koefisien risiko gempa maksimum yang diperhitungkan (MCE) disajikan dalam SNI 1726:2012, yang merupakan peta gerakan tanah seismik.

Gambar 1. Parameter respons spectral percepatan gempa terpetakan untuk periode pendek (S_s)



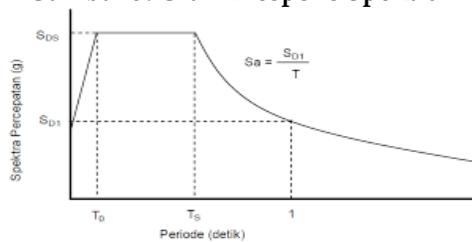
Gambar 2. Parameter respons spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1,0 detik (S_1)



2. Spektrum Respons Gempa

Berdasarkan kedua nilai respons spektrum desain, hubungan antara percepatan dan periode getaran dapat dilihat pada grafik respons spektrum yang telah disajikan.

Gambar 3. Grafik respons Spektrum



D. Analisis Kolom Berdasarkan SNI 2847:2013

SNI 2847:2013 menetapkan bahwa kolom harus dirancang dengan memperhatikan kondisi pembebanan yang menghasilkan rasio momen maksimum terhadap beban aksial, serta gaya aksial dari beban yang telah difaktorkan di semua lantai atau atap.

1. Jenis-Jenis Kolom

Tiga jenis kolom beton bertulang yang paling sering digunakan dalam struktur gedung bertingkat tinggi adalah:

- Kolom pengikat sengkang lateral: Batang tulangan utama yang memanjang dihubungkan ke sisi kolom beton dengan menggunakan pengikat sengkang pada jarak tertentu untuk meningkatkan kekuatan dari tulangan utama yang memanjang.
- Kolom dengan Pengikat Spiral: Kolom ini mirip dengan jenis sebelumnya, namun menggunakan pengikat tulangan utama yang dililit secara melingkar membentuk heliks yang berkelanjutan di sepanjang kolom. Fungsi pengikat spiral adalah untuk mencegah kerusakan pada seluruh struktur sebelum terjadinya redistribusi momen dan tegangan.
- Struktur kolom komposit terdiri dari pipa atau profil baja yang dipadukan dengan beton, baik dengan atau tanpa tambahan batang tulangan utama yang diikat menggunakan begel spiral atau pengikat.

Nilai faktor kelangsingan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Faktor Kelangsingan} = \frac{k \ell_n}{r}$$

2. Tulangan Tekan Kolom

Persamaan desain untuk kolom sengkang persegi dengan portal yang tidak bergoyang dan mengabaikan kelangsingan kolom dapat ditemukan seperti berikut, berdasarkan SNI 2847:2013, pasal 10.3.6:

$$\phi P_n = (0,80) \phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

Syarat untuk luas tulangan tuangan tekan A_{st} berkisar antara 1% hingga 8% dari luas penampang, sesuai dengan SNI 2847:2013, pasal 10.9.1. Oleh karena itu, luas

tulangan longitudinal A_{st} untuk komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari 1% atau lebih dari 8% dari luas penampang.

Dimana :

A_g = Luas bruto penampang beton, mm²

A_{st} = Luas Total batang tulangan, mm²

f'_c = kekuatan tekan beton, Mpa

f_y = Kekuatan leleh tulangan, Mpa

P_n = Kekuatan nominal aksial penampang, N

ϕ = Faktor Reduksi kekuatan

3. Tulangan Geser Kolom

Luas tulangan sengkang tidak boleh lebih kecil dari persamaan berikut, sesuai dengan SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.4:

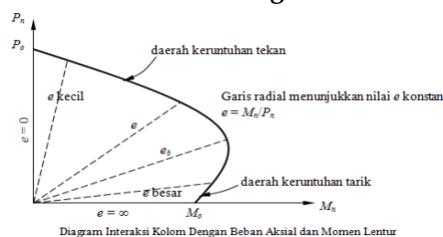
$$A_{sh} = 0,3 \frac{s_b f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_g} \right) - 1 \right]$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s_b f'_c}{f_{yt}}$$

4. Diagram Interaksi Kolom

Kurva dapat dibuat untuk menggambarkan hubungan antara P_n dan M_n untuk berbagai nilai eksentrisitas, guna menghasilkan diagram interaksi.

Gambar 4. Bentuk diagram interaksi



Situasi berikut dapat diterapkan untuk menghitung diagram interaksi kolom:

a. Kapasitas maksimum (P_o) kolom (kolom sentris)

$$P_o = 0,85 \times f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \times f'_c$$

b. Kekuatan nominal maksimum penampang kolom

$$P_{n(max)} = 0,85 \times P_o$$

c. Kuat tekan rencana kolom

$$\phi P_{n(max)} = \phi \times 0,80 \times P_o$$

d. Kapasitas penampang pada kondisi seimbang (*balanced*)

$$M_{nb} = P_{nb} \times e_b$$

$$= 0,85 \times f'_c \times a_b \times b \left(y - \frac{a_b}{2} \right) + A'_g \times f'_c (y - d) + A_g \times f_y (d - y)$$

$$P_{nb} = 0,85 \times f'_c \times a_b \times b + A'_g \times f'_c - A_g \times f_y$$

Maka ;

$$e_b = \left(\frac{M_{nb}}{P_{nb}} \right)$$

sehingga dapat diperoleh hasil dari ;

$$\phi P_{nb} = \dots \text{ kN}$$

$$\phi M_{nb} = \dots \text{ kNm}$$

e. Kapasitas penampang pada kondisi momen murni : ($P=0$)

Ditentukan dengan menganggap penampang balok dengan tulangan tunggal

$$M_n = A_g \times f_y$$

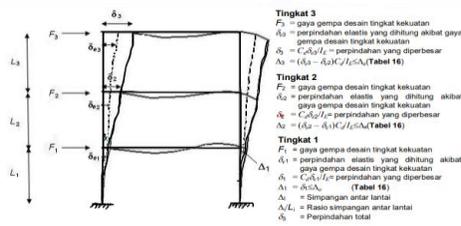
E. Penentuan Simpangan dan Batasan Antar Lantai

Ini adalah proses untuk menentukan simpangan dan batasan antara lantai.

1. Penentuan simpangan antar lantai

Perbedaan defleksi pada pusat massa lantai tertinggi dan terendah yang dianalisis digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai pada tingkat desain (Δ). Hal ini ditunjukkan pada Gambar 5 di bawah.

Gambar 5. Penentuan simpangan lantai



Menurut SNI 1726-2012, gaya gempa lateral akan menyebabkan terjadinya simpangan pada struktur. Dalam proses perencanaan struktur, simpangan lateral antar lantai perlu diperiksa untuk meningkatkan stabilitas struktur, mencegah kerusakan elemen non-struktural, dan memberikan kenyamanan bagi pengguna. Selisih defleksi pada pusat massa di lantai tertinggi dan terendah yang diperiksa perlu dihitung untuk menentukan simpangan antar lantai pada tingkat desain (Δ). Defleksi pada pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e}$$

Dengan:

C_d = faktor pembesaran defleksi

δ_x = defleksi pada lokasi lantai yang ditinjau akibat gaya gempa lateral

I_e = faktor keutamaan gempa, ditentukan oleh kategori resiko

2. Batasan antar Tantai Tingkat

Menurut SNI 1726:2012, simpangan antar lantai pada tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai pada tingkat izin (Δ_a), dengan h_{sx} sebagai ketinggian lantai di bawah tingkat x.

METODE PENELITIAN

A. Alir Analisa

1. Studi Literatur

Untuk mencapai tujuan ini, diperlukan pemahaman mengenai konsep-konsep yang terdapat dalam berbagai peraturan. PPPURG 1987 (Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung), SNI 1726:2012 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non-Gedung), serta SNI 2847:2013, semuanya digunakan dalam perhitungan beban. Selain itu, penting juga untuk mempelajari hasil-hasil penelitian sebelumnya.

- a. Beban hidup: Berat hidup lantai untuk gedung perkantoran = 250 kg/m² = 2,5 kN/m², Beban atap/bagiannya dapat dicapai manusia termasuk kanopi/atap dak = 100 kg/m² = 1,00 kN/m²

- b. Beban Mati: Beban mati tambahan pada pelat lantai sebagai berikut:

- Beban pasir setebal 1 cm (0,01 x 16) = 16 kg/m²
- Beban spesi lantai setebal 2 cm (0,02x22) = 42 kg/m²
- Berat keramik 1 cm (0,1 x 22) = 22 kg/m²
- Beban intalasi ME = 25 kg/m²
- Beban Plafond dan penggantung = 18 kg/m² + 123 kg/m² = 1,23 kN/m²

Beban mati tambahan pada atap:

- Berat plafond dan penggantung = 18 kg/m²
- Beban intalasi ME = 25 kg/m²
- Beban spesi kedap air 2 cm (0,02x22) = 42 kg/m² + 85 kg/m² = 0,85 kN/m²

Beban mati tambahan pada balok :

- Beban dinding ½ bata
 - Tinggi 4m (4-0,45) x 2,5 kN/m³ = 8,5 kN/m²
 - Beban mati pada tangga = 1,54 kN
 - Beban pada border = 1,1 kN
- c. Analisis Beban Gempa: Perhitungan beban horizontal akibat gaya gempa dilakukan berdasarkan SNI 1726:2012 sebagai berikut:
- Data Teknis
 - Jumlah lantai (n) = 5 lantai
 - Tinggi setiap lantai = 4 meter
 - Tinggi total bangunan = 20 meter
 - Kategori Resiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Beban Bempa
 - Kegunaan gedung = gedung perkantoran
 - Kategori resiko bangunan = II
 - Faktor keutamaan beban gempa = 1,0
 - Kombinasi Beban: Kombinasi beban yang digunakan dalam mendesain struktur bangunan ini adalah sebagai berikut :
 - 1,4D + 1,4AD
 - 1,2D + 1,2AD + 1,6LL
 - 1,2D + 1,2AD + 1RSX + 0,3RSY
 - 1,2D + 1,2AD - 1RSX - 0,3RSY
 - 1,2D + 1,2AD + 0,3RSX + 1RSY
 - 1,2D + 1,2AD - 0,3RSX - 1RSY
 - Menentukan Kelas Situs Tanah: Menurut data tanah yang ada di lokasi pembangunan gedung, situs di lokasi tersebut termasuk dalam kelas situs (SE), yang berarti tanah lunak.
 - Menentukan Nilai Respons Spektra: Spektrum respons desain lokasi (BSD Serpong) dapat dihitung dengan menggunakan data dari dua sumber: peta gempa yang ditunjukkan pada SNI1726:2012 dan situs web Puskim PU Indonesia. Untuk tugas akhir ini, penulis menggunakan data dari situs web Puskim PU untuk menghitung nilai respons spektral, yang hasilnya adalah sebagai berikut:
 - $S_s = 0,756 g$
 - $S_1 = 0,325 g$
 - Menentukan Faktor Koefisien Situs F_s dan F_v
Berdasarkan tabel dan tabel maka diperoleh koefisien untuk tanah lunak (SE) adalah sebesar;
 - Dimana $S_s = 0,75$ maka diperoleh untuk tanah lunak (SE) $F_a = 1,2$
 - Dimana $S_1 = 0,3$ maka diperoleh untuk tanah lunak (SE) $F_v = 2,8$
 - Menentukan Parameter Respon Percepatan S_{MS} dan S_{M1}
 - $S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1,2 \cdot 0,756 = 0,907 g$
 - $S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 2,8 \cdot 0,325 = 0,910 g$
 - Parameter Percepatan Spektral Rencana: Parameter percepatan spektrum rencana dihitung pada periode pendek SDS dan periode 1 detik SD1 dengan menggunakan persamaan berikut:
 - $S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,907 = 0,604 g$
 - $S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,910 = 0,607 g$
 - Menentukan Spektral Respon Desain: Persamaan berikut digunakan untuk mendesain grafik respon spektrum;
 - $T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,607}{0,604} = 0,201 \text{ detik}$

$$\begin{aligned} - T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= \frac{0,607}{0,604} = 1,01 \text{ detik} \end{aligned}$$

- Untuk $T < T_0$ maka :

$$\begin{aligned} - S_a &= S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \\ &= 0,604 \left(0,4 + 0,6 \frac{0,000}{0,201} \right) \\ &= 0,241 \end{aligned}$$

Untuk $T \leq T_0 \leq T_s$ maka ;

$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} \\ &= 0,504 \end{aligned}$$

Dan untuk $T > T_s$ maka :

$$\begin{aligned} S_a &= \frac{S_{D1}}{T_s} \\ &= \frac{0,217}{0,430} \\ &= 0,604 \end{aligned}$$

- Menentukan Kategori Desain Seismik Berdasarkan Hasil Perhitungan di atas, data kategori desain seismik akan diperoleh;
 - Periode pendek (S_{DS}) = 0,604 g
0,604 g > 0,5 maka peroleh kategori D
 - Periode 1 detik (S_{D1}) = 0,607 g
0,607 g > 0,2 Maka diperoleh kategori D
- Tugas akhir ini menganalisis kombinasi penahan gaya seismik struktur dengan sistem rangka pemikul momen khusus. Nilai faktor modifikasi respon adalah $R=8$ dan $C_d = 5,5$, sehingga faktor skala dapat dihitung dengan :
 - Faktor skala = nilai gravitasi $\times \frac{1}{R}$
 $= 9,81 \times \frac{1}{8} = 1,226$
 - kemudian hasil ini di *input* untuk SAP2000

2. Pemodelan Struktur

Pada tahap ini, dimulai pemodelan struktur yang akan dianalisis menggunakan perangkat lunak SAP2000 dengan menetapkan dimensi elemen struktur serta parameter material yang digunakan. Perhitungan beban dilakukan berdasarkan peraturan yang berlaku untuk beban hidup, beban mati, dan beban gempa. Selanjutnya, data beban dimasukkan ke dalam SAP2000. Untuk memperoleh hasil analisis, dilakukan pengecekan ulang terhadap koefisien dan komponen desain struktur beton bertulang. Setelah itu, program dijalankan, dan gaya struktur dianalisis.

3. Kontrol Desain Struktur

Gaya dan perilaku struktur yang muncul harus mengendalikan struktur bangunan yang dievaluasi. Hal ini mencakup simpangan, defleksi, skala gaya respons, dan kontrol partisipasi massa. Jika terdapat ketidaksesuaian dengan peraturan yang berlaku, desain harus ditinjau kembali dengan menambahkan atau mengubah posisi dinding geser serta memperbesar dimensi penampang.

4. Analisis tulangan kolom

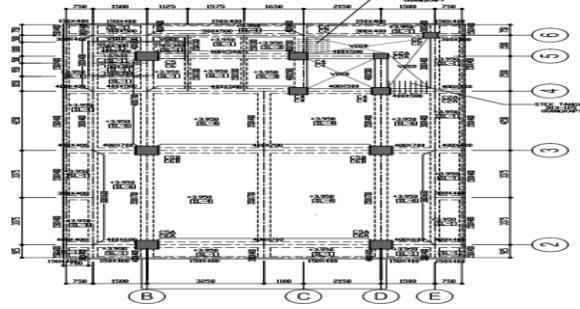
Setelah struktur dievaluasi dan memenuhi persyaratan serta kontrol, nilai gaya yang memengaruhi kolom dihitung. Tahap selanjutnya adalah melakukan analisis tulangan kolom.

5. Analisa simpangan lantai

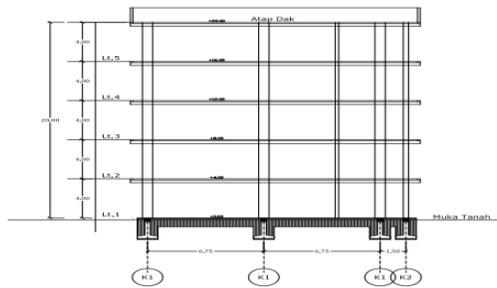
Setelah luas tulangan longitudinal diketahui, analisis simpangan tiap lantai dilakukan untuk memastikan keamanan gedung yang direncanakan.

B. Model yang dianalisis

Gambar 6. Denah Bangunan



Gambar 7. Tampak bangunan



C. Data dan Mutu Material

Analisis struktur kolom gedung beton bertulang mengacu pada SNI 2847:2013, khususnya untuk gedung bertingkat dengan informasi sebagai berikut:

1. Jenis Bangunan : Perkantoran
2. Lokasi Bangunan : Bumi Serpong Damai, Serpong, Tangerang
3. Jumlah Lantai : 5+ Dak Beton
4. Panjang Bangunan : 12 meter
5. Lebar Bangunan : 9 meter
6. Tinggi Bangunan : 20 meter
7. Tinggi lantai dasar : 4 meter
8. Tinggi Lantai 1 – 5 : 4 meter
9. Jenis Tanah : Tanah Lunak (SE)

Komponen struktur gedung beton bertulang meliputi pelat, balok, kolom dan pondasi.

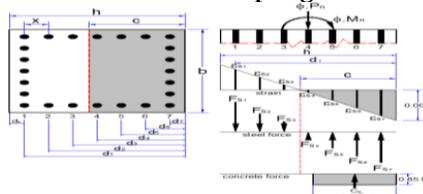
- Mutu Beton Kolom : $f_c = 30 \text{ Mpa}$
- Mutu Baja Tulangan Longitudinal : U-39 ; $f_y = 3900 \text{ kg/cm}^2 = 390 \text{ Mpa}$
- Mutu Baja Tulangan Sengkang : U-24 ; $f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2 = 240 \text{ Mpa}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kolom

SNI 2847 : 2013 menjadi dasar analisis dalam penelitian ini. Rencana dimensi kolom 600mm x 600mm. Beban-beban yang bekerja pada kolom 2.B lt.1

Gambar 8. Penampang kolom



Dimensi kolom = 600 x 600

- Tebal bruto selimut beton = 50 mm
- Diameter Tulangan = 19 mm
- Jumlah batang tulangan = 24 mm
- Mutu Beton = 30 Mpa
- Mutu baja = 390 Mpa
- β = 0,85 untuk $F_c \leq 30$ Mpa
- β = 0,85 - 0,008 untuk $F_c \geq 30$ Mpa
- A_g = $b \times h = 600 \times 600 = 360.000$ mm
- P_u = 213.182 KN
- M_u = 5.576 KN/m

Penentuan P_{perlu} dari diagram interaksi kolom:

Diagram interaksi digunakan untuk menghitung jumlah tulangan lentur kolom yang diperlukan. Keterangan yang diperlukan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu h &= h - 2d_s - (2 \cdot \varnothing_{geser}) - \varnothing_{lentur} \\ &= 600 \text{ mm} - (2 \times 50 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 25 \text{ mm} \\ &= 455 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\mu = \mu h / h = 475 / 600 = 0,79$$

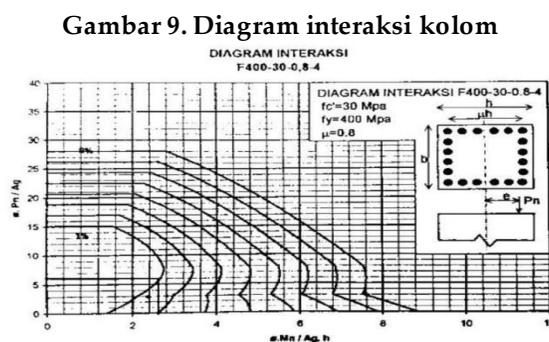
Sumbu Vertikal :

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \frac{P_u}{b \cdot h} \\ &= \frac{218182 \text{ N}}{600 \times 600} = 5,9 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Sumbu Horizontal :

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \frac{M_u}{b \cdot h^2} \\ &= \frac{5176 \text{ KN/m}}{600 \times 600^2} = 3,5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh nilai P_n dan M_n kemudian dimasukkan dalam grafik interaksi kolom berikut;



Maka diperoleh $P_{perlu} = 3\% = 0,03$ (lihat grafik, didalam garis batas 2% dan 3%)

Penentuan tulangan lentur kolom:

Luas tulangan lentur perlu,

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= P_{perlu} \times b \times h \\ &= 0,03 \times 600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \\ &= 10.800 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur :

Luas Tulangan rencana D25

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (25^2) \\ &= 490 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang :

$$\begin{aligned} n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{luas tulangan D25} \\ &= 10.800 \text{ mm}^2 / 490 \text{ mm}^2 \\ &= 22,4 \Rightarrow \text{dibulatkan menjadi 24 batang bentuk kolom persegi} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur pasang ;

$$\begin{aligned} A_{spasang} &= A_s \\ &= n \times (1/4 \cdot \pi \cdot D^2) \end{aligned}$$

$$= 11.760 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan 24 D25

Persentase Tulangan Terpasang

$$= (\text{Aspasang}/A_g) \times 100\%$$

$$= (11.760/360000) \times 100\%$$

$$= 3,2\% < 8\% \text{ (OK)}$$

Cek Kondisi Balance :

$$d = 600 - 50 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 25$$

$$= 527,5 \text{ mm}$$

$$d' = 50 + 12 + \frac{1}{2} \cdot 25$$

$$= 74,5 \text{ mm}$$

$$d'' = 600 - 50 - 12 - \frac{1}{2} \cdot 25 - \frac{1}{2} \cdot 600$$

$$= 225,5 \text{ mm}$$

maka,

$$x_b = \frac{600}{600 \times f_c} \times d = 320 \text{ mm}$$

$$a_b = 0,85 \cdot x_b$$

$$= 272 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s' (F_y - 0,85 \cdot F_c')$$

$$= 10800 \text{ mm}^2 (390 - 0,85 \times 30)$$

$$= 3936 \text{ KN}$$

$$T = A_s' \times F_y$$

$$= 10800 \times 390$$

$$= 4212 \text{ KN}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot F_c' \cdot b \cdot x_b$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 600 \text{ mm} \times 320 \text{ mm}$$

$$= 4.161 \text{ KN}$$

$$P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 4.161 + 3936 - 4212$$

$$= 3.976 \text{ KN/m}$$

$$M_b = P_b \cdot e_b$$

$$= C_c' [(d-d'') - a_b/2] + C_s' (d-d''-d') + T \cdot d$$

$$= 3.801.356 \text{ KN}$$

$$E_b = M_b/P_b$$

$$= 3801356 \text{ KN}/3.836 \text{ KN/m}$$

$$= 965 \text{ mm}$$

$$M_n = 5.576 \text{ KN/m} / 0,65 = 8.578 \text{ KN}$$

$$P_n = 213.182 \text{ KN} / 0,65 = 327.972 \text{ KN}$$

$$e_{perlu} = M_u/P_u = 2,61 \text{ KN/m}$$

$$= 261 \text{ mm}$$

$$e_{min} = (15,24 - 0,03 \cdot h) = (15,24 - 0,03 \times 600)$$

$$= 33,24 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi ;

$$e_{min} < e_{perlu} < e_{balance}$$

$$33,24 \text{ mm} < 261 \text{ mm} < 965 \text{ mm}$$

Kolom termasuk keadaan kondisi tekan menentukan.

Kontrol Kondisi Tekan Menentukan

$$e_{min} < e_{perlu} < e_{balance}$$

$$33,24 \text{ mm} < 261 \text{ mm} < 965 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s' (F_y - 0,85 \cdot F_c)$$

$$= 10800 (390 \text{ Mpa} - 0,85 \times 30 \text{ Mpa})$$

$$= 3936 \text{ KN}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot F_c' \cdot b \cdot X$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 600 \cdot X$$

$$= 13001 \cdot X$$

Mencari nilai X ;

$$a = 0,54 d$$

$$0,85 X = 0,54 \times 527,5$$

$$X = 335 \text{ mm}$$

Maka ,

$$C_c' = 1300 \times 335 = 4335 \text{ KN}$$

$$T = A_s' \cdot F_s = A_s' (d/x - 1) \times 600 = 3713$$

$$\epsilon_s < \epsilon_y (f_y > f_s)$$

$$\epsilon_s = (d/x - 1) \cdot 0,003 = 0,0016$$

$$F_s = \epsilon_s \cdot E_s (\text{modulus elastisitas baja}) = 1,57 \times 20000 = 314 \text{ Mpa}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 390 / 200000 = 0,002$$

$$\epsilon_s < \epsilon_s = 0,0016 < 0,0020 \dots \dots (\text{Memenuhi})$$

$$P = C_c' + C_s' - T = 4558$$

$$P > P_b = 4558 \text{ KN} > 3.976 \text{ KN} \dots \dots (\text{Memenuhi})$$

$$a = 0,85 \cdot X = 284 \text{ mm}$$

$$M_{\text{terpasang}} = C_c' [(d-d'') - ab/2] + C_s' (d-d''-d') + T \cdot d = 4.226.164 \text{ KN}$$

Cek syarat ;

$$M_{\text{terpasang}} > M_n$$

$$4.226.164 \text{ KN} > 3.801.356 \text{ KN} (\text{Memenuhi})$$

Dari hasil Perhitungan tulangan lentur sumbu x dan sumbu y, maka pemasangan tulangan longitudinal kolom dipasang 24 D25.

Kontrol spasi tulangan satu sisi

syarat ;

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{Sejajar}} \longrightarrow \text{susun 1 lapis}$$

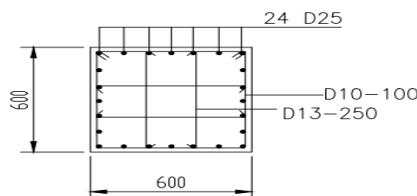
$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{Sejajar}} \longrightarrow \text{Perbesar penampang Kolom}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{selimut}}) - (2 \cdot \emptyset_{\text{geser}}) - (n \cdot \emptyset_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{\text{max}} = 50,88 \text{ mm} > 50 \text{ mm} (\text{Memenuhi})$$

Jadi perhitungan seperti dicontohkan diatas, maka kebutuhan tulangan longitudinal dan tulangan geser.

Gambar 10. Detail penulangan kolom



Menentukan faktor panjang efektif kolom, Ditentukan dengan cara sebagai berikut :

- Nilai modulus elastisitas Beton, E_c

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{30} = 25.742,46 \text{ N/mm}^2 = 25,74546 \text{ KN/m}^2$$

- Momen inersia kolom 2.B lt 1

$$I_g = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,6 \times 0,6^3}{12} = 0,0108 \text{ m}^4$$

$$\text{Maka inersia kolom , } I = 0,7 I_g = 0,0076 \text{ m}^4$$

$$\frac{EI}{lb} = \frac{25,74546 \times 0,0076}{12} = 0,016 \text{ KNm.}$$

- Menentukan momen inersia balok Lt 1

$$I_g = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,4 \times 0,6^3}{12}$$

$$= 0,0072 \text{ m}^4$$

Maka inersia balok, $I = 0,35 I_g$
 $= 0,0025 \text{ KNm}$.

$$\frac{EI}{I_b} = \frac{25,74546 \times 0,0011}{12} = 0,0054 \text{ KNm}.$$

Selanjutnya Faktor tahanan ujung, Ψ dapat dihitung dengan ;

$$\Psi_A = \frac{\Sigma(EIk/I_k)}{\Sigma(EIb/I_b)}$$

$$= \frac{0,016}{0,0054} = 3,2$$

$$\Psi_B = 0 \text{ (Untuk tumpuan jepit)}$$

B. Tulangan Geser Kolom

Luas tulangan sengkang tidak boleh kurang dari persamaan berikut;

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_c} \right) - 1 \right]$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}}$$

Tulangan sengkang harus disediakan sepanjang I_0 yang diukur dari muka joint:

- 1/6 bentang bersih kolom
 $1/6 \times 3600 = 600 \text{ mm}$
- penampang maksimum kolom $I_0 = 600 \text{ mm}$
- $I_0 > 450 \text{ mm}$

Jadi tulangan sengkang dipasang sepanjang $I_0 = 1 \text{ meter}$ di ukur dari muka joint.

Jarak pusat ke pusat tulangan transversal,

$$b_c = b - 2d' = 600 - (2 \times 74,5)$$

$$= 451 \text{ mm}$$

Spasi horizontal maksimum untuk kaki sengkang,

$$b_x = 2/3 b_c$$

$$= 2/3 \times 451$$

$$= 300 \text{ mm}$$

Luas penampang dari sisi luar ke sisi luar tulangan transversal

$$A_{ch} = (b - 2 \times 50)(h - 2 \times 50)$$

$$= (600 - 2 \times 50)(600 - 2 \times 50)$$

$$= 250000 \text{ mm}^2$$

Luas bruto penampang kolom

$$A_g = 600 \times 600 = 360.000 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser s direncanakan 100mm untuk tumpuan kolom sepanjang I_0 , maka ;

$$A_{sh} = 0,3 \left(\frac{100 \times 451 \times 30}{390} \right) \left(\frac{360000}{250000} - 1 \right)$$

$$= 417,2 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,9 \left(\frac{100 \times 451 \times 30}{390} \right)$$

$$= 312 \text{ mm}^2$$

Maka luas tulangan geser yang diambil adalah luas tulangan yang terbesar ,

$$A_{sh} = 417,2 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan geser dengan sengkang diameter 10mm dan *crosstie* diameter 13mm.

Digunakan sengkang dua baris 2D10, maka :

$$A_s = 2 (1/4 \times 3,14 \times 10^2)$$

$$= 156 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan *crosstie* ;

$$A_{ct} = A_{sh} - A_s$$

$$= 417,2 - 156 = 261,2 \text{ mm}^2$$

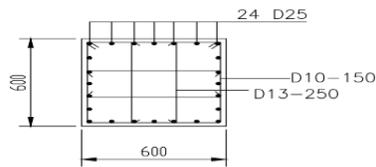
Sehingga jumlah tulangan *crosstie*

$$= 261,2 / (0,25 \times 3,14 \times 13^2)$$

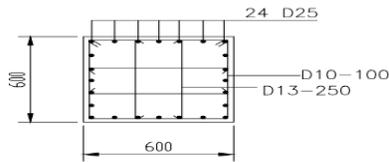
$$= 1,969 \Rightarrow 2 \text{ batang}$$

Untuk tulangan geser diluar panjang l_0 diambil jarak $s = 150 \text{ mm} < 24 \times 25 = 600 \text{ mm}$.

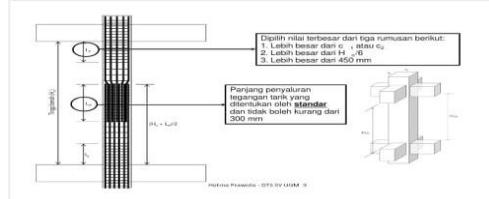
Gambar 11. Penulangan Kolom Lapangan



Gambar 12. Penulangan Kolom Tumpuan



Gambar 13. Penulangan Sambungan Kolom



C. Penentuan Simpangan Antar lantai

Simpangan antar lantai terjadi ketika penampang retak tidak melebihi batas. Untuk menghitung simpangan ini, defleksi pusat massa di tingkat teratas dan terbawah dihitung. Untuk mengetahui defleksi pusat massa di tingkat x , persamaan berikut harus digunakan;

$$\delta_x = \frac{c_d \cdot \delta_{xe}}{I_e}$$

$$= \frac{5,5 \times \delta_{xe}}{1}$$

$$= 5,5 \delta_{xe}$$

dimana hasil δ_{xe} diperoleh dari hasil running data pada SAP2000.

D. Batasan Simpangan Antar Lantai

Dengan kategori resiko kelas II, seperti yang ditunjukkan dalam tabel 2.16, perhitungan batasan simpangan antar lantai diberikan di bawah ini. Untuk semua struktur lainnya, batasan senilai $\Delta a = 0,025 h_{sx}$, di mana h_{sx} adalah tinggi lantai di bawah lantai yang ditinjau.

Dan faktor redudansi $q = 1,3$.

Sehingga

$$\Delta a / q = 0,025 h_{sx} / 1,3$$

$$= 0,0192 h_{sx}$$

Hasil simpangan dalam bentuk tabel berikut:

Tabel 1. Simpangan Antar Lantai Arah x

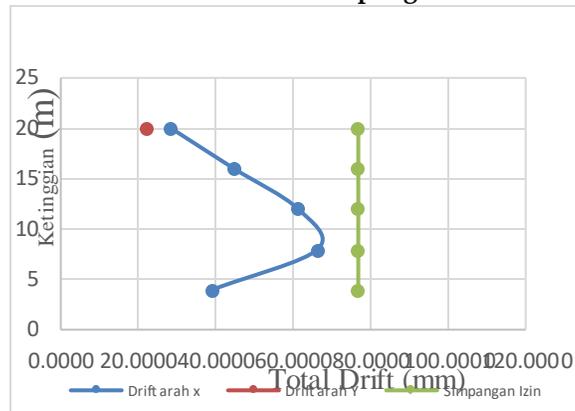
Lantai	h_{sx} mm	δ_{xe} mm	Drift(Δx) mm	$\Delta a / \rho > \Delta x$ mm	Status
atap	4000	43,66234	28,47839	76,8	OK
5	4000	38,48445	44,67595	76,8	OK
4	4000	30,36155	61,22374	76,8	OK
3	4000	19,22996	66,36850	76,8	OK
2	4000	7,16296	39,39628	76,8	OK
1	0	0,00000	0,0000	0	OK

Tabel 2. Simpangan Antar Lantai Arah y

Lantai	h_{sx}	δ_{ye}	Drift(Δy)	$\Delta a / \rho(l_{jin})$	Status
	mm	mm	mm	mm	$\Delta a / \rho > \Delta y$
Atap	4000	37,04943	22,01826	76,8	OK
5	4000	33,04611	36,68934	76,8	OK
4	4000	26,37532	51,83832	76,8	OK
3	4000	16,95017	57,65825	76,8	OK
2	4000	6,466802	35,56741	76,8	OK
1	0	0,0000	0,0000	0	OK

Tabel di atas menunjukkan bahwa arah x dan y dari lantai tidak melebihi batas simpangan izin.

Gambar 14. Grafik simpangan lantai



SIMPULAN

Simpulan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Luas tulangan longitudinal yang lebih ekonomis, aman, dan tahan gempa diperoleh dari lantai 1 hingga lantai 5 menggunakan kolom berukuran 600mm x 600mm dengan penulangan 24 D25. Ini berbeda dari dimensi kolom sebelumnya, yaitu 650mm x 650mm dengan penulangan 32 D25.
2. Pada arah x, simpangan (displacement) terbesar adalah 66,36 mm, sedangkan pada arah y, simpangan terkecil adalah 22,01 mm, dengan simpangan izin sebesar 76,8 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 1987 RSNi 03-1727-1987. *Tata Cara Perhitungan Pembebanan untuk Bangunan Rumah dan Gedung*, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2012, SNI 1726 : 2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013, SNI 2847 : 2013 *tentang Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Jakarta.
- Kementrian Pekerjaan Umum, 2011, *Desain Spektra Indonesia*. http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum , 2006, Nomor : 29/PRT/M/2006, *Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung*, Menteri Pekerjaan Umum, Jakarta