

DESAIN STRUKTUR BANGUNAN TAHAN GEMPA DENGAN BENTUK TIDAK BERATURAN HORIZONTAL (Studi Kasus Bangunan Di Morotai)

Ardianto

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Khairun
Jalan Jusuf Abdulrahman Kampus II Gambesi Kota Ternate Selatan, Indonesia
ardy22kantofy@gmail.com

Abstrak

Desain Struktur bangunan tahan gempa dimulai dengan perhitungan dimensi elemen struktur (Balok, Pelat dan Kolom), pembebanan, analisa struktur, desain penulangan balok, pelat dan kolom, pengecekan kekuatan elemen balok, pelat dan kolom. Berdasarkan hasil desain dimensi penampang diperoleh dimensi balok 25 cm x 40 cm, dimensi kolom 40 cm x 40 cm dan dimensi pelat 11 cm dan hasil desain penulangan penampang yaitu balok diperoleh tulangan lentur untuk daerah tumpuan 4D16 (atas) dan 2D16 (bawah) sedangkan untuk daerah lapangan 2D16 (atas) dan 4D19 (bawah) dan tulangan geser untuk daerah tumpuan 2Ø10-100 sedangkan untuk daerah lapangan 2Ø10-140, kolom diperoleh tulangan utama 12D19 dipasang di semua sisi kolom dan tulangan geser untuk daerah lapangan 2Ø10-100 sedangkan untuk daerah lapangan 2Ø10-150, dan pelat tulangan yang digunakan adalah tulangan polos dengan diameter tulangan 12 mm. Jarak tulangan pelat adalah 200 mm. Dimana momen terfaktor (M_u) tidak lebih besar dari momen kekuatan penampang.

Kata kunci—*balok, pelat, kolom, penulangan*

PENDAHULUAN

Perkembangan penduduk saat ini sangat pesat, sehingga kebutuhan akan infrastruktur gedung semakin meningkat, sementara ketersediaan lahan tetap. Oleh karena itu pembangunan gedung bertingkat menjadi pilihan, baik diperuntukkan sebagai bangunan pemerintah seperti perkantoran dan rumah sakit, maupun sebagai investasi swasta seperti pusat perbelanjaan, mall, apartemen dan lain lain. Dengan ketersediaan lahan yang terbatas maka dalam perencanaan bangunan tinggi bentuk ketidakberaturan baik vertikal maupun horisontal tidak dapat dihindari. Dengan bentuk yang tidak beraturan ini tentunya akan berimplikasi terhadap beban gempa. Pengaruh gaya gempa akan berbeda jika diaplikasikan terhadap bangunan beraturan dan tidak beraturan. Kinerja struktur yang dihasilkan untuk gedung tidak beraturan akan berbeda dengan gedung beraturan untuk intensitas beban yang sama, misalnya jika dibandingkan terhadap simpangan (*displacement*) simpangan antar lantai (*drift*), dan penulangannya. Pada peraturan perencanaan ketahanan gempa berdasarkan SNI 1726-2012 diatur mengenai ketidakberaturan struktur, yaitu ketidakberaturan vertikal dan horizontal. Ketidakberaturan vertikal ditetapkan berdasarkan arah sumbu xz atau yz sedangkan ketidakberaturan horizontal ditetapkan berdasarkan kepada ketidakberaturan arah sumbu xy.

Syarat ketidakberaturan horizontal dari suatu struktur bangunan adalah didefinisikan seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Ketidakberaturan horizontal sistem struktur

No	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan
1a	Ketidakteraturan torsi. Didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, di sebelah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur
1b	Ketidakteraturan torsi berlebih. Didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur
2	Ketidakteraturan sudut dalam. Didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan
3	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma. Didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya
4	Ketidakteraturan pergeseran melintang terhadap bidang. Didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal
5	Ketidakteraturan sistem nonpararel. Didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak pararel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya seismik

Sumber: (SNI 1726, 2012)

Fenomena diatas juga dialami di Ternate, akibat keterbatasan lahan maka pemilihan struktur gedung berlantai menjadi pilihan. Dalam peta kegempaan wilayah ini termasuk daerah gempa, pada rentang waktu 2014 – 2020 terjadi gempa dengan skala >5,0 MM (Usmat I, Imran, & Sultan, 2019)(Mangoda, Sultan, & Imran, 2019). Berdasarkan uraian tersebut, maka tulisan ini membahas desain gedung tidak beraturan horizontal yang ada di wilayah Ternate dengan mengacu ke SNI 1726-2012.

Analisis Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen

Geser Dasar Seismik

$$V = C_s W \quad (1)$$

Di mana

- C_s = koefisienresponsseismik.
- W = adalah beratseismikefektif.

BeratSeismik Efektif

Berat seismik efektif struktur (W) harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yangterdaftardibawah ini:

1. Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25% beban hidup lantai (beban hidup lantai digarasi publik dan struktur parkir terbuka, serta beban penyimpanan yang tidak melebihi 5% dari berat seismik efektif pada suatu lantai, tidak perlu disertakan).
2. Jika ketentuan untuk partisi disyaratkan dalam desain beban lantai diambil sebagai yang terbesar di antara besar partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar 0,48 kN/m².
3. Berat operasi total dari peralatan yang permanen.
4. Berat lansekap dan beban lainnya pada taman atap dan luasan sejenis lainnya

Perhitungan Koefisien Respons Seismik

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \tag{2}$$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{3}$$

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \tag{4}$$

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{R/I_e} \tag{6}$$

Dengan:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek 0,2 detik

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan

T = periode fundamental struktur (detik)

S_1 = Parameter percepatan spektrum respons maksimum

Periode Fundamental

$$T_a = C_t h_n^x \tag{7}$$

dengan h_n ketinggian struktur (dalam meter) di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, sedangkan koefisien C_t dan x ditentukan dari tabel 2.

Tabel 2. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t Dan x (SNI 1726, 2012)

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,80
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,90
Rangka baja dengan bracing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bracing	0,0731	0,75

terkekang terhadap tekuk		
Semua struktur lainnya	0,0488	0,75

Distribusi Gaya Gempa

$$F_x = C_{vx} V \tag{8}$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \tag{9}$$

dengan:

- C_{vx} = faktor distribusi vertikal
- V = gaya geser dasar seismik
- W_x, W_i = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang dikenakan pada tingkat i
- h_x, h_y = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x
- k = eksponen yang terkait dengan periode struktur, ditentukan sebagai berikut:
 $k=1$, untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik
 $k=2$, untuk struktur dengan $T \geq 0,5$ detik
 $k=1$, atau dilakukan interpolasi linier antara 1 dan 2, untuk $0,5 < T < 2,5$

Analisis pembebanan gempa spektrum respons

Parameter Respons Ragam

Nilai untuk masing-masing parameter desain terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antarantai tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing-masing ragam respons harus dihitung menggunakan properti masing-masing ragam dan spektrum respons didefinisikan dalam SNI 1726-2012 dibagi dengan kuantitas (R/I). Nilai untuk perpindahan kuantitas simpangan antarantai harus dikalikan dengan kuantitas (Cd/I).

Parameter Respons Terkombinasi

Nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, harus dikombinasikan menggunakan metoda akar kuadrat jumlah kuadrat (SRSS) atau metoda kombinasi kuadrat lengkap (CQC), sesuai dengan SNI 1726.

- a. CQC (*Complete Quadratic Combination*)
 Jika struktur gedung memiliki waktu getar alami yang berdekatan atau selisih nilainya kurang dari 15%,
- b. SRSS (*Square Rot Of The Sum Of Squares*)
 Jika struktur gedung memiliki waktu getar alami yang berjauhan.

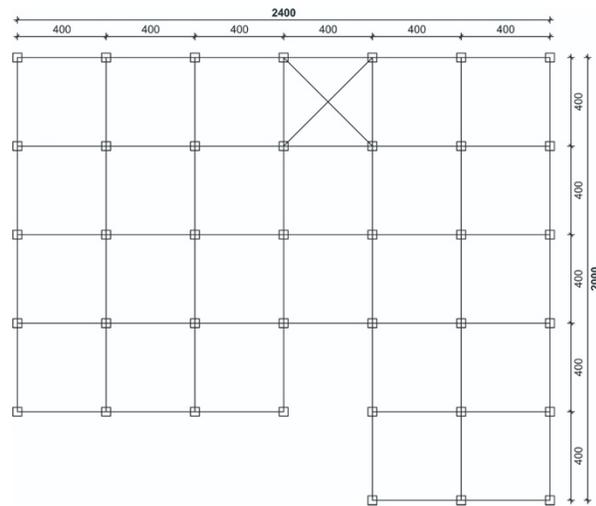
Skala gaya

Bila periode fundamental yang dihitung melebihi $C_u T_a$, maka $C_u T_a$ harus digunakan sebagai pengganti dari T dalam arah itu. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85% dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan $0,85V/V_t$.

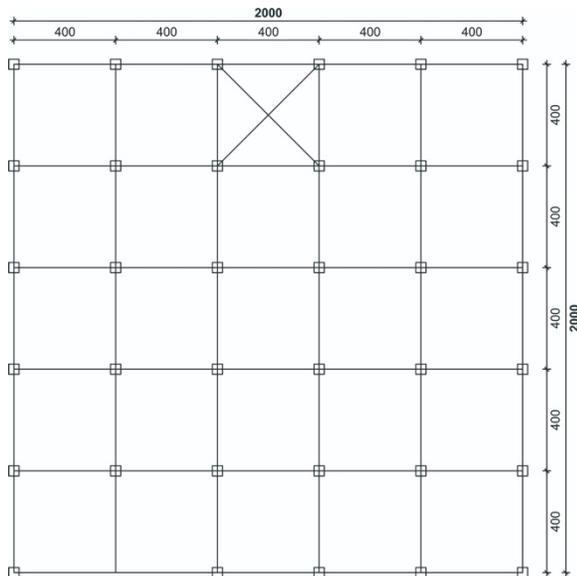
METODE PENELITIAN

Data Gedung

- Struktur berlokasi di Kabupaten Pulau Morotai
- Dengan asumsi jenis tanah adalah tanah sedang
- Struktur yang digunakan adalah struktur beton bertulang
- Jenis bangunan hotel
- Sistem struktur digunakan struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK)



Gambar 1.Denah gedung tidak beraturan



Gambar 2.Denah gedung beraturan**Data Bahan**

- Mutu beton 30 MPa
- Mutu baja tulangan utama 420 MPa
- Mutu baja tulangan Sengkang 240 MPa

Pembebanan

- . Beban yang biasa diperhitungkan ada dua jenis beban yaitu beban statik dan dinamik.
- Beban statik
Beban statik adalah beban yang arah kerjanya tetap dan besarnya tetap, misalnya beban mati atau berat sendiri struktur.
 - Beban dinamik
Beban dinamik adalah beban yang arah kerjanya tidak tetap dan besarnya pula tidak tetap, misalnya beban gempa.

HASIL DAN PEMBAHASAN**Dimensi Balok**

Hasil dimensi balok dan kolom ditunjukkan pada tabel 3 dan tabel 4. Tebal pelat untuk pelat atap dan lantai digunakan 11 cm.

Tabel 3 Dimensi balok hasil desain

Balok	hmin (cm)	hrencana (m)	bmin (cm)	brencana (m)
B1	22	40	24	25
B2	19	40	24	25
B3	22	40	24	25
B4	19	40	24	25

Sumber: hasil desain

Tabel 4 Dimensi kolom hasil desain

Kolom	H min (cm)	hrencana (m)
Lantai 1	40	40
Lantai 2	40	40
Lantai 3	40	40
Lantai 4	40	40
Lantai 5	40	40

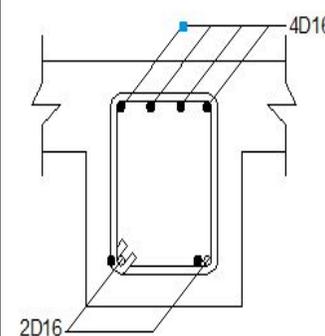
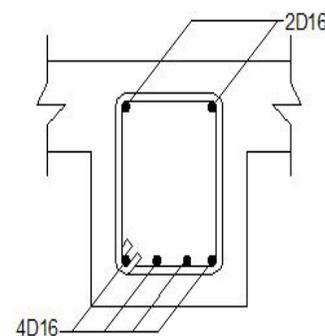
Sumber: hasil desain

Penulangan Balok

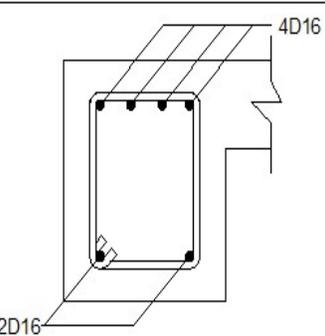
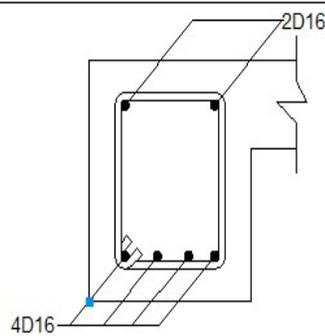
Hasil desain penulangan balok lentur seperti ditunjukkan pada gambar 5 dan 6, di mana dimensi 25 x 40 cm dengan:

- Tulangan lentur pada tumpuan atas – 4D16 dan bawah – 2D16
- Tulangan lapangan atas – 2D16, bawah – 4D16

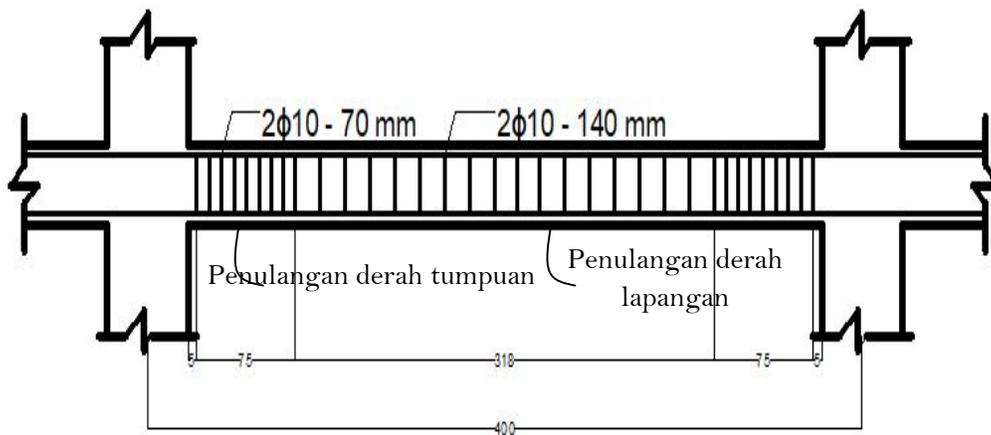
- c. Tulangan gesertumpuan $2\text{Ø}10 - 70 \text{ mm}$ dan tulangan lapangan: $2 \text{Ø}10 - 140 \text{ mm}$

BALOK LANTAI 1-5	PENULANGAN DAERAH	
	TUMPUAN	LAPANGAN
BALOK INTERIOR		
UKURAN BALOK	25 CM x 40 CM	
TULANGAN ATAS	4D16	2D16
TULANGAN BAWAH	2D16	4D16
SENGKANG	2P10 - 70 mm	2P10 - 140 mm

Gambar 3.Penulangan balok interior

BALOK LANTAI 1 - 5	PENULANGAN DAERAH	
	TUMPUAN	LAPANGAN
BALOK EKSTERIOR		
UKURAN BALOK	25 CM x 40 CM	
TULANGAN ATAS	4D16	2D16
TULANGAN BAWAH	2D16	4D16
SENGKANG	2P10 - 70 mm	2P10 - 140 mm

Gambar 4.Penulangan balok eksterior



Gambar 5.Penulangan geser balok

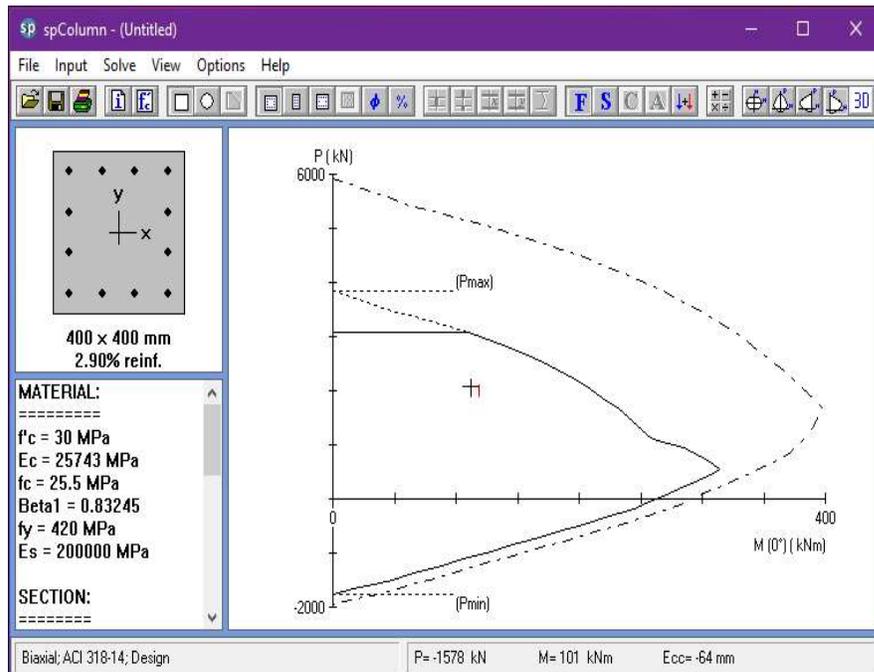
Pada gambar 5 menunjukkan sketsa penulangan geser balok, untuk penulangan daerah tumpuan diberikan spasi sejauh 5 cm dari muka kolom, pemasangan tulangan geser tumpuan dipasang sepanjang dua kali tinggi balok, $2 \times 40 \text{ cm} = 80 \text{ cm}$ diukur dari muka kolom sedangkan pemasangan tulangan geser lapangan dipasang sepanjang bentang bersih balok diukur dari muka kolom dikurangi dengan 2 kali jarak bentang geser tumpuan, $320 \text{ cm} - 2 \times 80 \text{ cm} = 318 \text{ cm}$.

Penulangan Kolom

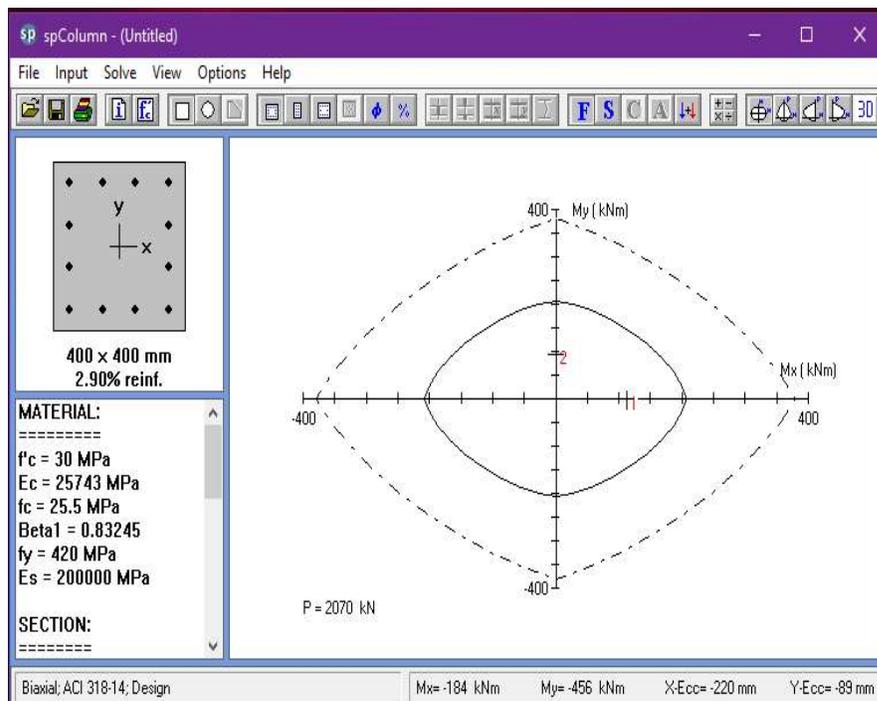
Perhitungan penulangan kolom dilakukan dengan menggunakan diagram interaksi, yaitu diagram yang menghubungkan pasangan gaya aksial (P) dengan momen lentur (M) yang dapat dipikul oleh suatu penampang kolom beton bertulang. Pembuatan diagram interaksi kolom dengan software PCA Column. Digunakan rasio tulangan sebesar 2% dengan jumlah tulangan 12 tulangan dipasang ke semua sisi kolom dan tulangan yang digunakan tulangan ulir diameter 19. Diagram interaksi kolom dengan $P_u = 2069,88 \text{ Kn}$ dan $M_x = 112,394$ dan $M_y = 95,287$ dapat dilihat pada gambar 6 dan gambar 7.

Kolom dengan ukuran, kolom 40/40 cm untuk semua lantai diperoleh:

- Tulangan utama kolom lantai 1-5: 12D19
- Tulangan geser kolom yaitu $2\phi 10 - 70 \text{ mm}$ (di daerah bentang L_0)
- Tulangan geser kolom yaitu $2\phi 10 - 150 \text{ mm}$ (diluar bentang L_0)

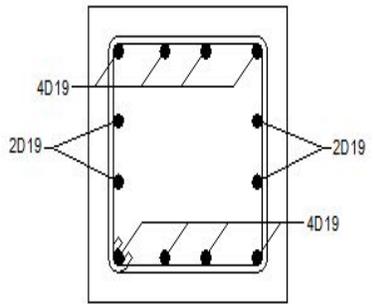


Gambar 6. Output hasil diagram interaksi PCA kolom

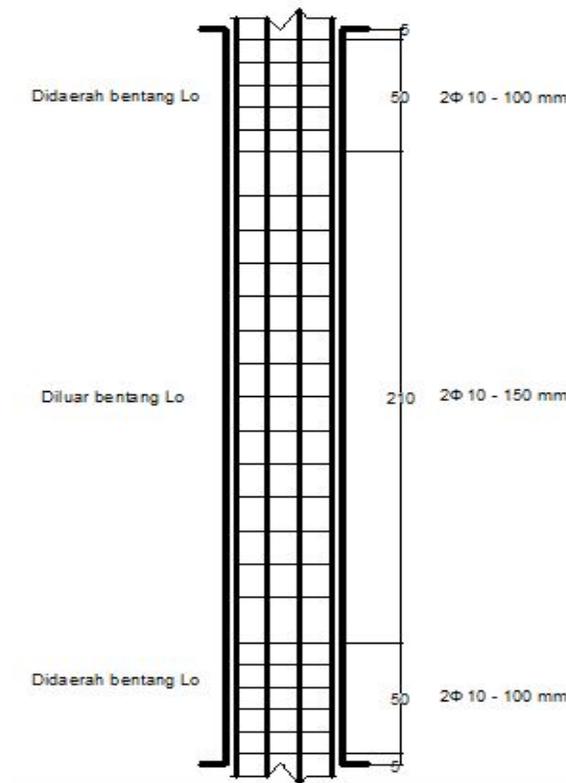


Gambar 7. Output hasil diagram interaksi 3D PCA kolom

Dari gambar 6 dan gambar 7 dapat disimpulkan bahwa kolom masih mampu menerima beban yang bekerja, karena nilai (Pu,Mu) masih berada dalam diagram interaksi. Gambar detail penulangan kolom dapat dilihat pada gambar 8.

KOLOM	DETAIL PENULANGAN KOLOMLANTAI 1 - 5
KOLOM LANTAI 2	
UKURAN KOLOM	40 CM x 40 CM
TULANGAN	12D19
SENGKANG	2P 10 - 100 mm

Gambar 8. Detail penulangan kolom



Gambar 9. Sketsa penulangan kolom

Pada gambar 9 menunjukkan sketsa penulangan geser kolom, untuk penulangan daerah tumpuan diberikan spasi sejauh 5 cm dari pertemuan balok dan kolom, pemasangan tulangan geser pada daerah lo diambil jarak sebesar 50 cm, sedangkan pemasangan tulangan geser diluar bentang lo dipasang sepanjang bentang bersih kolom dikurangi dengan dua kali jarak pemasangan tulangan geser diderah lo = $320 - (2 \times 50) = 210$ cm.

Penulangan Pelat

Untuk penulangan pelat diperoleh penulangan yaitu $\Phi 12$ dengan jarak antar tulangan 200 mm baik untuk arah x maupun untuk arah y.

Perbandingan *Base Shear* Struktur Tidak Beraturan dan Struktur Beraturan

Tabel 5 Output nilai base shear

Gempa	Nilai base shear	
	Struktur tidak beraturan	Struktur beraturan
Statik ekuivalen arah X	3.480,55	3.038,32
Statik ekuivalen arah Y	3.478,51	3.038,32
Spektrum respon arah X	847,22	782,37
Spektrum respon arah Y	847,56	782,44

Sumber: hasil desain

Dari tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai *base shear* struktur tidak beraturan memberikan *base shear* yang lebih besar jika dibandingkan dengan nilai *base shear* struktur beraturan, presentase selisih antara kedua gedung adalah 4,42% untuk gaya geser hasil analisis statik ekuivalen dan 0,65 % untuk gaya geser hasil analisis Spektrum respons. Nilai *base shear* hasil dari yang dianalisis dengan analisis statik ekuivalen lebih besar dibandingkan analisis dinamik *spektrum respons* baik untuk struktur tidak beraturan maupun untuk struktur beraturan, maka analisis statik ekuivalen masih lebih akurat untuk digunakan. Syarat struktur terhadap gempa gedung tidak beraturan horizontal dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) serta dimensi masing-masing elemen struktur dan penulangan yang didesain telah memenuhi syarat sesuai dengan SNI 2847-2013 dan momen terfaktor (M_u) tidak lebih besar dari momen.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan desain struktur bangunan tahan gempa dengan bentuk tidak beraturan horizontal dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK), maka diperoleh kesimpulan bahwa dimensi masing-masing elemen struktur dan jumlah tulangan yang didesain telah memenuhi syarat sesuai dengan SNI 2847-2013 dengan menggunakan SRPMK.

DAFTAR PUSTAKA

- Hidayah, W.S., Mughni, H. (2018). Studi Analisis Simpangan Pada Konstruksi Dengan Titik Pusat Massa Berada Di Luar Bangunan Akibat Respons Spektrum Berdasarkan SNI 03-1726-2012, *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 2-12.
- Mangoda, Z. N., Sultan, A. M., & Imran, I. (2019). Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang

- Dengan Metode Pushover. *SIPILsains*, 09(17), 27–38.
- Mira, N.W., Lamia, T., Pandaleke, R.E., Handono, B. D. (2020). Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Denah Bangunan Berbentuk “L”. *Jurnal Sipil Statik*, 8(1), 519-532.
- Naratama, N., Sutarja, I.N., Dana, I.W. (2014). Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Bertingkat Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (Studi Kasus : Gedung Laboratorium Bersama Universitas Udayana), *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 18(1), 9-18.
- Purba, H.L., (2014). Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Beraturan Dan Ketidak Beraturan Horizontal Sesuai SNI 03-1726-2012, *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(4), 710-717.
- Rahmayanti, N., Labiba, H.Y. (2021). Evaluasi Kinerja Gedung Apartemen 10 Lantai dengan Ketidakberaturan Horizontal, *Semesta Teknika*, 24(1), 23-33.
- Saiya M.V., Intan S., JohannesV. (2018). Perbandingan Respons Struktur Beraturan Dan Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam Akibat Gempa Dengan Menggunakan Analisis Statik Ekuivalen Dan Time History. *Jurnal Manumata*, 4(2), 64-72.
- Sultan, M.A., (2016). Evaluasi Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Analisa Pushover. *Sipilsains*, 6(11), 1-8.
- Simanjuntak, P. (2020). Evaluasi Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Di Indonesia. *e-Journal CENTECH*, 1(1), 44-53.
- SNI 1726. (2012). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. In *Badan Standardisasi Nasional*.
- Syarif, H.A., Djauhari, Z., Ridwan. R., (2020). Pengaruh P-Delta Pada Struktur Sistem *Flat Slab-Drop Panel* Pada Gedung Bertingkat Tidak Beraturan. *Prosiding Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan*, 1-7.
- Syarif, H.A., Djauhari, Z., Ridwan. R., (2021). Menganalisis Pengaruh Ketidakberaturan Horizontal Torsi Terhadap Beban Gempa Pada Struktur Gedung Sistem Flat Slab-Drop Panel, *Jurnal APTEK*, 13(1), 7-13.
- Usmat I, N. A., Imran, I., & Sultan, M. A. (2019). Analisa Letak Dinding Geser (Shear Wall) Terhadap Perilaku Struktur Gedung Akibat Beban Gempa. *Techno: Jurnal*