

EVALUASI PERANCANGAN STRUKTUR BALOK DAN KOLOM BETON BERTULANG BANGUNAN GEDUNG

EVALUATION OF THE DESIGN OF THE STRUCTURE OF THE BEAMS AND COLUMNS OF REINFORCED CONCRETE BUILDING

Jisib Taqwana, Agung Nusantoro

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Purworejo
Jalan KHA. Ahmad Dahlan No. 3

ABSTRAK

Faktor keamanan gedung merupakan hal pokok dalam perancangan struktur bangunan gedung. Dengan diberlakukannya SNI-2847:2013 mengenai struktur beton bangunan gedung untuk menggantikan SNI-2847:2002, maka standar keamanan perancangan juga diperbaharui Tujuan penelitian ini untuk mengetahui struktur beton bertulang pada gedung lama. Analisa struktur menggunakan ETABS. Metode yang digunakan adalah evaluasi analisis kekuatan balok dan kolom menggunakan SNI-2847:2013. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan hasil bahwa percepatan gempa $S_{DS} = 0,684$ dan $S_{DI} = 0,427$ sehingga struktur termasuk kategori D dan diperhitungkan sebagai SRPMK. Bentang bersih balok B4 tiap lantai tidak memenuhi syarat Jarak tulangan geser balok untuk daerah plastis sebesar 130 mm lebih besar dari 114 mm, sehingga belum memenuhi persyaratan. Panjang pemasangan tulangan geser daerah plastis untuk balok B3 dan B6 kurang dari persyaratan. Pada balok B4 setiap lantai, persyaratan 2h balok tidak dapat diterapkan karena bentang bersih balok kurang dari 4 kali tinggi bersih balok. Kolom K3 dengan $M_n 80,12$ kNm lebih kecil dari 6/5 Momen nominal balok yang merangka pada joint sebesar 366,88 kN,. Tulangan geser yang semula D10-180 pada daerah pengekangan menjadi 5D10-50, pada daerah di luar pengekangan semula D10-200 menjadi 5D10-130 mm. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sebagian besar jumlah tulang kurang memenuhi syarat.

Kata Kunci : Evaluasi, Balok, Kolom, Lentur, Geser.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah dengan intensitas gempa yang cukup tinggi. Dengan intensitas gempa yang cukup tinggi akan menimbulkan kerusakan pada bangunan, terutama bangunan gedung. Pemerintah melalui BSN telah mengeluarkan aturan terbaru mengenai perancangan bangunan gedung.

Dengan diberlakukannya SNI 2847:2013, maka keamanan dimensi balok dan kolom pada perencanaan gedung yang lama perlu ditinjau ulang dengan cara menghitung ulang kapasitas kemampuan struktur apabila dikenai gaya yang berasal dari beban-beban yang bekerja.

Ardita Nur Artadewi (2016) dalam penelitian yang berjudul Evaluasi Kekuatan Struktur Gedung Berdasarkan SNI 1726:2012 Dan SNI 2847:2013 ini meninjau 20 jenis balok, 5 jenis kolom, dan 1 joint balok-kolom, 1 jenis pelat, dan

dua buah tangga yang terdapat pada struktur tersebut. Data mengenai struktur didapat berdasarkan gambar shop drawing, kuat tarik baja berdasar steel hardness test bernilai 499,13 MPa, sedangkan kuat tekan beton didapatkan melalui pengujian UPV dengan kuat tekan 30,03 MPa. Analisis struktur dilakukan menggunakan program SAP2000, sedangkan kekuatan elemen struktur dihitung menggunakan program Microsoft Excel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa periode alami bangunan sebesar 0,637, kuat tekan beton hasil uji UPV sebesar 30,03MPa, dan tegangan leleh baja sebesar 499,13 MPa. Evaluasi kekuatan menunjukkan 17 dari 20 jenis balok dikatakan aman terhadap lentur daerah lapangan maupun tumpuan. Untuk kemampuan geser, terdapat 3 balok yang masih aman terhadap gaya geser daerah lapangan maupun tumpuan. Untuk torsi, terdapat 5 balok dikatakan tidak aman. Dari evaluasi kekuatan kolom, 5 jenis

kolom masih aman terhadap interaksi gaya aksial dan lentur. Semua jenis kolom tidak mampu menahan gaya geser saat terjadi sendi plastis pada daerah lapangan maupun tumpuan. Kriteria kolom kuat balok lemah ditinjau dari 5 titik jenis pertemuan tidak memenuhi kriteria dan terdapat 2 jenis kolom tidak aman berdasarkan analisis biaksial. Analisis joint menunjukkan bahwa tulangan yang terpasang masih kurang sehingga tidak aman terhadap gaya geser arah horizontal maupun vertikal. Pelat lantai pada lantai 2 dan 3 maupun tangga sisi utara dan selatan dikatakan aman terhadap geser maupun lentur yang terjadi.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur. Metode studi literatur merupakan metode pengumpulan data yang menggunakan data yang bersumber dari dokumen-dokumen tertulis sebagai bahan untuk dipelajari.

Dengan menggunakan gedung universitas swasta di Kabupaten Purworejo sebagai objek penelitian dan data perencanaan yang meliputi dimensi struktur dan mutu bahan diolah dengan menggunakan ketentuan pembebanan yang tercantum dalam SNI 1726:2012 dan 1727:2013. Alat bantu perhitungan analisa struktur menggunakan perangkat lunak ETABS dan untuk menghitung kapasitas kekuatan struktur berpedoman pada SNI 2847:2013.

A. Pembebanan

1. Beban Mati

Pasangan ½ bata : 250 kg/m²

Keramik : 24 kg/m²
Spesi : 21 kg/m²
Mekanikal dan elektrik : 20 kg/m²

2. Beban Hidup

Beban hidup pada atap sesuai dengan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 sebesar 100 kg/m². Untuk beban hidup lantai pada penggunaan gedung sebagai sekolah sebesar 250 kg/m².

3. Beban Gempa

Dengan menggunakan Peta Gempa 2017, wilayah Purworejo berada pada daerah.

$$S_s = 0,9$$

$$S_1 = 0,4$$

$$F_a = 1,14$$

$$F_v = 1,6$$

Tanah termasuk kategori tanah sedang dengan jenis struktur rangka momen khusus. Kategori resiko gedung IV dan Koefisien Modifikasi Respons, R sebesar 8.

Sehingga diperoleh nilai sebagai berikut.

$$S_{MS} = S_s \times F_a = 0,9 \times 1,14 = 1,026$$

$$S_{M1} = S_1 \times F_v = 0,4 \times 1,6 = 0,64$$

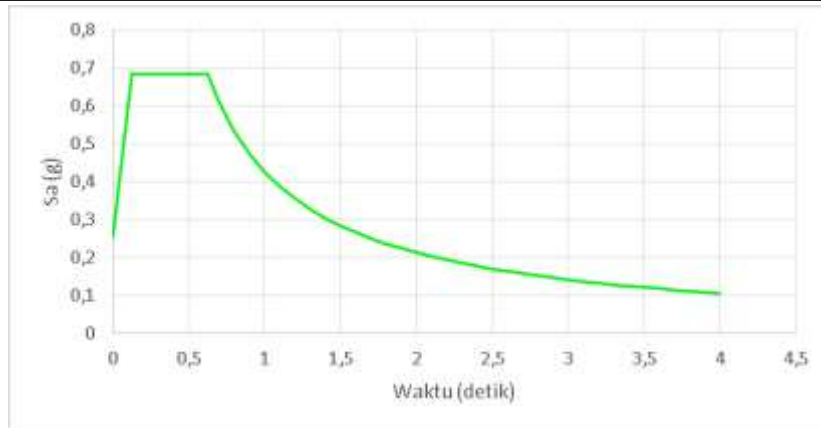
$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1,026 = 0,684$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,64 = 0,427$$

$$T_0 = 0,2 \times S_{D1} / S_{DS} = 0,2 \times 0,427 / 0,684 = 0,125$$

$$T_s = S_{D1} / S_{DS} = 0,427 / 0,684 = 0,624.$$

Kemudian diubah ke dalam Diagram Respons Spektrum.



Gambar 1 Grafik Respons Spektrum

B. Evaluasi Struktur

Data Struktur

Data perencanaan struktur gedung adalah sebagai berikut.

Mutu beton = 30 MPa

Mutu Baja = 350 MPa

Balok

Dimensi balok = 400x700

Diameter tulangan pokok = 19 mm

Diameter tulangan geser = 10 mm

Kolom

Dimensi kolom = 500x600

(K1 dan K2), 400x500 (K3)

Diameter tulangan pokok = 22 mm

Diameter tulangan geser = 10 mm

1. Balok

Syarat Tulangan Lentur

Suatu balok yang dirancang dengan jenis struktur SRPMK harus memenuhi syarat bangunan gedung tahan gempa yang meliputi syarat dimensi penampang, syarat tulangan lentur dan syarat tulangan geser.

Jumlah tulangan lentur terpasang pada setiap titik minimal terbesar di antara :

$$A_{s \min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w \times d \dots\dots (1)$$

$$A_{s \min} = \frac{1,4}{f_y} b_w \times d \dots\dots\dots (2)$$

Namun tidak boleh lebih kecil dari $0,025b_w d \dots\dots\dots (3)$

Keterangan :

f_y = kuat leleh baja tulangan, mutu baja (MPa)

b_w = lebar balok, mm

d = tinggi efektif balok, mm

Dipilih yang terbesar, sehingga luas tulangan minimal sebesar $1024,80 \text{ mm}^2$ dan lebih kecil dari $0,025 \cdot 400 \cdot 640,5 = 6405 \text{ mm}^2$

Pada gedung dipasang diameter tulangan longitudinal sebesar 19 mm, sehingga jumlah tulangan terpasang minimal sebanyak $1024,80 / 0,25 \cdot \pi \cdot 19^2 = 3,61 \approx 4$ batang.

Tabel 1 Tulangan Lentur Terpasang

| Daerah | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|----------|
| Lantai 1 | | Lantai 2 | | Lantai 3 | | Atap | |
| Tepi | Lapangan | Tepi | Lapangan | Tepi | Lapangan | Tepi | Lapangan |
| 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 |
| 2D19 | 4D19 | 4D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 |
| 5D19 | 2D19 | 8D19 | 2D19 | 9D19 | 2D19 | 6D19 | 2D19 |

| | | | | | | | |
|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 |
| - | - | - | - | 8D19 | 2D19 | 7D19 | 7D19 |
| - | - | - | - | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 |
| 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 7D19 | 7D19 |
| 2D19 | 4D19 | 4D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 |
| 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 |
| 2D19 | 2D19 | 4D19 | 4D19 | 2D19 | 2D19 | 2D19 | 2D19 |
| 6D19 | 2D19 | 5D19 | 2D19 | 5D19 | 2D19 | 5D19 | 2D19 |
| 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 |
| 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 |
| 2D19 | 4D19 | 4D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 |
| 9D19 | 2D19 | 11D19 | 2D19 | 4D19 | 3D19 | 9D19 | 2D19 |
| 2D19 | 4D19 | 2D19 | 4D19 | 3D19 | 3D19 | 2D19 | 4D19 |
| - | - | - | - | - | - | 9D19 | 2D19 |
| - | - | - | - | - | - | 2D19 | 4D19 |

SNI 2847:2013 pada pasal 21.5.2 mensyaratkan kapasitas lentur suatu balok pada daerah tepi untuk tulangan tekan harus sama dengan atau lebih besar dari 0,5 kapasitas lentur tulangan tarik.

$$M_n^{(+)} \geq 0,5M_n^{(-)} \dots\dots\dots(4)$$

Sedangkan untuk daerah lapangan, kuat lentur tulangan tarik ($M_n^{(-)}$) maupun tulangan tekan tidak boleh lebih kecil dari 1/4 kuat lentur terbesar sepanjang bentang balok pada setiap titik.

$M_n^{(+)}$ atau $M_n^{(-)} \geq \frac{1}{4} M_n$ terbesar sepanjang bentang balok.....(5)

Kapasitas kuat lentur didapat dengan menggunakan rumus :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots(6)$$

dimana

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b_w} \dots\dots\dots(7)$$

sehingga kapasitas lentur pada daerah tepi dan lapangan sebagai berikut.

Tabel 2 Kapasitas Lentur Tulangan Balok Tepi

| Daerah | | Kapasitas Lentur Balok (kNm) | | | | | |
|--------|----------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | B1 | B2a | B2b | B3 | B4 | B5 |
| Lt 1 | $M_n^{(+)}$ | 112,67 | 112,67 | - | 112,67 | 112,67 | 112,67 |
| | $0,5M_n^{(-)}$ | 110,93 | 137,58 | - | 110,93 | 110,93 | 163,79 |
| Lt 2 | $M_n^{(+)}$ | 221,86 | 112,67 | - | 221,86 | 221,86 | 112,67 |
| | $0,5M_n^{(-)}$ | 110,93 | 214,91 | - | 110,93 | 110,93 | 137,58 |
| Lt 3 | $M_n^{(+)}$ | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 |
| | $0,5M_n^{(-)}$ | 110,93 | 239,82 | 214,91 | 110,93 | 110,93 | 137,58 |
| Atap | $M_n^{(+)}$ | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 |
| | $0,5M_n^{(-)}$ | 110,93 | 163,79 | 189,57 | 189,57 | 110,93 | 137,58 |

Tabel 3 Kapasitas Lentur Tulangan Balok Lapangan

| Daerah | | Kapasitas Lentur Balok (kNm) | | | | | | | | |
|--------|-------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | B1 | B2a | B2b | B3 | B4 | B5 | B6 | B7a | B7b |
| Lt 1 | $M_n^{(+)}$ | 112,67 | 112,67 | - | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | - |
| | $0,25M_n$ | 55,47 | 68,79 | - | 55,47 | 55,47 | 81,9 | 55,47 | 119,91 | - |
| Lt 2 | $M_n^{(+)}$ | 221,86 | 112,67 | - | 221,86 | 221,86 | 112,67 | 221,86 | 112,67 | - |
| | $0,25M_n$ | 55,47 | 107,46 | - | 55,47 | 55,47 | 68,79 | 55,47 | 144,17 | - |
| Lt 3 | $M_n^{(+)}$ | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | - |
| | $0,25M_n$ | 55,47 | 119,91 | 107,46 | 55,47 | 55,47 | 68,79 | 55,47 | 155,94 | - |
| Atap | $M_n^{(+)}$ | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 | 112,67 |
| | $0,25M_n$ | 55,47 | 81,9 | 94,79 | 94,79 | 55,47 | 68,79 | 55,47 | 119,91 | 119,91 |

Persyaratan kapasitas lentur tulangan balok tepi tercantum pada rumus nomor 5, yakni $M_n^{(+)}$ atau $M_n^{(-)}$ yang terkecil $\geq 0,5M_n$ terbesar sepanjang bentang balok.

Syarat tulangan geser

SNI 2847:2013 mensyaratkan

a. Jarak tulangan pada sendi plastis, s sepanjang 2h balok, diambil nilai terkecil dari

1) $d/4$ (6)

2) $6d_b$ (7)

3) 150 mm

b. Jarak tulangan luar sendi plastis

1) $s_1 = A_v f_{yt} d / V_s$ (8)

2) $s_2 = d/2$ (9)

3) $s_3 = A_v f_{yt} / 0,35b_w$ (10)

4) $s_4 = 600$ mm

Tabel 4 Hasil Evaluasi Tulangan Geser Balok

| Balok | Daerah | | | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| | Lantai 1 | | Lantai 2 | | Lantai 3 | | Atap | |
| | Tepi | Lapangan | Tepi | Lapangan | Tepi | Lapangan | Tepi | Lapangan |
| B1 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 |
| B2a | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 |
| B2b | - | - | - | - | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 |
| B3 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 |
| B4 | Ø10-70 | Ø10-170 | Ø10-70 | Ø10-160 | Ø10-70 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 |
| B5 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 |
| B6 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 |
| B7a | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 | Ø10-100 | Ø10-320 |
| B7b | - | - | - | - | - | - | Ø10-100 | Ø10-320 |

Dari data perencanaan, tulangan geser terpasang pada semua balok sepanjang daerah plastis sebanyak Ø10-180, jadi jarak antar tulangan geser pada daerah tersebut melebihi jarak maksimal yang sudah dihitung berdasarkan SNI 2847:2013.

Pada daerah lapangan terpasang tulangan geser Ø10-200, jadi jarak tulangan geser pada daerah tersebut tidak melebihi jarak maksimal yang sudah dihitung berdasarkan SNI 2847:2013.

Syarat tulangan lentur Kolom

Sebagai struktur penahan beban gempa, kolom dirancang harus mampu menahan momen lentur yang diakibatkan oleh balok yang merangka pada hubungan balok kolom, atau dapat dikatakan kolom kuat balok lemah.

$\Sigma M_{nk} \geq 6/5 \Sigma M_{nb}$ (11)

$\Sigma M_{nk} = M_n K_{atas} + M_n K_{bawah}$ (12)

$\Sigma M_{nb} = M_n B^{(+)} + M_n B^{(-)}$ (13)

Tabel 5 Hasil Evaluasi Kolom Terhadap Balok

| Kolom | M_{nk} (kNm) | $\Sigma M_{nk} > 6/5 \Sigma M_{nb}$ |
|-------|----------------|-------------------------------------|
| K1 | 314,83 | 1105,76 > 591,64 |
| K2 | 790,51 | 790,51 > 517,11 |
| K3 | 80,12 | 80,12 < 366,88 |

Syarat tulangan transversal kolom

Dipasang sejauh I_o (terbesar)

- 1) Dimensi penampang kolom terbesar
- 2) 1/6 bentang bersih
- 3) 450 mm

Kebutuhan tulangan transversal

1) Luas total penampang, A_{sh}

a) $b_c = b - 2(ds)$ (14)

b) $\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \frac{b_c x f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$.. (15)

c) $\frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \frac{b_c x f'_c}{f_{yt}}$ (16)

2) Jarak tulangan

a) ¼ dimensi terkecil komponen struktur

b) $6d_b$ (17)

c) $h_x = 1/3 bc$ (18)

d) $s_o = 100 + \left(\frac{360-h_x}{3}\right) \dots \dots (19)$

e) 150 mm

Dipakai jarak terkecil dari persyaratan di atas. Kebutuhan tulangan transversal, A_{sh} , dengan jarak maksimal didapat

$$V_e = \frac{M_{pr\ atas} + M_{pr\ bawah}}{l_u} \dots (20)$$

$$= \frac{P_{b\cdot e} + P_{b\cdot e}}{l_u} \dots \dots \dots (21)$$

Nilai di atas tidak boleh melebihi perencanaan gaya geser yang ditimbulkan oleh gempa pada balok.

$$V_e = \frac{M_{prb} \times DF + M_{prb} \times DF}{l_u} \dots (22)$$

Diambil nilai terkecil dari dua nilai di atas. Nilai ini tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor hasil analisis.

$$V_e > V_u \dots \dots \dots (23)$$

3) Menghitung kebutuhan tulangan transversal

$$50\% V_e > V_u \quad (24)$$

Maka $V_c = 0$

$$V_s \text{ pasang} = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s} \dots \dots \dots (25)$$

$$\phi(V_c + V_s) \quad (26)$$

4) Luar daerah pengeangan

Digunakan nilai terkecil dari

a) $6D$

b) 150 mm

Sehingga digunakan sengkang 5 kaki D10 – 130

5) Pemasangan tulangan transversal

a) Tinggi penampang komponen struktur pada muka hubungan balok kolom 1/6 bentang bersih komponen struktur

b) 450 mm

Digunakan nilai terbesar untuk panjang pemasangan yakni 600 mm dari muka balok-kolom.

Tabel 6 Evaluasi Tulangan Transversal

| Kolom | Tulangan terpasang | |
|-------|--------------------|------------------|
| | Pengekangan | Luar Pengekangan |
| K1 | Desain awal | 2D10-180 |
| | Hasil evaluasi | 5D10-50 |
| K2 | Desain awal | 2D10-180 |
| | Hasil evaluasi | 5D10-50 |
| K3 | Desain awal | 2D10-180 |
| | Hasil evaluasi | 5D10-50 |

Hubungan Balok-Kolom

- Luas efektif, A_j
 $A_j = 500 \times 600 = 300.000 \text{ mm}^2$
- Kebutuhan tulangan trans-versal
Lebar balok = 400 mm
Dimensi kolom = 500 x 600
 $\frac{3}{4} \cdot 600 = 450$. Karena lebar balok tidak menutupi $\frac{3}{4}$ lebar kolom, maka digunakan $\frac{1}{2}$ dari kebutuhan tulangan transversal pada sendi plastis kolom.
 $\frac{3}{4} \cdot 500 = 375 \text{ mm}$, maka dipakai tulangan transversal sama dengan kebutuhan tulangan transversal pada sendi plastis kolom yakni 3 kaki D10-100 ($235,62 \text{ mm}^2$). Sehingga digunakan 3 kaki D10-100 pada HBK tersebut.
- Kuat geser

Dianggap terkekang keempat sisinya, maka $V_n = 1,25 \sqrt{f'_c} \cdot A_j = 2793,38 \text{ kN}$

PEMBAHASAN

- Evaluasi balok
 - Panjang bentang balok B4 dan B6 dapat dikatakan terlalu pendek karena kurang dari 4 kali tinggi efektif balok.
 - Tulangan tekan pada balok B1 sampai B7 pada tabel 1 belum memenuhi syarat minimal tulangan terpasang.
 - Kuat lentur positif (M_n^+) pada muka kolom untuk balok B2, B5 dan B7 lebih kecil dari kuat lentur negatif

- (M_n), sehingga tidak memenuhi syarat.
- d. Kuat lentur daerah lapangan balok B7 kurang dari $\frac{1}{4}$ kuat lentur terbesar di sepanjang bentang, sehingga tidak memenuhi syarat.
 - e. Balok B4 tidak dapat digunakan syarat panjang pemasangan sengkang sepanjang $2h$ karena bentang terlalu pendek.
 - f. Jarak sengkang balok B1 sampai B7 tidak memenuhi syarat jarak maksimal karena lebih dari 110 mm.
2. Evaluasi Kolom
 - a. Dimensi penampang terkecil K1 sebesar 500 mm memenuhi syarat minimal dimensi sebesar 300 mm.
 - b. Kolom K1 cukup kuat untuk memikul momen lentur dari struktur balok yang ditopangnya pada *joint*.
 - c. Kapasitas lentur kolom K3 lebih lemah dari balok yang merangka pada *joint*.

KESIMPULAN

1. Pada balok, tulangan lentur terpasang tidak memenuhi syarat minimal pemasangan dan untuk kapasitas kuat lentur balok dari 31 jenis balok terdapat 16 jenis balok yang tidak memenuhi syarat keamanan struktur.
2. Panjang pemasangan tulangan geser tidak dipenuhi oleh 12 jenis balok dari 31 jenis balok terpasang
3. Pada kolom, dari 3 jenis kolom terpasang terdapat 1 jenis kolom yakni K3 yang tidak memenuhi syarat kolom kuat balok lemah.

DAFTAR PUSTAKA

- Artadewi, Nur Ardita. 2016. *Evaluasi Kekuatan Struktur Gedung Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013*. Skripsi. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Asroni, Ali. 2010. *Balok dan Plat Beton Bertulang*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Asroni, Ali. 2010. *Kolom dan Balok T Beton Bertulang*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung (SNI 1726-2012)*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)*. Jakarta.
- Computers and Structures, Inc. 2016. *Etabs 2016 : Introductory Tutorial Part I & II*. United States of America.
- Computers and Structures, Inc. 2016. *Etabs 2016 : User's Guide*. United States of America.
- Maulana, Taufiq Ilham. 2014. *Perancangan Ulang Struktur Gedung dengan SNI 03-1726 2012 dan SNI 03-2847-2013*. Skripsi. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Nusantoro, Agung. 2012. *Perbaikan dan Perkuatan Struktur pada Bangunan Cagar Budaya*.
Jurnal Konstruksia Vol. 3 No.2.
<http://jurnal.umj.ac.id/index.php/konstruksia/articel/view/251> diakses pada tanggal 20 Juli 2018
- Setiawan, Agus. 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta : Erlangga

Stefanus, Deddymus Bin. 2015. *Perancangan Struktur Gedung Awana Condotel Yogyakarta Berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 2847-2013*. Skripsi. Universitas Atmajaya Yogyakarta, Yogyakarta.

Tavio dan Wijaya, U. 2018. *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Yogyakarta : ANDI.