

KAJIAN STRUKTUR BETON BERTULANG SEBAGAI ALTERNATIF REVIEW DESIGN STRUKTUR BAJA (Studi Kasus Bangunan 3 Lantai Gedung RTMC Ditlantas Polda Kalsel)

¹Muhammad Tommy

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains, Teknologi Dan Kesehatan Universitas Nahdlatul Ulama
Kalimantan Selatan, Indonesia

e-mail: muhammادتommy425@gmail.com

ABSTRACT

The RTMC building, serving as the control and management center for traffic operations, has specific demands for structural stability and safety. Over time, several RTMC buildings commonly employ steel structures as their primary framework. While steel structures offer advantages in construction speed, load-bearing capacity, and design flexibility, considerations arise regarding the risk of corrosion and the need for more intensive maintenance. This research aims to redesign the RTMC Ditlantas Polda Kalsel building, originally using a steel structure, into a reinforced concrete structure. The method used involves designing steel columns and beams according to the load standards of SNI PPIUG 1983 and SNI 03-1726-201. These designs are then analyzed using SAP2000 software to evaluate the ultimate load (Pu) on the columns and the ultimate moment (Mu) on the beams. The magnitude of the ultimate load (Pu) affects the dimensions of the structural elements, material requirements, and potential changes in the structural system. Meanwhile, the ultimate moment (Mu) affects the moment capacity of the element, with the risk that the element may experience collapse or failure if the moment capacity is exceeded. The results recommend a column dimension of 40x40 cm with 8 reinforcing bars of 16 mm in diameter. The beams for the second floor should have dimensions of 30x60 cm, with 4 top and 3 bottom reinforcing bars, each 16 mm in diameter. For the third floor beams, dimensions of 30x55 cm with the same reinforcement configuration are suggested. For the roof beams, a dimension of 25x50 cm is recommended, with 5 top and 4 bottom reinforcing bars of 13 mm in diameter.

Keywords: Reinforced concrete, structure conversion, redesign

ABSTRAK

Gedung RTMC, sebagai pusat kendali dan manajemen lalu lintas, memiliki tuntutan khusus terhadap kestabilan dan keamanan strukturalnya. Dalam perjalanan waktu, beberapa gedung RTMC umumnya menggunakan struktur baja sebagai kerangka utama. Meskipun struktur baja memiliki keunggulan dalam kecepatan konstruksi, daya tahan terhadap beban, dan fleksibilitas desain, namun terdapat pertimbangan terkait risiko korosi dan kebutuhan perawatan yang lebih intensif. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan ulang Gedung RTMC Ditlantas Polda KalSel yang awalnya menggunakan struktur baja diubah menjadi struktur beton bertulang. Metode yang digunakan ialah merencanakan kolom dan balok baja dengan standar pembebanan SNI PPIUG 1983 dan SNI 03-1726-201, yang dimasukkan ke dalam aplikasi sap2000 untuk melihat hasil analisisnya dari Beban ultimate (Pu) pada kolom dan Moment ultimate (Mu) pada balok. Besarnya nilai beban ultimate (Pu) akan berpengaruh terhadap peningkatan dimensi elemen, penambahan material, atau perubahan dalam sistem struktural. Sedangkan Besarnya nilai Moment ultimate (Mu) akan berpengaruh pada kapasitas momen elemen tersebut, ada risiko bahwa elemen akan mengalami keruntuhan atau kegagalan. Hasil merekomendasikan dimensi kolom 40x40 cm dengan 8 tulangan berdiameter 16 mm. Balok lantai 2 memiliki dimensi 30x60 cm dengan 4 tulangan tumpuan dan

3 tulangan lapangan, masing-masing berdiameter 16 mm. Untuk balok lantai 3, dimensi yang disarankan adalah 30x55 cm dengan konfigurasi tulangan yang sama. Sedangkan untuk balok atap, dimensi yang direkomendasikan adalah 25x50 cm dengan 5 tulangan tumpuan dan 4 tulangan lapangan berdiameter 13 mm.

Kata Kunci: Beton bertulang, konversi struktur, desain ulang.

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan kota sebagai pusat aktivitas sosial dan ekonomi menuntut adanya perubahan dan pengembangan struktural pada bangunan, terutama gedung-gedung yang memiliki peran penting dalam mendukung kegiatan masyarakat. Gedung RTMC (Regional Traffic Management Centre) di Direktorat Lalu Lintas Polda Kalimantan Selatan merupakan salah satu struktur kritis yang membutuhkan perhatian dalam konteks perencanaan dan rekayasa struktural.

Gedung RTMC, sebagai pusat kendali dan manajemen lalu lintas, memiliki tuntutan khusus terhadap kestabilan dan keamanan strukturalnya. Dalam perjalanan waktu, beberapa gedung RTMC umumnya menggunakan struktur baja sebagai kerangka utama. Meskipun struktur baja memiliki keunggulan dalam kecepatan konstruksi, daya tahan terhadap beban, dan fleksibilitas desain, namun terdapat pertimbangan terkait risiko korosi dan kebutuhan perawatan yang lebih intensif.

Penelitian ini bermula dari keinginan untuk menggali potensi rekayasa konversi struktur, dengan fokus pada desain ulang gedung RTMC, khususnya dari struktur baja menjadi struktur beton bertulang. Transformasi ini diharapkan dapat memberikan solusi yang holistik, mengintegrasikan aspek teknis, lingkungan, dan ekonomi untuk meningkatkan performa dan ketahanan gedung RTMC.

II. METODE PENELITIAN

Proses dimulai dengan mengumpulkan data terkait, seperti informasi umum bangunan dan dimensi setiap kolom serta balok yang digunakan. Setelah itu, dilakukan perencanaan ulang kolom dan balok baja berdasarkan standar pembebanan SNI PPIUG 1983 dan SNI 03-1726-201, yang kemudian dianalisis menggunakan aplikasi SAP2000. Analisis ini meninjau Beban Ultimit (P_u) pada kolom dan Momen Ultimit (M_u) pada balok. Nilai Beban Ultimit (P_u) mempengaruhi peningkatan dimensi elemen, penambahan material, atau perubahan sistem struktural. Sementara itu, besarnya Momen Ultimit (M_u) berdampak pada kapasitas momen elemen, dengan risiko keruntuhan atau kegagalan jika tidak memadai.

1. Data umum gedung

Gedung : RTMC Ditlantas Polda KalSel
Lokasi : Jalan A. Yani, Landasan Ulin Selatan, Liang Anggang
Fungsi Bangunan : Gedung Kantor Polisi
Waktu Pelaksanaan : 180 hari

2. Data teknis gedung

Struktur Gedung : lantai 1 sampai 3 menggunakan struktur baja
Jumlah Lantai : 3 lantai
Tinggi Bangunan : 14,90 m
Tinggi Tiap Lantai
Lantai 1-2 : 4 m
Lantai 2-3 : 4 m
Lantai 3 – atap : 4 m
Mutu Beton : f_c : 20.75 Mpa (Beton mutu K 250)

| | |
|---------------|--------------------------------|
| Mutu Tulangan | |
| Fy | : 400 Mpa untuk tulangan ulir |
| Fy | : 240 Mpa untuk tulangan polos |
| Mutu Baja | : baja profil ST 37 |
| fy | : 240 Mpa untuk tegangan leleh |
| fu | : 370 Mpa untuk tegangan putus |

3. Data dimesi struktur

Kolom Pedestal

| | |
|------|----------------|
| KPD1 | : 500 x 500 mm |
| KPD2 | : 250 x 350 mm |

Profile Sloof

| | |
|----|----------------|
| S1 | : 250 x 400 mm |
| S2 | : 200 x 400 mm |

Profile Kolom

| | |
|-------------------|-----------------------|
| Kolom lantai 1 | : K1 H 250x250x9x14 |
| Kolom lantai 2 | : K1 H 250x250x9x14 |
| Kolom lantai 3 | : K2 H 200x200x8x13 |
| Kolom tangga tepi | : K3 WF 250x125x6x9 |
| Kolom lift barang | : K4 WF 200x100x5.5x8 |

Profile Balok

| | |
|----------------|-----------------------|
| Balok lantai 2 | : B1 WF 350x175x7x11 |
| Balok lantai 3 | : B2 WF 300x150x6.5x9 |
| Balok atap | : B3 WF 250x125x6x9 |

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisa pembebanan

Perhitungan beban disesuaikan dengan jenis beban yang bekerja pada struktur, berdasarkan peraturan pembebanan yang berlaku. Beban yang dihitung meliputi beban mati dan beban hidup, yang didasarkan pada fungsi bangunan. Kombinasi pembebanan dilakukan dari kedua jenis beban tersebut.

Bangunan yang direncanakan adalah kantor, dengan rincian sebagai berikut:

- Lantai I digunakan sebagai kantor,
- Lantai II digunakan sebagai kantor,
- Lantai III digunakan sebagai kantor.
- Lantai IV digunakan sebagai dak/ atap

Berdasarkan Peraturan Muatan Indonesia 1983, ketentuan pembebanan adalah sebagai berikut:

Beban Mati:

| | |
|-----------------------------|--------------------------|
| Berat jenis beton | : 2400 kg/m ³ |
| Berat bata ringan | : 57,5 kg/m ² |
| Berat ubin dan adukan semen | : 45 kg/m ² |

Beban Hidup:

| | |
|-----------------------|-------------------------|
| Beban untuk kantor | : 250 kg/m ² |
| Beban hidup untuk dak | : 150 kg/m ² |
| Berat jenis air hujan | : 1000 kg/m |

2. Pola pembebanan

Pada metode konvensional pemindahan beban plat lantai ke balok pemikul berdasarkan pensederhanaan teori bidang retak pada plat. Pola pembebanan pada tiap lantai

- Pembebanan Portal Arah Melintang
- Pembebanan Portal Arah Memanjang
- Beban Gempa

3. Hasil Analisa Struktur Sap2000

Balok Portal 5

Lantai Dasar

| | | |
|--------------------|----------|-----|
| Panjang Bentang | = 6 | m |
| Momen max tumpuan | = 874,02 | kgm |
| Momen max lapangan | = 420,52 | kgm |
| Lintang max | = 804,11 | kg |

Lantai II

| | | |
|--------------------|------------|-----|
| Panjang Bentang | = 6 | m |
| Momen max tumpuan | = 10564,12 | kgm |
| Momen max lapangan | = 6709,67 | kgm |
| Lintang max | = 8188,31 | kg |

Lantai III

| | | |
|--------------------|------------|-----|
| Panjang Bentang | = 6 | m |
| Momen max tumpuan | = 10094,14 | kgm |
| Momen max lapangan | = 6920,67 | kgm |
| Lintang max | = 8070,40 | kg |

Lantai Dak Atap

| | | |
|--------------------|-----------|-----|
| Panjang Bentang | = 6 | m |
| Momen max tumpuan | = 8689,04 | kgm |
| Momen max lapangan | = 6191,41 | kgm |
| Lintang max | = 6953,58 | kg |

Portal C

Lantai Dasar

| | | |
|--------------------|----------|-----|
| Panjang Bentang | = 6 | m |
| Momen max tumpuan | = 751,53 | kgm |
| Momen max lapangan | = 372,16 | kgm |
| Lintang max | = 745,01 | kg |

Lantai II

| | | |
|--------------------|-----------|-----|
| Panjang Bentang | = 6 | m |
| Momen max tumpuan | = 9701,81 | kgm |
| Momen max lapangan | = 6062,60 | kgm |
| Lintang max | = 7653,62 | kg |

Lantai III

| | | |
|--------------------|-----------|-----|
| Panjang Bentang | = 6 | m |
| Momen max tumpuan | = 7413,98 | kgm |
| Momen max lapangan | = 5896,92 | kgm |

$$\text{Lintang max} = 6835,77 \text{ kg}$$

Ring Dak Atap

$$\begin{aligned} \text{Panjang Bentang} &= 6 \text{ m} \\ \text{Momen max tumpuan} &= 8457,17 \text{ kgm} \\ \text{Momen max lapangan} &= 5446,99 \text{ kgm} \\ \text{Lintang max} &= 6631,52 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kolom

$$\begin{aligned} \text{Kolom 40/40} & \\ \text{Gaya Axial max} &= 88565,72 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kolom

Data-data:

$$\begin{aligned} \text{Gaya normal} &= 88565,72 \text{ Kg} \\ \text{Gaya normal tambahan} &= 0 \text{ Kg} \\ \text{Tinggi Bangunan} &= 4000 \text{ mm} \\ \text{Profil Kolom} &= 400 \times 400 \\ \text{fc}' &= 20 \text{ Mpa} \\ \text{fy} &= 400 \text{ Mpa} \\ \text{Diameter Tulangan} &= 16 \text{ mm} \\ \text{Diameter sengkang} &= 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menentukan kuat tekan maksimum rencana

$$\begin{aligned} P_u &= \text{Gaya Normal} + \text{Gaya normal tambahan} + \text{Berat sendiri kolom} \times 1,2 \\ &= 88565,72 + 0 + (2400 \times 0,4 \times 0,4 \times 4) \times 1,2 \\ &= 90408,92 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Menentukan rasio penulangan

$$\begin{aligned} A_g &= \text{Luas penampang lintang kotor kolom} \\ &= 400 \times 400 \\ &= 160000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_g &= \frac{\frac{P_u}{f_y} - 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times A_g}{f_y - 0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{0,8 \times \frac{90408,92}{400} - 0,85 \times \frac{20}{400} \times 160000}{400 - 0,85 \times 20} \\ &= -0,016014473 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan minimum yaitu $\rho_g = 0,01$ syarat $0,01 < \rho_g < 0,08$

Menghitung luas tulangan perlu

$$\begin{aligned} A_{st} &= \rho_g \times A_g \\ &= 0,01 \times 160000 \\ &= 1600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{st}}{4A_t} \\ &= \frac{1600}{803,84} \\ &= 1,99044586 \end{aligned}$$

Digunakan 4 x 2 buah tulangan 16 mm

Merencanakan tulangan sengkang

Pilih tulangan baja D 10 untuk sengkang

Jarak spasi tidak boleh lebih besar dari

$$\begin{aligned} 48 \text{ kali diameter batang tulangan sengkang} &= 48 \times 10 = 480 \text{ mm} \\ 16 \text{ kali diameter batang tulangan utama} &= 16 \times 16 = 256 \text{ mm} \\ \text{ukuran kolom arah kecil} &= 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

maka jarak spasi yang digunakan adalah 256 mm

Jarak bersih batang tulangan pokok bersebelahan pada sisi kolom adalah:

$$\begin{aligned} &= (400 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 16) / 2 \\ &= 98,03580563 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tidak perlu tambahan batang pengikat tulangan pokok kolom

Balok

DATA: Balok lantai II

$$\begin{aligned} \mu &= 10564,12 \text{ Kgm} \\ b &= 300 \text{ mm} \\ h &= 600 \text{ mm} \\ f_y &= 400 \text{ Mpa} \\ f_c' &= 20 \text{ Mpa} \\ \beta_1 &= 0,85 \\ d_s &= 40 \text{ mm} \\ \phi_{\text{utama}} &= 16 \text{ mm} \\ \phi_s &= 8 \text{ mm} \\ d &= 544 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tulangan lapangan yang dipakai:

As' tulangan tekan 3 D 16

Ast tulangan tarik 4 D 16

maka Ast > As

dimana telah memenuhi syarat

Hitung momen yang dapat ditahan oleh tulangan tunggal:

$$\begin{aligned} K_{\text{maks}} &= 0,75 \times \left(\beta_1 \times \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \times \left(0,85 \times \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,3825 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= 0,85 \times f_c' \times b \times d \times \frac{2}{2} \times K_{\text{maks}} \left(1 - \frac{K_{\text{maks}}}{2} \right) \\ &= 0,85 \times 20 \times 300 \times 544 \times \frac{2}{2} \times 0,3825 \left(1 - \frac{0,3825}{2} \right) \\ &= 46688,90717 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{\mu}{\phi} = \frac{10564,12}{0,8} \\ &= 13205,15 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s1} &= \frac{M_n}{f_y \times d \times \left(1 - \frac{K_{\text{maks}}}{2} \right)} \\ &= \frac{13205,15}{400 \times 544 \times \left(1 - \frac{0,3825}{2} \right)} \\ &= 750,3608283 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dilakukan tulangan tunggal karena $M_{n1} > M_n$

Hitung selisih momen

$$\begin{aligned} M_{n2} &= M_n - M_{n1} \\ &= 13205,15 - 46688,90717 \\ &= -33483,75717 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Hitung tulangan tekan

$$\begin{aligned} As' &= \frac{Mn2}{(d - d') \times fy} \\ &= \frac{-33483,76}{(544 - 60) \times 400} \\ &= -1729,532912 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Hitung luas total tulangan tarik:

$$\begin{aligned} Ast &= As1 + As2 \\ &= 750,3608283 + -1729,532912 \\ &= -979,1720833 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dipakai dengan luas penulangan 750,3608283 mm²

Tulangan tekan 3 D 16 (As' = 602,88 mm²)

Tulangan tarik 4 D 16 (Ast' = 803,84 mm²)

Check kondisi leleh tulangan tekan

$$\begin{aligned} As' &= 602,88 \text{ mm}^2 \quad \text{maka } \rho' = \frac{As'}{b \times d} \\ &= \frac{602,88}{300 \times 544} \\ &= 0,003694118 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As &= 803,84 \text{ mm}^2 \quad \text{maka } \rho = \frac{Ast}{b \times d} \\ &= \frac{803,84}{300 \times 544} \\ &= 0,00492549 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho - \rho' &> \left(\frac{0,85 \times fc'}{fy} \right) \times \left(\frac{600}{600 - fy} \right) \beta_1 \times d' \\ 0,001231373 &> \left(\frac{0,85 \times 20}{400 \times 544} \right) \times \left(\frac{600}{600 - 400} \right) 0,85 \times 60 \\ 0,001231373 &< 0,0120 \text{ maka tulangan tekan belum leleh} \end{aligned}$$

Jika hanya memerlukan tulangan tunggal:

Menghitung nilai K perlu

$$\begin{aligned} k &= 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Mn}{0,85 \times fc' \times b \times d^2}} \\ &= 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13205,15}{0,85 \times 20 \times 300 \times 544^2}} \\ &= 0,091697643 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As1 &= \frac{Mn}{fy \times d \times \left(1 - K / 2 \right)} \\ &= \frac{13205,15}{400 \times 544 \times \left(1 - 0,091697643 / 2 \right)} \\ &= 636,0148512 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_{st}}{b \times d} \\ &= \frac{636,0148512}{300 \times 544} \\ &= 0,00389715 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00389715 \times 300 \times 544 \\ &= 636,0148512 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{A_t} \\ &= \frac{636,0148512}{201,1428571} \\ &= 3,16 \end{aligned}$$

maka digunakan $\frac{4}{4} = \frac{D}{16}$ buah

DATA: Balok lantai II

Mu = 6709,67 Kgm
 b = 300 mm
 h = 600 mm
 f_y = 400 Mpa
 f_c' = 20 Mpa
 β₁ = 0,85
 d_s = 40 mm
 d_{utama} = 16 mm
 φ_s = 8 mm
 d = 544 mm

Tulangan lapangan yang dipakai:

As' tulangan tekan 3 D 16

Ast tulangan tarik 4 D 16

maka Ast > As

dimana telah memenuhi syarat

Hitung momen yang dapat ditahan oleh tulangan tunggal:

$$\begin{aligned} K_{maks} &= 0,75 \times \left(\frac{\beta_1 \times 600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times 600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,3825 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= 0,85 \times f_c' \times b \times d \times K_{maks} \left(1 - \frac{K_{maks}}{2} \right) \\ &= 0,85 \times 20 \times 300 \times 544 \times 0,3825 \left(1 - \frac{0,3825}{2} \right) \\ &= 46688,90717 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{6709,67}{0,8} \\ &= 8387,0875 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s1} &= \frac{M_n}{f_y \times d \times \left(1 - \frac{K_{maks}}{2} \right)} \\ &= \frac{8387,09}{400 \times 544 \times \left(1 - \frac{0,3825}{2} \right)} \\ &= 476,5823882 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dilakukan tulangan tunggal karena $Mn1 > Mn$

Hitung selisih momen

$$\begin{aligned} Mn2 &= Mn - Mn1 \\ &= 8387,0875 - 46688,90717 \\ &= -38301,81967 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Hitung tulangan tekan

$$\begin{aligned} As' &= \frac{Mn2}{(d - d') \times fy} \\ &= \frac{-38301,82}{(544 - 60) \times 400} \\ &= -1978,399776 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Hitung luas total tulangan tarik:

$$\begin{aligned} Ast &= As1 + As2 \\ &= 476,5823882 + -1978,399776 \\ &= -1501,817388 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dipakai dengan luas penulangan 476,5823882 mm²

Tulangan tekan 3 D 16 (As' = 602,88 mm²)

Tulangan tarik 4 D 16 (Ast' = 803,84 mm²)

Check kondisi leleh tulangan tekan

$$\begin{aligned} As' &= 602,88 \text{ mm}^2 & \text{maka } \rho' &= \frac{As'}{b \times d} \\ & & &= \frac{602,88}{300 \times 544} \\ & & &= 0,003694118 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As &= 803,84 \text{ mm}^2 & \text{maka } \rho &= \frac{Ast}{b \times d} \\ & & &= \frac{803,84}{300 \times 544} \\ & & &= 0,00492549 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho - \rho' &> \left(\frac{0,85 \times fc'}{fy} \right) \times \left(\frac{600}{600 - fy} \right) \beta1 \times d' \\ 0,001231373 &> \left(\frac{0,85 \times 20}{400 \times 544} \right) \times \left(\frac{600}{600 - 400} \right) 0,85 \times 60 \\ 0,001231373 &< 0,0120 & \text{maka tulangan tekan belum leleh} \end{aligned}$$

Jika hanya memerlukan tulangan tunggal:

Menghitung nilai K perlu

$$\begin{aligned} k &= 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Mn}{0,85 \times fc' \times b \times d^2}} \\ &= 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8387,0875}{0,85 \times 20 \times 300 \times 544^2}} \\ &= 0,057206659 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sl} &= \frac{M_n}{f_y \times d \times (1 - K / 2)} \\ &= \frac{8387,0875}{400 \times 544 \times (1 - 0,057206659 / 2)} \\ &= 396,7853898 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} & \rho &= \frac{A_{st}}{b \times d} \\ &= \frac{1,4}{400} & &= \frac{396,7853898}{300 \times 544} \\ &= 0,0035 & &= 0,002431283 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 300 \times 544 \\ &= 571,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{A_t} \\ &= \frac{571,2}{201,1428571} \end{aligned}$$

maka digunakan $n = 2,84 = \frac{3}{16}$ buah

DATA: Balok lantai III

| | | |
|--------------------|------------|-----|
| Mu | = 10094,14 | Kgm |
| b | = 300 | mm |
| h | = 550 | mm |
| f _y | = 400 | Mpa |
| f _c ' | = 20 | Mpa |
| β ₁ | = 0,85 | |
| d _s | = 40 | mm |
| φ _{utama} | = 16 | mm |
| φ _s | = 8 | mm |
| d | = 494 | mm |

Tulangan tumpuan yang dipakai:

As' tulangan tekan 3 D 16

Ast tulangan tarik 4 D 16

maka Ast > As

dimana telah memenuhi syarat

Hitung momen yang dapat ditahan oleh tulangan tunggal:

$$\begin{aligned} K_{maks} &= 0,75 \times \left(\beta_1 \times \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \times \left(0,85 \times \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,3825 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= 0,85 \times f_c' \times b \times d^2 \times K_{maks} \times \left(1 - \frac{K_{maks}}{2} \right) \\ &= 0,85 \times 20 \times 300 \times 494^2 \times 0,3825 \times \left(1 - \frac{0,19125}{2} \right) \\ &= 38500,80473 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{10094,14}{0,8} \\ &= 12617,675 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As1 &= \frac{Mn}{f_y \times d \times (1 - K_{maks}/2)} \\ &= \frac{12617,675}{400 \times 494 \times (1 - 0,19125)} \\ &= 789,5472095 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dilakukan tulangan tunggal karena $Mn1 > Mn$

Hitung selisih momen

$$\begin{aligned} Mn2 &= Mn - Mn1 \\ &= 12617,675 - 38500,80473 \\ &= -25883,12973 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Hitung tulangan tekan

$$\begin{aligned} As' &= \frac{Mn2}{(d - d') \times f_y} \\ &= \frac{-25883,12973}{(494 - 55) \times 400} \\ &= -1473,982331 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Hitung luas total tulangan tarik:

$$\begin{aligned} Ast &= As1 + As2 \\ &= 789,5472095 + -1473,982331 \\ &= -684,4351216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dipakai dengan luas penulangan $789,5472095 \text{ mm}^2$
 Tulangan tekan 3 D 16 ($As' = 602,88 \text{ mm}^2$)
 Tulangan tarik 4 D 16 ($Ast' = 803,84 \text{ mm}^2$)

Check kondisi leleh tulangan tekan

$$\begin{aligned} As' &= 602,88 \text{ mm}^2 \quad \text{maka } \rho' = \frac{As'}{b \times d} \\ &= \frac{602,88}{300 \times 494} \\ &= 0,004068016 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As &= 803,84 \text{ mm}^2 \quad \text{maka } \rho = \frac{Ast}{b \times d} \\ &= \frac{803,84}{300 \times 494} \\ &= 0,005424022 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho - \rho' &> \left(\frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) \beta_1 \times d' \\ 0,001356005 &> \left(\frac{0,85 \times 20}{400 \times 494} \right) \times \left(\frac{600}{600 - 400} \right) 0,85 \times 55 \\ 0,001356005 &< 0,0121 \text{ maka tulangan tekan belum leleh} \end{aligned}$$

Jika hanya memerlukan tulangan tunggal:
 Menghitung nilai K perlu

$$k = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times M_n}{0,85 \times f_c' \times b \times d^2}}$$

$$= 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12617,675}{0,85 \times 20 \times 300 \times 494^2}}$$

$$= 0,107117807$$

$$A_s1 = \frac{M_n}{f_y \times d \times (1 - K / 2)}$$

$$= \frac{12617,675}{400 \times 494 \times (1 - 0,107117807 / 2)}$$

$$= 674,6815074 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho = \frac{A_{st}}{b \times d} = \frac{674,6815074}{300 \times 494} = 0,004552507$$

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,004552507 \times 300 \times 494 = 674,6815074 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_t} = \frac{674,6815074}{201,1428571} = 3,35 = 4$$

maka digunakan 4 buah D 16

DATA: Balok lantai III

- Mu = 6920,67 Kgm
- b = 300 mm
- h = 550 mm
- f_y = 400 Mpa
- f_{c'} = 20 Mpa
- β₁ = 0,85
- d_s = 40 mm
- φ_{utama} = 16 mm
- φ_s = 8 mm
- d = 494 mm

Tulangan lapangan yang dipakai:

- A_{s'} tulangan tekan 3 D 16
- A_{st} tulangan tarik 4 D 16
- maka A_{st} > A_s
- dimana telah memenuhi syarat

Hitung momen yang dapat ditahan oleh tulangan tunggal:

$$K_{maks} = 0,75 \times \left(\frac{\beta_1 \times 600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times 600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,3825$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= 0,85 \times f_c' \times b \times d^2 \times K_{maks} \quad (1 - K_{maks}/2) \\ &= 0,85 \times 20 \times 300 \times 494^2 \times 0,3825 \quad (1 - 0,19125) \\ &= 38500,80473 \quad \text{Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{6920,67}{0,8} \\ &= 8650,8375 \quad \text{Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s1} &= \frac{M_n}{f_y \times d \times (1 - K_{maks}/2)} \\ &= \frac{8650,84}{400 \times 494 \times (1 - 0,19125)} \\ &= 541,3235487 \quad \text{mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dilakukan tulangan tunggal karena $M_{n1} > M_n$

Hitung selisih momen

$$\begin{aligned} M_{n2} &= M_n - M_{n1} \\ &= 8650,8375 - 38500,80473 \\ &= -29849,96723 \quad \text{Kgm} \end{aligned}$$

Hitung tulangan tekan

$$\begin{aligned} A_{s'} &= \frac{M_{n2}}{(d - d') \times f_y} \\ &= \frac{-29849,97}{(494 - 55) \times 400} \\ &= -1699,884239 \quad \text{mm}^2 \end{aligned}$$

Hitung luas total tulangan tarik:

$$\begin{aligned} A_{st} &= A_{s1} + A_{s2} \\ &= 541,3235487 + -1699,884239 \\ &= -1158,56069 \quad \text{mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dipakai dengan luas penulangan $541,3235487 \text{ mm}^2$

$$\text{Tulangan tekan } 3 \text{ D } 16 \quad (A_{s'} = 602,88 \text{ mm}^2)$$

$$\text{Tulangan tarik } 4 \text{ D } 16 \quad (A_{st}' = 803,84 \text{ mm}^2)$$

Check kondisi leleh tulangan tekan

$$\begin{aligned} A_{s'} &= 602,88 \text{ mm}^2 \quad \text{maka } \rho' = \frac{A_{s'}}{b \times d} \\ &= \frac{602,88}{300 \times 494} \\ &= 0,004068016 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= 803,84 \text{ mm}^2 \quad \text{maka } \rho = \frac{A_{st}}{b \times d} \\ &= \frac{803,84}{300 \times 494} \\ &= 0,005424022 \end{aligned}$$

$$\rho - \rho' > \left(\frac{0,85 \times f_c'}{f_y \times d} \right) \times \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) \beta_1 \times d'$$

$$0,001356005 > \left(\frac{0,85 \times 20}{400 \times 494} \right) \times \left(\frac{600}{600 - 400} \right) 0,85 \times 55$$

$$0,001356005 < 0,0121 \text{ maka tulangan tekan belum leleh}$$

Jika hanya memerlukan tulangan tunggal:

Menghitung nilai K perlu

$$k = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times M_n}{0,85 \times f_c' \times b \times d^2}}$$

$$= 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8650,8375}{0,85 \times 20 \times 300 \times 494^2}}$$

$$= 0,072107642$$

$$A_{s1} = \frac{M_n}{f_y \times d \times \left(1 - K / 2 \right)}$$

$$= \frac{8650,8375}{400 \times 494 \times \left(1 - 0,072107642 / 2 \right)}$$

$$= 454,1699833 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho = \frac{A_{st}}{b \times d} = \frac{454,1699833}{300 \times 494} = 0,003064575$$

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0035 \times 300 \times 494 = 518,7 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_t} = \frac{518,7}{201,1428571} = 2,58 = 3 \text{ buah}$$

maka digunakan 3 D 16

DATA: Balok dak Atap

| | | |
|--------------------|-----------|-----|
| Mu | = 8689,04 | Kgm |
| b | = 250 | mm |
| h | = 500 | mm |
| f _y | = 400 | Mpa |
| f _c ' | = 20 | Mpa |
| β ₁ | = 0,85 | |
| d _s | = 40 | mm |
| φ _{utama} | = 13 | mm |
| φ _s | = 8 | mm |
| d | = 445,5 | mm |

Tulangan tumpuan yang dipakai:

As' tulangan tekan 3 D 13

Ast tulangan tarik 4 D 13

maka Ast > As

dimana telah memenuhi syarat

Hitung momen yang dapat ditahan oleh tulangan tunggal:

$$\begin{aligned} K_{maks} &= 0,75 \times \left(\beta_1 \times \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \times \left(0,85 \times \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,3825 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= 0,85 \times f_c' \times b \times d^2 \times K_{maks} \times \left(1 - \frac{K_{maks}}{2} \right) \\ &= 0,85 \times 20 \times 250 \times 445,5^2 \times 0,3825 \times \left(1 - \frac{0,3825}{2} \right) \\ &= 26093,36444 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{8689,04}{0,8} \\ &= 10861,3 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s1} &= \frac{M_n}{f_y \times d \times \left(1 - \frac{K_{maks}}{2} \right)} \\ &= \frac{10861,30}{400 \times 445,5 \times \left(1 - \frac{0,3825}{2} \right)} \\ &= 753,6328422 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dilakukan tulangan tunggal karena $M_{n1} > M_n$

Hitung selisih momen

$$\begin{aligned} M_{n2} &= M_n - M_{n1} \\ &= 10861,3 - 26093,36444 \\ &= -15232,06444 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Hitung tulangan tekan

$$\begin{aligned} A_{s'} &= \frac{M_{n2}}{(d - d') \times f_y} \\ &= \frac{-15232,06}{(445,5 - 50) \times 400} \\ &= -962,8359316 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Hitung luas total tulangan tarik:

$$\begin{aligned} A_{st} &= A_{s1} + A_{s2} \\ &= 789,5472095 + -1473,982331 \\ &= -209,2030893 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dipakai dengan luas penulangan 753,6328422 mm²

Tulangan tekan 3 D 16 ($A_{s'} = 397,995 \text{ mm}^2$)

Tulangan tarik 4 D 16 ($A_{st} = 530,66 \text{ mm}^2$)

Check kondisi leleh tulangan tekan

$$A_{s'} = 397,995 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{maka } \rho' &= \frac{A_{s'}}{b \times d} \\ &= \frac{397,995}{250 \times 445,5} \\ &= 0,003573468 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= 530,66 \text{ mm}^2 & \text{maka } \rho &= \frac{A_{st}}{b \times d} \\ & & &= \frac{530,66}{250 \times 445,5} \\ & & &= 0,005424022 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho - \rho' &> \left(\frac{0,85 \times f_c'}{f_y \times d} \right) \times \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) \beta_1 \times d' \\ 0,001191156 &> \left(\frac{0,85 \times 20}{400 \times 445,5} \right) \times \left(\frac{600}{600 - 400} \right) 0,85 \times 50 \\ 0,001191156 &< 0,0122 \text{ maka tulangan tekan belum leleh} \end{aligned}$$

Jika hanya memerlukan tulangan tunggal:

Menghitung nilai K perlu

$$\begin{aligned} k &= 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times M_n}{0,85 \times f_c' \times b \times d^2}} \\ &= 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10861,3}{0,85 \times 20 \times 250 \times 445,5^2}} \\ &= 0,138332884 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s1} &= \frac{M_n}{f_y \times d \times \left(1 - K \times \frac{d}{2} \right)} \\ &= \frac{10861,3}{400 \times 445,5 \times \left(1 - 0,138332884 \times \frac{445,5}{2} \right)} \\ &= 654,7900598 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} & \rho^* &= \frac{A_{st}}{b \times d} \\ &= \frac{1,4}{400} & &= \frac{654,7900598}{250 \times 445,5} \\ &= 0,0035 & &= 0,005879148 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,005879148 \times 250 \times 445,5 \\ &= 654,7900598 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{A_t} \\ &= \frac{654,7900598}{132,7857143} \\ &= 4,93 = 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

maka digunakan 5 D 13

DATA: Balok dak Atap

$$\begin{aligned} \mu_u &= 6191,41 \text{ Kgm} \\ b &= 250 \text{ mm} \\ h &= 500 \text{ mm} \\ f_y &= 400 \text{ Mpa} \\ f_c' &= 20 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tulangan lapangan yang dipakai:

$$\begin{aligned} A_{s'} &\text{ tulangan tekan } 3 \text{ D } 13 \\ A_{st} &\text{ tulangan tarik } 4 \text{ D } 13 \\ &\text{maka } A_{st} > A_{s'} \\ &\text{dimana telah memenuhi syarat} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 \\ d_s &= 40 \quad \text{mm} \\ \phi_{utama} &= 13 \quad \text{mm} \\ \phi_s &= 8 \quad \text{mm} \\ d &= 445,5 \quad \text{mm}\end{aligned}$$

Hitung momen yang dapat ditahan oleh tulangan tunggal:

$$\begin{aligned}K_{maks} &= 0,75 \times \left(\frac{\beta_1 \times 600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times 600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,3825\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{n1} &= 0,85 \times f_c' \times b \times d^2 \times K_{maks} \left(1 - \frac{K_{maks}}{2} \right) \\ &= 0,85 \times 20 \times 250 \times 445,5^2 \times 0,3825 \left(1 - \frac{0,3825}{2} \right) \\ &= 26093,36444 \quad \text{Kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{6191,41}{0,8} \\ &= 7739,2625 \quad \text{Kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s1} &= \frac{M_n}{f_y \times d \times \left(1 - \frac{K_{maks}}{2} \right)} \\ &= \frac{7739,2625}{400 \times 445,5 \times \left(1 - \frac{0,3825}{2} \right)} \\ &= 537,0040782 \quad \text{mm}^2\end{aligned}$$

Maka dilakukan tulangan tunggal karena $M_{n1} > M_n$

Hitung selisih momen

$$\begin{aligned}M_{n2} &= M_n - M_{n1} \\ &= 7739,2625 - 26093,36444 \\ &= -18354,10194 \quad \text{Kgm}\end{aligned}$$

Hitung tulangan tekan

$$\begin{aligned}A_{s'} &= \frac{M_{n2}}{(d - d') \times f_y} \\ &= \frac{-18354,10194}{(445,5 - 50) \times 400} \\ &= -1160,183435 \quad \text{mm}^2\end{aligned}$$

Hitung luas total tulangan tarik:

$$\begin{aligned}A_{st} &= A_{s1} + A_{s2} \\ &= 537,0040782 + -1160,183435 \\ &= -623,1793565 \quad \text{mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka dipakai dengan luas penulangan} &= 537,0040782 \quad \text{mm}^2 \\ \text{Tulangan tekan } 3 \text{ D } 13 (A_{s'} &= 397,995 \quad \text{mm}^2) \\ \text{Tulangan tarik } 4 \text{ D } 13 (A_{st}' &= 530,66 \quad \text{mm}^2)\end{aligned}$$

Check kondisi leleh tulangan tekan

$$\begin{aligned} As' &= 397,995 \text{ mm}^2 & \text{maka } \rho' &= \frac{As'}{b \times d} \\ & & &= \frac{397,995}{250 \times 445,5} \\ & & &= 0,004068016 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As &= 530,66 \text{ mm}^2 & \text{maka } \rho &= \frac{Ast}{b \times d} \\ & & &= \frac{530,66}{250 \times 445,5} \\ & & &= 0,005424022 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho - \rho' &> \left(\frac{0,85 \times fc'}{fy \times d} \right) \times \left(\frac{600}{600 - fy} \right) \beta_1 \times d' \\ 0,001191156 &> \left(\frac{0,85 \times 20}{400 \times 445,5} \right) \times \left(\frac{600}{600 - 400} \right) 0,85 \times 50 \\ 0,001191156 &< 0,0122 \text{ maka tulangan tekan belum leleh} \end{aligned}$$

Jika hanya memerlukan tulangan tunggal:

Menghitung nilai K perlu

$$\begin{aligned} k &= 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Mn}{0,85 \times fc' \times b \times d^2}} \\ &= 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 7739,2625}{0,85 \times 20 \times 250 \times 445,5^2}} \\ &= 0,096398246 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As1 &= \frac{Mn}{fy \times d \times \left(1 - K / 2 \right)} \\ &= \frac{7739,2625}{400 \times 445,5 \times \left(1 - 0,096398246 / 2 \right)} \\ &= 456,2950704 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{fy} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035 \end{aligned} \quad \begin{aligned} \rho &= \frac{Ast}{b \times d} \\ &= \frac{456,2950704}{250 \times 445,5} \\ &= 0,004096925 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,004096925 \times 250 \times 445,5 \\ &= 456,2950704 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{As}{At} \\ &= \frac{456,2950704}{132,7857143} \\ &= 3,44 = 4 \text{ buah} \\ \text{maka digunakan } &4 \quad D \quad 13 \end{aligned}$$

IV. KESIMPULAN

1. Pada desain awal digunakan kolom baja K1 H 250x250x9x14 setelah review desain bisa digantikan dengan menggunakan kolom 40/40 dengan 8 buah tulangan diameter 16 mm $f_y = 400$ MPa dan $f_c' = 20$ Mpa
2. Pada desain awal digunakan balok baja B1 WF 350x175x7x11 setelah review desain bisa digantikan dengan menggunakan balok 30/60 dengan 4 buah tulangan tumpuan dan 3 buah tulangan lapangan diameter 16 mm $f_y = 400$ MPa dan $f_c' = 20$ Mpa
3. Pada desain awal digunakan balok baja B1 WF WF 300x150x6.5x9 setelah review desain bisa digantikan dengan menggunakan balok 30/55 dengan 4 buah tulangan tumpuan dan 3 buah tulangan lapangan diameter 16 mm $f_y = 400$ MPa dan $f_c' = 20$ MPa
4. Pada desain awal digunakan balok baja B1 WF 250x125x6x9 setelah review desain bisa digantikan dengan menggunakan balok 25/50 dengan 5 buah tulangan tumpuan dan 4 buah tulangan lapangan diameter 13 mm $f_y = 400$ MPa dan $f_c' = 20$ Mpa

DAFTAR PUSTAKA

- AFIF. (2016). *PERENCANAAN STRUKTUR BAJA BANGUNAN ATAS GEDUNG AIR TRAFFIC CONTROL TOWER BANDARA SAMARINDA BARU*. Malang: PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1, FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN, INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG.
- BADAN STANDARDISASI NASIONAL. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung SNI 1726:2019*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Penelitian Masalah Bangunan. (1983). *PERATURAN PEMBEBANAN INDONESIA UNTUK GEDUNG 1983*. Bandung: Peratama (Sensil).
- FAHRIZAL DWI CAHYO. (2018). *PERENCANAAN ALTERNATIF STRUKTUR KOMPOSIT HOTEL NEO CONDOTEL*. Malang: UNIVERSITAS BRAWIJAYA, FAKULTAS TEKNIK.
- HENDRA PARLAUNGAN SAGALA. (2017). *DESAIN KOLOM BAJA MENGGUNAKAN PROFIL WIDE-FLANGE CONCRETE STEEL DAN CONCRETE-FILLED STEEL TUBE (CFTs)*. Medan: PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL, FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA.

UNTUK BUKU

Ir. v sunggono kh. (1984). *BUKU TEKNIK SIPIL*. Bandung: NOVA.

UNTUK WEBSITE

- Belajar Sipil. (2023). *Input Gempa Respon Spektrum di SAP2000*.
<https://www.youtube.com/watch?v=tRX9mylIIW8>.
- Desain Spektra Indonesia*. (2021).
rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/index.php?pga=0.0529&ss=0.1050&s1=0.0532&tl=12&kelas=5&range=6#grafik.