

## PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG PUBLIC LIBRARY AND SCIENCE CENTER MEDAN DENGAN OVAL OPENINGS - MRK

Irawati Putri Lumban Gaol<sup>1\*</sup>, Agus Sugiarto<sup>2</sup>, Taufiq Rochman<sup>3</sup>

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang<sup>1</sup>, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>2</sup>, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>3</sup>

Koresponden\*, Email: [irawati.lg21@gmail.com](mailto:irawati.lg21@gmail.com)<sup>1</sup>, [agussugiarto1030@polinema.ac.id](mailto:agussugiarto1030@polinema.ac.id)<sup>2</sup>, [taufiq.rochman@polinema.ac.id](mailto:taufiq.rochman@polinema.ac.id)<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Kini perpustakaan telah beralih fungsi dari tempat penyimpanan dokumen menjadi ruang multifungsi yang mendukung aktivitas belajar, bekerja, dan sosialisasi. Bukaan pada awalnya hanyalah bagian dari bangunan yang sengaja dibuka atau dilubangi untuk tujuan tertentu, namun saat ini bukaan juga didesain sedemikian rupa untuk menambah nilai estetika dan dapat memaksimalkan sirkulasi udara serta pencahayaan dalam usaha penerapan bangunan hijau. Salah satu bentuk bukaan yang menarik perhatian adalah *oval openings* yang memiliki desain yang dinamis, dan estetis. Studi ini menunjukkan bagaimana perencanaan dimensi dan penulangan elemen struktur yang detail untuk memastikan keamanan dan kestabilan bangunan khususnya perpustakaan di kota Medan, sebuah wilayah metropolitan dengan pertumbuhan pesat dan kebutuhan ruang publik yang tinggi. Tantangan utama yang dikaji adalah bagaimana merencanakan setiap elemen struktur akibat beban, terutama dalam menghadapi beban lateral seperti gempa, mengingat Medan termasuk daerah rawan gempa. Data primer berupa data perencanaan teknis dan denah, sedangkan data sekunder berupa data pengujian tanah. Perencanaan berpedoman pada SNI 2847:2019, SNI 1727:2020, SNI 1726:2019. Dari hasil analisis dan perhitungan didapatkan elemen struktur atas berupa kolom K1 berdimensi 1000×1000mm, kolom K2 900×900mm dan kolom K3 750×750mm. 7 tipe balok yaitu balok B1 800/1000mm, balok B1A dan B1B 600/900mm, balok B2A berdimensi 500/750mm, balok anak sekaligus ring balok B2B 500/750mm, balok bukaan B3 300/1200, dan balok B4 300/500mm. Pelat Lantai 160mm, dan pelat tangga 150mm. Untuk elemen struktur bawah terdiri dari fondasi *bored pile* dengan 4 jenis *pile cap* yaitu PC4 berdimensi 3500×3500×1000mm, PC6 berdimensi 3500×5500×1000mm, PC15 9500×5500×1000mm, dan PC18 berdimensi 11500×5500×1000mm. Fondasi menggunakan tiang bor berdiameter 800mm dengan kedalaman 25m. Lalu *tie beam* berdimensi 450/650mm.

**Kata kunci :** perencanaan, struktur beton, *bored pile*, bukaan

### ABSTRACT

*Libraries have now shifted in function from being document storage facilities to multifunctional spaces that support learning, working, and socializing activities. Openings were initially merely parts of a building that were intentionally opened or perforated for specific purposes. However, today, openings are also designed to enhance aesthetic value and can maximize air circulation and lighting as an implementation of green building principles. One type of opening that attracts attention is oval openings, which have a dynamic and aesthetic design. This study demonstrates the detailed planning of dimensions and reinforcement of structural elements to ensure the safety and stability of a building, specifically a library in the city of Medan, a metropolitan area with rapid growth and a high demand for public spaces. The main challenge examined is how to plan each structural element to withstand loads, particularly lateral loads such as earthquakes, given that Medan is an earthquake-prone region. Primary data consists of technical planning data and floor plans, while secondary data consists of soil testing data. The planning adhered to the Indonesian National Standards (SNI) 2847:2019, SNI 1727:2020, and SNI 1726:2019. From the analysis and calculations, the following upper structural elements were obtained: Column K1 with dimensions of 1000×1000mm, column K2 900×900mm, column K3 750×750mm. And 7 types of beam: B1 800/1000mm, B1A and B1B 600/900mm, B2A 500/750. Secondary beam (also ring beam) B2B 500/750mm. Opening beam B3 300/1200. Beam B4 300/500. Concrete slab 160mm and stair's slab 150mm. The lower structural elements consist of a bored pile foundation with 4 types of pile caps PC4 3500×3500×1000mm, PC6 3500×5500×1000mm, PC15 9500×5500×1000mm, PC18 11500×5500×1000mm. The foundation uses bored piles with a diameter of 800mm and a depth of 25m. Tie beams have dimensions of 450/650mm.*

**Keywords:** planning, concrete structure, *bored pile*, openings

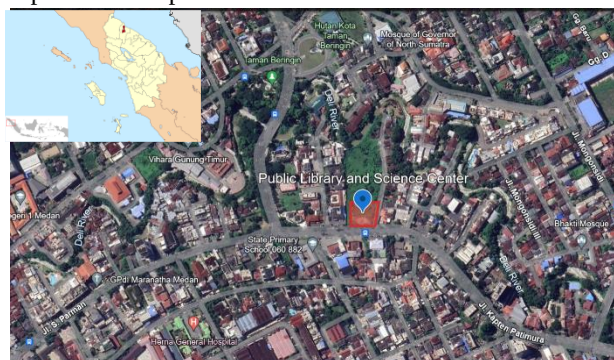
## 1. PENDAHULUAN

Perpustakaan telah berevolusi dari sekadar tempat menyimpan karya tulis menjadi ruang publik multifungsi yang strategis untuk belajar, bekerja, dan bersosialisasi. Perkembangan arsitektur turut memengaruhi bentuknya, di mana bukaan tidak hanya bernilai estetis seperti desain oval yang dinamis, tetapi juga berfungsi untuk sirkulasi udara dan pencahayaan alami dalam mendukung prinsip bangunan hijau. Sebagai kota metropolitan yang berkembang pesat dan terletak di daerah rawan gempa, Kota Medan membutuhkan ruang publik yang aman dan nyaman. Oleh karena itu, perencanaan struktur untuk *Public Library and Science Center* di kota tersebut menjadi tantangan tersendiri. Penerapan bukaan besar dapat memengaruhi stabilitas struktur terhadap beban lateral seperti gempa, sehingga perencanaan dimensi dan penulangan elemen strukturnya harus dirancang secara detail. Tujuannya adalah untuk mewujudkan sebuah wadah pendidikan yang tidak hanya multifungsi dan nyaman, tetapi juga aman, berkelanjutan, dan mampu menahan gaya gempa.

## 2. METODE

### A. Deskripsi Lokasi Studi

Lokasi rencana pembangunan Gedung *Public Library and Science Center* Medan berada di Jl. Kapten Pattimura No.133, Darat, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara ID 20152, lokasi strategis dekat dengan pusat kota, dekat dengan berbagai lokasi pendidikan dan perkantoran seperti terlihat pada Gambar 1 di bawah ini



Gambar 1. Lokasi Rencana

### B. Data – Data

Data - data yang digunakan untuk perencanaan berupa:

- |                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| 1) Fungsi Bangunan             | : Perpustakaan    |
| 2) Jumlah Lantai               | : 6 lantai        |
| 3) Tinggi Bangunan             | : 24,00 m         |
| 4) Tinggi Lantai 1-6 (tipikal) | : 4,00 m          |
| 5) Ukuran Bangunan             | : 27,00 x 42,00m  |
| 6) Jenis Konstruksi            | : Beton Bertulang |
| 7) Mutu Beton (fc)             | : 35 MPa          |
| 8) Mutu Baja (fy)              | : 420 MPa         |

- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| 9) Elastisitas Beton  | : $4.700\sqrt{f'_c}$  |
| 10) Elastisitas Baja  | : 200.000 MPa         |
| 11) Berat Jenis Beton | : $24 \text{ kN/m}^3$ |
| 12) Kebutuhan Ruangan | : Tabel 1             |

Tabel 1. Fungsi ruangan

| Jenis Kegiatan                                                                  | Ruangan                          |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Pelayanan informasi, registrasi, peminjaman dan pengembalian buku, titik kumpul | Ruang Informasi Lobby            |
| Penyimpanan barang pengunjung                                                   | Ruang Locker                     |
| Ruang pelayanan audio-visual anak                                               | Children Space                   |
| Metabolisme                                                                     | Toilet/Lavatory                  |
| Makan - minum                                                                   | Outdoor Foodcourt / Cafe, Pantry |
| Pembelian cendera mata, buku, dan ATK                                           | Outdoor store                    |
| Ruang staf dan karyawan                                                         | Ruang Staff                      |
| Administrasi dan pengarsipan                                                    | R. Arsip                         |
| Penyimpanan barang, penerimaan dan pengiriman barang                            | Gudang                           |
| Kebersihan                                                                      | Janitor                          |
| Keamanan dan monitoring                                                         | Pos Satpam                       |
| Ruang ibadah                                                                    | Mushola + R. Wudhu Pray Room     |
| Pertemuan formal/rapat                                                          | Ruang Rapat                      |
| Fasilitas diskusi, bekerja, membaca terbuka                                     | Co-working space                 |
| Ruang baca tertutup                                                             | Cubic Room                       |
| Ruang baca terbuka                                                              | Ruang baca/perpustakaan          |
| Ruang serbaguna, pelayanan seminar, talkshow, lomba, workshop, klub/komunitas   | Ruang Serbaguna                  |
| Mekanikal-elektrikal                                                            | Ruang Elektrikal                 |

Sumber : Data perencanaan

Data sekunder berupa hasil pengujian tanah, serta peraturan-peraturan terkait seperti SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 2847:2019.

### C. Pengolahan Data

Setelah data-data yang dibutuhkan didapatkan, dilakukan analisis dengan langkah-langkah berikut ini:

- 1) *Preliminary design* elemen struktur atas yang dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019
- 2) Analisis pembebanan dan penyusunan kombinasi beban berdasarkan SNI 1727:2020 untuk beban minimum bangunan gedung dan SNI 1726:2019 khusus untuk beban gempa
- 3) Pemodelan struktur secara 3D pada aplikasi Revit dan Robot Struktural Analysis Professional untuk dilakukan analisis awal struktur untuk pengecekan ada atau tidaknya ketidakberaturan pada struktur untuk mengetahui jenis analisis struktur yang diizinkan dilakukan sesuai SNI 1726:2019 untuk struktur tahan gempa.
- 4) Desain elemen struktur atas berupa balok, pelat, dan kolom berdasarkan nilai gaya-gaya dalam hasil analisis

struktur serta mengacu pada SNI 2847:2019 yaitu standar untuk struktur beton bangunan gedung.

- 5) Desain elemen struktur bawah yaitu menghitung daya dukung fondasi, menentukan konfigurasi dan kuat dukung kelompok tiang berdasarkan data pengujian tanah. Kemudian dilakukan Perencanaan dimensi dan penulangan elemen struktur bawah yaitu *pile cap*, tiang *bore pile* dan *tie beam* berdasarkan nilai gaya-gaya dalam hasil analisis struktur serta mengacu pada SNI 2847:2019.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Preliminary Design

*Preliminary design* elemen struktur atas yang dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019 menghasilkan:

**Tabel 2.** Dimensi Awal Elemen Struktur Atas

| Struktur          | Dimensi (mm) |           |
|-------------------|--------------|-----------|
|                   | Depth (h)    | Width (t) |
| Balok Utama (B1)  | 750          | 400       |
| Balok Anak (B2)   | 500          | 300       |
| Pelat             | 160          |           |
| Kolom K1          | 950          | 950       |
| Balok Bukaan (B3) | 1200         | 300       |
| Pelat Tangga      | 150          |           |

Sumber : hasil perhitungan

#### B. Analisis pembebanan

Berdasarkan SNI 1727:2020, beban yang bekerja pada bangunan gedung adalah beban mati akibat berat sendiri/*selfweight* (DL), beban mati tambahan/*super imposed dead load* (SDL), beban hidup/*live load* (LL), beban angin/*wind load* (W), dan beban gempa/*earthquake load* (E). Namun khusus beban gempa diatur pada SNI 1726:2019.

- 1) Beban mati akibat berat sendiri/*selfweight* (DL)  
Khusus untuk beban mati akibat berat sendiri akan langsung dihitung oleh aplikasi RSAP
- 2) Beban mati tambahan/*super imposed dead load* (SDL)  
Beban mati tambahan pada pelat lantai 2-6:  
 Berat keramik + spesi : 1,10 kN/m<sup>2</sup>  
 Berat plafon : 0,18 kN/m<sup>2</sup>  
 Berat instalasi MEP : 0,24 kN/m<sup>2</sup>  
 Total : 1,52 kN/m<sup>2</sup>  
 Beban mati tambahan pada pelat lantai toilet 2-6:  
 Berat keramik + spesi : 0,70 kN/m<sup>2</sup>  
 Berat plafon : 0,18 kN/m<sup>2</sup>  
 Berat instalasi MEP : 0,24 kN/m<sup>2</sup>  
 Total : 1,19 kN/m<sup>2</sup>  
 Beban mati tambahan pada pelat atap  
 Berat plafon : 0,18 kN/m<sup>2</sup>

Berat instalasi MEP : 0,24 kN/m<sup>2</sup>

Berat *waterproofing* : 0,07 kN/m<sup>2</sup>

Total : 0,49 kN/m<sup>2</sup>

Beban mati tambahan pada balok lantai 2-6:

Berat dinding bata ringan : 4,626 kN/m

Berat dinding partisi/kaca : 1,14 kN/m

Beban hidup/*live load* (LL)

Beban hidup yang akan digunakan dapat direduksi bila diizinkan dalam tabel 4.3-1 pada SNI 1727:2020 dan memenuhi nilai luas *tributary* > 37,16 m<sup>2</sup>. Beban hidup terdistribusi merata ruang baca perpustakaan:

$$L_0 = 2,87 \text{ kN/m}^2$$

$$K_L \times A_T = 1 \times 679,95 \text{ m}^2 > 37,16 \text{ m}^2$$

$$L = L_0 \left( 0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right)$$

$$L = 2,87 \text{ kN/m}^2 \left( 0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{679,95 \text{ m}^2}} \right) = 1,220 \text{ kN/m}^2$$

$$L = 1,220 \text{ kN/m}^2 > 0,4 L_0 = 1,148 \text{ kN/m}^2$$

#### 3) Beban angin/ *wind load* (W)

Parameter beban angin:

- Fungsi bangunan : Perpustakaan
- Lokasi : Medan
- Kategori risiko : II
- Kecepatan angin dasar,  $V$  : 40 m/s
- Faktor arah angin,  $K_d$  : 0,85
- Kategori eksposur tekanan : B
- Kategori topografi,  $K_{zt}$  : 1,00
- Faktor elevasi permukaan tanah,  $K_e$  : 1,00
- Faktor efek hembusan angin,  $G$  : 0,85
- Klasifikasi ketertutupan : tertutup
- Koefisien tekanan internal,  $GC_{pi}$  :  $\pm 0,18$

Dari parameter-parameter tersebut dihitung beban angin per satuan luas dan didapatkan hasil:

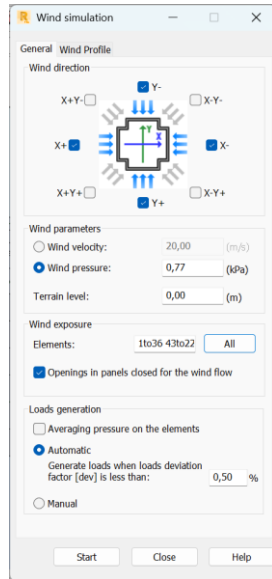
**Tabel 3.** Beban angin hasil perhitungan

| Story | Beban Angin (kN/m <sup>2</sup> ) |         |          |
|-------|----------------------------------|---------|----------|
|       | Windward                         | Leeward | Sideward |
| 1     | 0,50                             | -0,30   | -0,45    |
| 2     | 0,50                             | -0,30   | -0,45    |
| 3     | 0,54                             | -0,32   | -0,49    |
| 4     | 0,59                             | -0,35   | -0,53    |
| 5     | 0,63                             | -0,37   | -0,56    |
| 6     | 0,63                             | -0,37   | -0,56    |

Sumber : Hasil perhitungan

Karena tekanan angin pada semua sisi lebih kecil dari beban angin minimum 0,77 kN/m<sup>2</sup> maka beban angin yang dipakai adalah beban angin minimum 0,77 kN/m<sup>2</sup> di kali dengan luas dinding. Pada aplikasi *Robot Structural*

Analisisi Professional, beban angin diaplikasikan pada arah X dan Y



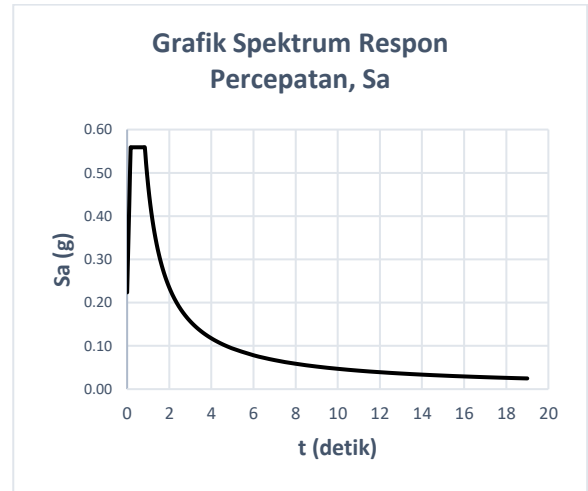
**Gambar 2.** Pengaplikasian Beban Angin Pada RSAP  
Setelah dilakukan simulasi didapatkan bahwa pada setiap sisi bangunan menerima tekanan maksimum 1,109kN/m<sup>2</sup>.

#### 4) Beban gempa/earthquake load (E)

Parameter – parameter percepatan gempa:

- Kategori risiko : IV
- Faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) : 1,5
- Percepatan batuan dasar periode pendek,  $S_S$  : 0,6587g
- Percepatan batuan dasar periode 1 detik,  $S_1$  : 0,3640g
- Koefisien Situs,  $F_a$  : 1,273
- Koefisien Situs,  $F_v$  : 1,936
- $S_{MS} = F_a S_S = 1,273 \times 0,6587g = 0,839g$
- $S_{M1} = F_v S_1 = 1,936 \times 0,3640g = 0,705g$
- $S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,839 = 0,559$
- $S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,705 = 0,470$
- $T_0 = \frac{0,2 S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times \frac{0,470}{0,559} = 0,168$  detik
- $T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,70}{0,559} = 0,840$  detik
- $T_L = 20$  detik
- Periode getar fundamental struktur,  $T_a = 0,814$  det

#### • Kurva Spektrum Respons Percepatan, $S_a$



**Gambar 3.** Grafik Spektrum Respons Percepatan

- Kategori desain seismik (KDS) : D
- Koefisien modifikasi respons,  $R$  : 8
- Faktor amplifikasi simpangan lateral,  $C_d$  : 5,5
- Faktor kuat lebih (*overstrength*),  $\Omega_0$  : 3
- Koefisien Respons Seismik,  $C_S$  : 0,105
- $C_{Smin} = 0,037 < C_S = 0,105 < C_{Smax} = 0,108$
- Ketidakberaturan Struktur

Melalui pengecekan dan *trial and error* dimensi elemen struktur atas didapatkan jenis dan dimensi baru elemen struktur atas sehingga tidak terjadi ketidakberaturan yaitu sebagai berikut:

**Tabel 4.** Dimensi Struktur Setelah Pengecekan Ketidakberaturan

| Struktur     | Lantai | Dimensi (mm) |           | Ket. |
|--------------|--------|--------------|-----------|------|
|              |        | Depth (h)    | Width (t) |      |
| Kolom        | 1 - 3  | 1000         | 1000      | K1   |
|              | 4 - 5  | 900          | 900       | K2   |
|              | 6      | 750          | 750       | K3   |
| Balok Arah X | 1 - 5  | 900          | 600       | B1A  |
|              | 6      | 750          | 500       | B2B  |
| Balok Arah Y | 1 - 3  | 1000         | 800       | B1   |
|              | 4 - 5  | 900          | 600       | B1B  |
|              | 6      | 750          | 500       | B2B  |
| Balok Anak   | 1 - 6  | 750          | 500       | B2A  |
| Pelat Lantai | 1 - 6  | 160          |           | S1   |
| Pelat Tangga | 1 - 6  | 150          |           | S2   |

Karena tidak ada ketidakberaturan maka struktur diizinkan dianalisis dengan metode statik ekuivalen.

- Gaya Geser Dasar Seismik,  $V$   
Perhitungan gaya geser dasar seismik menggunakan berat yang dihitung secara otomatis dari aplikasi RSAP dengan berat total bangunan  $W = 95493,37kN$   
 $V = C_S \times W = 0,105 \times 95493,37kN = 10009,51kN$

**Tabel 5.** Gaya Geser Seismik

| Lantai | $h_x(m)$ | $F_x(kN)$ | $V_x(kN)$ |
|--------|----------|-----------|-----------|
|--------|----------|-----------|-----------|

|   |       |           |          |
|---|-------|-----------|----------|
| 1 | 4,00  | 40038,05  | 10009,51 |
| 2 | 8,00  | 80076,10  | 9549,80  |
| 3 | 12,00 | 120114,16 | 8496,24  |
| 4 | 16,00 | 160152,21 | 6828,93  |
| 5 | 20,00 | 200190,26 | 4837,91  |
| 6 | 24,00 | 240228,31 | 2224,84  |

Sumber : Hasil perhitungan

#### 6) Serviceability Check

##### a. Simpangan Antar Tingkat

$$\Delta_{max} = \frac{\Delta_a}{\rho} = \frac{0,01 h_{sx}}{\rho} = \frac{0,01(4000mm)}{1,3} = 30,769mm$$

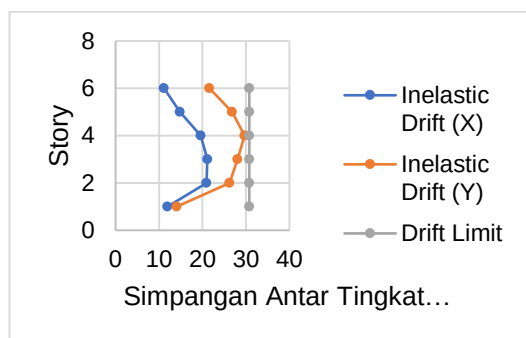
$$\Delta_{x1} = \frac{(\delta_1 - \delta_0) C_d}{I_e} = (3,266 - 0)mm \times \frac{5,5}{1,5}$$

$$\Delta_{x1} = 11,975mm$$

**Tabel 6.** Simpangan Antar Tingkat

| Story | Displacement          |                       | Elastic Drift         |                       | Inelastic Drift    |                    | Cek |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----|
|       | $\delta_{ex}$<br>(mm) | $\delta_{ey}$<br>(mm) | $\delta_{ex}$<br>(mm) | $\delta_{ey}$<br>(mm) | $\Delta_x$<br>(mm) | $\Delta_y$<br>(mm) |     |
| 1     | 3,27                  | 3,84                  | 3,27                  | 3,84                  | 11,98              | 14,07              | OK  |
| 2     | 8,97                  | 11,00                 | 5,70                  | 7,16                  | 20,90              | 26,24              | OK  |
| 3     | 14,73                 | 18,66                 | 5,76                  | 7,66                  | 21,12              | 28,10              | OK  |
| 4     | 20,07                 | 26,76                 | 5,34                  | 8,10                  | 19,58              | 29,69              | OK  |
| 5     | 24,11                 | 34,07                 | 4,05                  | 7,32                  | 14,83              | 26,83              | OK  |
| 6     | 27,16                 | 39,96                 | 3,04                  | 5,89                  | 11,16              | 21,59              | OK  |

Sumber : Hasil analisis RSAP dan perhitungan



**Gambar 4.** Simpangan Antar Tingkat

##### b. Pengaruh P-Delta

Koefisien stabilitas pada tingkat satu dapat dihitung:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} = \frac{35804,570kN \times \frac{11,975mm}{1000} \times 1,5}{1251,189kN \times 4m \times 5,5} = 0,023$$

Koefisien stabilitas pada tiap tingkat tidak boleh melebihi nilai maksimum:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} = \frac{0,5}{1 \times 5,5} = 0,091 \leq 0,25$$

$$\text{Kontrol : } \theta = 0,023 < \theta_{max} = 0,091$$

**Tabel 7.** Koefisien Stabilitas pada Tiap Tingkat Arah X

| Story | $h_{sx}$<br>(m) | $P_x$ (kN) | $\Delta$<br>(mm) | $\theta$ | $\theta_{max}$ | Ket. |
|-------|-----------------|------------|------------------|----------|----------------|------|
| 1     | 4               | 35804,57   | 11,98            | 0,023    | 0,09           | OK   |
| 2     | 8               | 36113,25   | 20,90            | 0,022    | 0,09           | OK   |
| 3     | 12              | 33345,59   | 21,12            | 0,015    | 0,09           | OK   |
| 4     | 16              | 30972,14   | 19,58            | 0,012    | 0,09           | OK   |
| 5     | 20              | 26343,21   | 14,83            | 0,009    | 0,09           | OK   |
| 6     | 24              | 10750,99   | 11,16            | 0,005    | 0,09           | OK   |

Sumber : Hasil perhitungan

**Tabel 8.** Koefisien Stabilitas pada Tiap Tingkat Arah Y

| Story | $h_{sx}$<br>(m) | $P_x$ (kN) | $\Delta$<br>(mm) | $\theta$ | $\theta_{max}$ | Ket. |
|-------|-----------------|------------|------------------|----------|----------------|------|
| 1     | 4               | 35804,57   | 14,07            | 0,014    | 0,09           | OK   |
| 2     | 8               | 36113,25   | 26,24            | 0,014    | 0,09           | OK   |
| 3     | 12              | 33345,59   | 28,10            | 0,010    | 0,09           | OK   |
| 4     | 16              | 30972,14   | 29,69            | 0,009    | 0,09           | OK   |
| 5     | 20              | 26343,21   | 26,83            | 0,008    | 0,09           | OK   |
| 6     | 24              | 10750,99   | 21,59            | 0,005    | 0,09           | OK   |

Sumber : Hasil perhitungan

#### 7) Kombinasi Beban

$$E_v = 0,2 \rho S_{DS} D = 0,2 (1,3) (S_{DS}) (DL + SIDL)$$

$$E_v = 2,6 S_{DS} (DL + SIDL)$$

$$E_h = \rho Q_E = 1,3 (E_x + E_y)$$

#### C. Desain Elemen Struktur Atas

##### Desain Balok

Balok di desain untuk menahan lentur dan geser. Desain balok meliputi:

##### a) Desain Balok

|                                           |                        |
|-------------------------------------------|------------------------|
| Tipe balok                                | : B1                   |
| Kuat tekan beton, $f'_c$                  | : 35 MPa               |
| Berat jenis beton                         | : 24 kN/m <sup>3</sup> |
| Tegangan leleh baja tulangan utama, $f_y$ | : 420 MPa              |
| Tegangan leleh baja tul. sengkang, $f_y$  | : 300 MPa              |
| Tinggi balok, $h$                         | : 1000 mm              |
| Lebar balok, $b_w$                        | : 800 mm               |
| Diameter tulangan utama, $d_b$            | : 19 mm                |
| Diameter tulangan sengkang, $d_s$         | : 10 mm                |
| Tebal selimut beton, $t$                  | : 40 mm                |
| Bentang balok, $l$                        | : 9000 mm              |
| Lebar kolom                               | : 1000 mm              |
| Young modulus, $E_s$                      | : 200000 MPa           |
| Tebal pelat lantai, $h_f$                 | : 160mm                |



Dari hasil analisis aplikasi didapatkan gaya-gaya dalam yaitu momen maksimum daerah lapangan 821,162kNm dan daerah tumpuan 1668,484kNm, kemudian gaya geser maksimum daerah lapangan 639,601kN dan daerah tumpuan 611,874kN.

Pada daerah tumpuan didesain sebagai balok persegi dengan tulangan tarik 20D19 di mana :

$$A_s = 5670,575\text{mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 5018,123\text{mm}^2, \text{ oke}$$

$$A_s = 5670,575\text{mm}^2 < A_{s\text{max}} = 22113,506\text{mm}^2, \text{ oke.}$$

Sedangkan pada tulangan tekan digunakan 10D19 dengan luas tulangan tekan  $A_s' = 2835,287\text{mm}^2 \geq A_s = 2835,287\text{mm}^2$ .

Dengan jumlah tulangan tersebut didapatkan nilai  $\phi M_n = 1861,536\text{kNm}$  sehingga *design capacity ratio*  $DCR = \frac{Mu_{\text{max}}}{\phi M_n} = \frac{1700\text{kNm}}{1861,536\text{kNm}} = 0,913 < 1,00$ .

Pada daerah lapangan didesain sebagai balok T-persegi dengan tulangan tarik 10D19 di mana :

$$A_s = 2835,287\text{mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 2649,559\text{mm}^2, \text{ oke}$$

$$A_s = 2835,287\text{mm}^2 < A_{s\text{max}} = 65835\text{mm}^2, \text{ oke.}$$

Sedangkan pada tulangan tekan digunakan 6D19 dengan luas tulangan tekan  $A_s' = 1701,172\text{mm}^2 \geq A_s = 1417,644\text{mm}^2$ .

Dengan jumlah tulangan tersebut didapatkan nilai  $\phi M_n = 1000,310\text{kNm}$  sehingga *design capacity ratio*  $DCR = \frac{Mu_{\text{max}}}{\phi M_n} = \frac{850\text{kNm}}{1000,310\text{kNm}} = 0,85 < 1,00$ .

Pada balok dengan  $h > 900\text{mm}$  harus didesain tulangan samping di sepanjang  $h/2$  dengan jarak maksimum terhitung 280mm. Pada balok B1 menggunakan tulangan samping D16-250mm.

Untuk tulangan geser menggunakan D10-150 pada daerah tumpuan dan D10-250mm pada daerah lapangan.

#### b) Desain Pelat Lantai

|                                             |                        |
|---------------------------------------------|------------------------|
| Tipe pelat                                  | : S1                   |
| Kuat tekan beton, $f'_c$                    | : 35 MPa               |
| Berat jenis beton                           | : 24 kN/m <sup>3</sup> |
| Tegangan leleh baja, $f_y$                  | : 420 MPa              |
| Tebal pelat, $h$                            | : 160 mm               |
| Lebar efektif pelat, $b_w$                  | : 1000 mm              |
| Diameter tulangan utama, $d_b$              | : 10 mm                |
| Tebal selimut beton, $t_s$                  | : 20 mm                |
| Bentang pelat arah x, $l_x$                 | : 4500 mm              |
| Bentang pelat arah y, $l_y$                 | : 6000 mm              |
| Young modulus, $E_s$                        | : 200000 MPa           |
| Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1$ | : 0,8                  |

Dari hasil analisis aplikasi didapatkan gaya-gaya dalam yaitu momen maksimum arah x daerah lapangan 21,884kNm dan daerah tumpuan 9,958kNm, kemudian momen maksimum arah y daerah lapangan 27,579kNm dan daerah tumpuan 14,999kNm.

Rasio dimensi pelat  $\frac{l_y}{l_x} = \frac{6000\text{mm}}{4500\text{mm}} = 1,3 < 2$ , sehingga pelat di analisis sebagai pelat dua arah. Pada penampang arah x digunakan tulangan lapangan D10-120mm, penampang arah y menggunakan tulangan D10-150mm. Pada daerah lapangan penampang arah x dan y digunakan tulangan D10-150mm. Lalu tulangan susut menggunakan tulangan D10-300mm.

#### c) Desain Kolom

|                                             |                        |
|---------------------------------------------|------------------------|
| Tipe kolom                                  | : K1                   |
| Kuat tekan beton, $f'_c$                    | : 35 MPa               |
| Berat jenis beton                           | : 24 kN/m <sup>3</sup> |
| Tegangan leleh baja tulangan lentur         | : 420 MPa              |
| Tegangan leleh baja tulangan transversal    | : 300 MPa              |
| Panjang kolom, $h$                          | : 1000 mm              |
| Lebar kolom, $b$                            | : 1000 mm              |
| Diameter tulangan lentur, $d_b$             | : 32 mm                |
| Diameter tulangan sengkang, $d_s$           | : 10 mm                |
| Tebal selimut beton, $t_s$                  | : 40 mm                |
| Tinggi kolom, $l_k$                         | : 4000 mm              |
| Lebar balok, $b_b$                          | : 800 mm               |
| Tinggi balok, $h_b$                         | : 1000 mm              |
| Panjang balok, $l_b$                        | : 9000 mm              |
| Young modulus, $E_s$                        | : 200000 MPa           |
| Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1$ | : 0,8                  |

Dari hasil analisis RSAP didapatkan gaya-gaya dalam maksimum pada setiap arah lentur dan aksial sebagai berikut ini:

**Tabel 9.** Gaya-gaya Dalam pada Kolom K1

| Posisi         | Komb. beban | Nomor | Pu      | Muy     | Muz    |
|----------------|-------------|-------|---------|---------|--------|
| Kolom atas     | 35          | 1409  | 4948,22 | 959,38  | 414,00 |
| Kolom ditinjau | 32          | 1377  | 6006,19 | 1388,48 | 500,53 |
| Kolom bawah    | -           | -     | 0,00    | 0,00    | 0,00   |

Sumber : Hasil analisis RSAP

Kolom direncanakan menggunakan tulangan 32D32 dan telah memenuhi  $0,01A_g = 10000\text{mm}^2 < A_{st} = 25735,93\text{mm}^2 < 0,06A_g = 60000\text{mm}^2$

**Gambar 5.** Join Kolom K1 yang Ditinjau

Untuk join kolom dengan aksial maksimum di dapatkan kuat lentur kolom di banding kuat lentur balok (*strong column weak beam*) yaitu:

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2) \Sigma M_{nb}$$

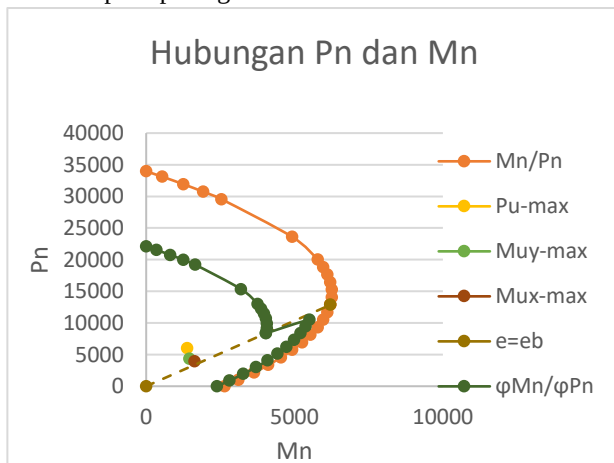
$$11996,58 \text{ kNm} \geq 3790,26 \text{ kNm}$$

**Tabel 10.** Gaya-Gaya Dalam Maksimum Kolom K1

| Kondisi | Kombinasi beban | Nomor | Mu      | Pu      | e      |
|---------|-----------------|-------|---------|---------|--------|
| Pu-max  | 35              | 1377  | 1388,48 | 6006,19 | 231,17 |
| Muy-max | 32              | 1369  | 1463,84 | 4350,83 | 336,45 |
| Mux-max | 39              | 1381  | 1636,10 | 3955,01 | 413,68 |

Sumber : Hasil analisis RSAP

Pada kondisi *balanced* didapatkan nilai eksentrisitas ( $e_b$ ) sebesar 482,84mm. Dengan mengambil nilai  $c$ , didapatkan hubungan antara aksial dan momen lentur kolom seperti pada grafik berikut ini:

**Gambar 6.** Hubungan  $P_n$  dan  $M_n$ 

Dari tabel dan grafik di atas disimpulkan kolom mengalami aksial dominan ( $e < e_b$ ), sehingga dapat dilakukan analisis lentur dua arah dengan persamaan *bresler*.

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_0}$$

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{21326,92 \text{ kN}} + \frac{1}{29746,22 \text{ kN}} - \frac{1}{39793,45 \text{ kN}}$$

$$\frac{1}{P_n} = 0,00005538 = 18058,02 \text{ kN}$$

Cek *Design Capacity Ratio* (DCR) :

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{6006,18 \text{ kN}}{11737,71 \text{ kN}} = 0,51 < 1,00$$

#### D. Desain Elemen Struktur Bawah

##### a) Daya Dukung Tiang Fondasi

Dari hasil pengujian tanah didapatkan daya dukung tiang tunggal pada kedalaman 25m adalah 961,29kN, sehingga fondasi di bagi menjadi empat tipe *pile cap* sesuai dengan jumlah tiang fondasi. Keempat tipe kelompok tiang tersebut memiliki kuat dukung dan penurunan sebagai berikut:

**Tabel 11.** Pile Group

| Kel. Tiang | $Q_g$ (kN) | $P_u$ (kN) | $Se_g$ (mm)  | Ket |
|------------|------------|------------|--------------|-----|
| PC4        | 3845,14    | 4557,67    | $36,49 < 80$ | Oke |
| PC6        | 5767,72    | 6482,42    | $36,49 < 80$ | Oke |
| PC15       | 10403,55   | 12985,50   | $47,77 < 80$ | Oke |
| PC18       | 11933,49   | 15449,45   | $47,77 < 80$ | Oke |

Sumber : Hasil analisis RSAP dan perhitungan

##### b) Desain Pile Cap

Properti *pile cap*:

Tipe *pile cap* = PC4

Jumlah *pile /pile cap* = 4

Jumlah *pile* arah x,  $n_x$  = 2

Jumlah *pile* arah y,  $n_y$  = 2

Bentang *pile cap* arah x,  $L_x$  = 3500mm

Bentang *pile cap* arah y,  $L_y$  = 3500mm

Bentang panjang tiang grup,  $L_g$  = 2800mm

Bentang pendek tiang grup,  $B_g$  = 2800mm

Tebal *pile cap*,  $h$  = 1000mm

Tebal selimut beton,  $t_s$  = 75mm

Diameter tulangan,  $d_b$  = 22mm

Jarak as tiang ke sisi luar *pile cap*,  $a$  = 750mm

Top of *pile cap*,  $z$  = -1500mm

Diameter tiang bor,  $D$  = 800mm

Properti material:

Kuat tekan beton,  $f'_c$  = 35 MPa

Tegangan leleh baja tulangan,  $f_y$  = 420 MPa

Modulus young baja,  $E_s$  = 200000 MPa

Berat jenis tanah,  $\gamma_s$  = 18,5kN/m<sup>3</sup>

Berat jenis beton,  $\gamma_c$  = 24kN/m<sup>3</sup>

Faktor modifikasi beton normal,  $\lambda$  = 1

Faktor distribusi tegangan beton,  $\beta_1$  = 0,8

Properti kolom:

Panjang kolom,  $b_x$  = 1000mm

Lebar kolom,  $b_y$  = 1000mm

$\beta = \frac{b_x}{b_y} = 1$

Setelah dilakukan analisis geser satu arah, geser dua arah dan lentur, dihasilkan desain penulangan yaitu pada penampang arah x digunakan tulangan tarik dan tekan D29-100mm, sedangkan pada penampang arah y menggunakan tulangan D29-200mm, serta tulangan susut pada kedua arah penampang D22-250mm.

c) Desain Tiang *Bored Pile*

Diameter *bore pile*,  $D = 800\text{mm}$   
 Kedalaman fondasi,  $H = 25000\text{mm}$   
 Luas Penampang  $A_g = 502654,82\text{mm}^2$   
 Keliling,  $p = 2513,27\text{ mm}$   
 Diameter tulangan,  $d_b = 22\text{ mm}$   
 Tebal selimut beton *pile cap*,  $t_s = 75\text{mm}$   
 Kuat tekan beton,  $f'_c = 35\text{ MPa}$   
 Tegangan leleh baja tulangan,  $f_y = 420\text{ MPa}$   
 Modulus young baja,  $E_s = 200000\text{ MPa}$   
 $\epsilon_{cu} = 0,003$   
 Faktor aman,  $\phi = 0,75$   
 Faktor distribusi teg. beton,  $\beta_1 = 0,8$   
 Pu/tiang  $= 1868,87\text{kN}$   
 Dari hasil Analisis, tiang fondasi menggunakan tulangan lentur 15D22 dan telah memenuhi:  
 $0,01A_g = 5026,55\text{mm}^2 < A_{st} = 5703,80\text{mm}^2 < 0,08A_g = 30159,29\text{mm}^2$   
 dan memenuhi:  
 $\phi P_n = 10952,18\text{kN} > 0,1A_g f'_c = 1759,29\text{kN}$   
 Sedangkan tulangan geser/transversal menggunakan D16-45mm (tumpuan) dan D16-75mm (selain tumpuan).

d) Desain *Tie Beam*

Tipe elemen struktur : TB  
 Kuat tekan beton : 35 MPa  
 Berat jenis beton :  $24\text{ kN/m}^3$   
 Tegangan leleh baja tul. lentur : 420 MPa  
 Tegangan leleh baja tul. transversal : 300 MPa  
 Faktor distribusi tegangan beton,  $\beta_1 = 0,8$   
 Tinggi balok,  $h = 650\text{ mm}$   
 Lebar balok,  $b_w = 450\text{ mm}$   
 Diameter tulangan lentur,  $d_b = 16\text{ mm}$   
 Diameter tulangan sengkang,  $d_s = 10\text{ mm}$   
 Tebal selimut beton,  $t_s = 75\text{ mm}$   
 Bentang balok,  $l = 9000\text{ mm}$   
 Lebar kolom K1 : 1000 mm  
 Young Modulus,  $E_s = 200000\text{ MPa}$   
 Tebal pelat lantai,  $h_f = 160\text{mm}$   
 $S_{DS} = 0,56$   
 Gaya aksial *tie beam* akibat beban gravitasi terfaktor harus lebih kecil dari  $0,1A_g f'_c$   
 $P_u = 0,1S_{DS} \cdot P_g = 0,1(0,56)(5686,82\text{kN}) = 317,913\text{kN}$   
 $0,1A_g f'_c = \frac{0,1(650\text{mm} \times 450\text{mm})(35\text{MPa})}{1000} = 1023,75\text{kN}$   
 $P_u = 317,913\text{kN} < 0,1A_g f'_c = 1023,75\text{kN}$ , Oke.

Kemudian dilakukan analisis sebagaimana balok dan didapatkan hasil tulangan tarik 6D22 dan tulangan tekan 4D22 pada daerah tumpuan dan lapangan. Sengkang menggunakan D10-120 (tumpuan) dan D10-200 (lapangan).

**Tabel 12.** Rangkuman Hasil Analisis dan Desain Tulangan

| Elemen Struktur |                       | Tumpuan   | Lapangan  |
|-----------------|-----------------------|-----------|-----------|
| Kolom K1        | Dimensi               | 1000/1000 | 1000/1000 |
|                 | Tul. Utama            | 32D32     | 32D32     |
|                 | Tul. Sengkang         | 5D10-100  | 5D10-150  |
| Kolom K2        | Dimensi               | 900/900   | 900/900   |
|                 | Tul. Utama            | 24D29     | 24D29     |
|                 | Tul. Sengkang         | 5D10-100  | 5D10-150  |
| Kolom K3        | Dimensi               | 750/750   | 750/750   |
|                 | Tul. Utama            | 24D25     | 24D25     |
|                 | Tul. Sengkang         | 4D10-100  | 4D10-150  |
| Balok B1        | Dimensi               | 800/1000  | 800/1000  |
|                 | Tul. Tekan            | 10D19     | 6D19      |
|                 | Tul. Tarik            | 20D19     | 10D19     |
| Balok B1A       | Tul. Samping          | D16-250   | D16-250   |
|                 | Tul. Sengkang         | D10-150   | D10-250   |
|                 | Dimensi               | 600/900   | 600/900   |
| Balok B1B       | Tul. Tekan            | 10D19     | 6D19      |
|                 | Tul. Tarik            | 20D19     | 10D19     |
|                 | Tul. Sengkang         | 3D10-100  | D10-110   |
| Balok B2A       | Dimensi               | 600/900   | 600/900   |
|                 | Tul. Tekan            | 7D16      | 4D16      |
|                 | Tul. Tarik            | 14D16     | 7D16      |
| Balok B2B       | Tul. Sengkang         | D10-150   | D10-250   |
|                 | Dimensi               | 500/750   | 500/750   |
|                 | Tul. Tekan            | 3D19      | 3D19      |
| Balok B3        | Tul. Tarik            | 6D19      | 5D19      |
|                 | Tul. Sengkang         | D10-150   | D10-250   |
|                 | Dimensi               | 500/750   | 500/750   |
| Balok B4        | Tul. Tekan            | 4D19      | 3D19      |
|                 | Tul. Tarik            | 8D19      | 5D19      |
|                 | Tul. Sengkang         | D10-150   | D10-250   |
| Balok B3        | Dimensi               | 300/1200  | 300/1200  |
|                 | Tul. Tekan            | 5D19      | 5D19      |
|                 | Tul. Tarik            | 5D19      | 5D19      |
| Balok B4        | Distribusi Vertikal   | D10-200   | D10-200   |
|                 | Distribusi Horizontal | D10-200   | D10-200   |
|                 | Dimensi               | 300/500   | 300/400   |
| Balok B4        | Tul. Tekan            | 3D19      | 3D19      |



| Elemen Struktur |            | Tumpuan | Lapangan |
|-----------------|------------|---------|----------|
|                 | Tul. Tarik | 4D19    | 4D19     |

**Tabel 13.** Rangkuman Hasil Analisis dan Desain Tulangan (lanjutan)

| Elemen Struktur |               | Tumpuan   | Lapangan  |
|-----------------|---------------|-----------|-----------|
| Balok B4        | Tul. Sengkang | D10-100   | D10-150   |
|                 | Dimensi       | 450/650   | 450/650   |
| Tie Beam        | Tul. Tekan    | 4D19      | 4D19      |
|                 | Tul. Tarik    | 6D19      | 6D19      |
|                 | Tul. Sengkang | D10-120   | D10-200   |
|                 | Tul. Tekan    | D10 - 150 | D10 - 150 |
| Pelat S1        | Tul. Tarik    | D10 - 120 | D10 - 150 |
|                 | Tul. Susut    | D10 - 300 | D10 - 300 |
|                 | Tul. Tekan    | D10 - 200 | D10 - 200 |
| Pelat S2        | Tul. Tarik    | D10 - 200 | D10 - 200 |
|                 | Tul. Susut    | D10 - 350 | D10 - 350 |
| Bored pile      | Dimensi       | 800       | 800       |
|                 | Tul. Utama    | 15D22     | 15D22     |

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan desain elemen struktur gedung *Public Library and Science Center Medan* pada pembahasan sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Proses perhitungan *preliminary design* menghasilkan dimensi elemen struktur atas dalam mm yaitu balok utama 400/750mm, balok anak 300/500mm, pelat lantai dan atap 160mm, balok pada bukaan 300/1200mm, dan kolom 950×950mm.
- Setelah dilakukan analisis pembebanan, dan pengecekan ketidakberaturan serta melakukan simulasi menggunakan aplikasi *robot struktural analysis professional* untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang digunakan dalam perhitungan kekuatan didapatkan dimensi dan tulangan elemen struktur atas yaitu sebagai berikut:

##### a) Balok

Terdapat variasi dimensi pada balok yaitu B1 (800/100mm), B1A dan B1B (600/900mm), B2A, dan B2B (500/750mm), B3 (300/1200mm) dan B4 (300/500mm). Penulangan melingkupi tulangan tekan, tarik serta sengkang pada daerah tumpuan dan lapangan yang diatur sedemikian rupa agar kuat menahan momen dan geser. Untuk balok B1 perlu adanya perkuatan pada bagian samping untuk mencegah retak yang disebut *skin reinforcement*. Sedangkan pada balok khusus seperti balok B3 (balok bukaan) yang ramping memerlukan

|  |  | Tul. Sengkang | D13-45 | D13-75 |
|--|--|---------------|--------|--------|
|--|--|---------------|--------|--------|

**Tabel 14.** Rangkuman Hasil Analisis dan Desain Tulangan (lanjutan)

| Elemen Struktur |            | Tumpuan   | Lapangan  |
|-----------------|------------|-----------|-----------|
|                 | Tul. Tekan | D29 - 200 | D29 - 200 |
| PC4             | Tul. Tarik | D29 - 100 | D29 - 100 |
|                 | Tul. Susut | D22 - 300 | D22 - 300 |
|                 | Tul. Tekan | D22 - 200 | D22 - 200 |
| PC6             | Tul. Tarik | D22 - 200 | D22 - 100 |
|                 | Tul. Susut | D22 - 200 | D22 - 200 |
|                 | Tul. Tekan | D22 - 250 | D22 - 250 |
| PC15            | Tul. Tarik | D22 - 200 | D22 - 150 |
|                 | Tul. Susut | D22 - 200 | D22 - 200 |
|                 | Tul. Tekan | D22 - 250 | D22 - 250 |
| PC18            | Tul. Tarik | D22 - 150 | D22 - 150 |
|                 | Tul. Susut | D22 - 200 | D22 - 200 |

Sumber : Hasil analisis dan perhitungan

perencanaan khusus berupa tulangan distribusi baik arah horizontal maupun vertikal.

##### b) Pelat

Pelat terdiri dari 2 tipe yaitu S1 (pelat lantai) dengan tebal 160mm dan S2 (pelat tangga) dengan tebal 150mm. Perkuatan berupa tulangan utama didesain untuk menahan momen arah x dan y serta didesain juga tulangan susut.

##### c) Kolom

Pada perencanaan ini digunakan tiga jenis kolom dengan dimensi yang berbeda-beda, yaitu: kolom K1 (1000/1000mm), kolom K2 (900/900mm) dan kolom K3 (750/750mm). Untuk menahan momen digunakan perkuatan tulangan 32D32 untuk K1, 24D29 untuk K2 dan 24D25 untuk K3. Untuk menahan geser digunakan tulangan transversal D10-100mm di daerah tumpuan dan D10-150mm pada daerah lapangan dengan jumlah yang berbeda pada setiap jenis kolom.

- Berdasarkan beban dan gaya-gaya dalam struktur atas bangunan serta kondisi tanah didapatkan dimensi dan penulangan elemen struktur bawah sebagai berikut:

##### a) Pile Cap

Dimensi *pile cap* didesain menyesuaikan beban di atasnya dan konfigurasi *pile group* di bawahnya dan didapatkan empat jenis *pile cap* dengan ketebalan

seragam 1000mm, yaitu: PC4 (3500/3500mm), PC6 (3500/5500mm), PC15 (5500/9500mm) dan PC18 (5500/11500mm).

b) *Bored pile*

Fondasi *bored pile* memiliki dimensi 800mm, dengan tulangan utama 15D22, dan tulangan sengkang spiral pada daerah kritis (tumpuan) yaitu

4m dari *pile cap* D16-45mm dan di luar daerah kritis D16-75mm.

c) *Tie Beam*

*Tie beam* didesain memiliki dimensi 450/650 dan berfungsi menyatukan *pile cap*/kepala fondasi. *Tie beam* diperkuat dengan menggunakan tulangan tarik, tekan, dan sengkang D10-120mm daerah tumpuan serta D10-200mm untuk daerah lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional (2019a) *SNI 1726 : 2019 "Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung."* Tersedia pada: [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id).
- [2] Badan Standarisasi Nasional (2019b) *SNI 2847 : 2019 "Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan."*
- [3] Badan Standarisasi Nasional (2020a) *SNI 1727 : 2020 "Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain."* Tersedia pada: [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id).
- [4] Badan Standarisasi Nasional (2020b) *SNI 1729 : 2020 "Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural."* Indonesia. Tersedia pada: [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id).
- [5] Das, B.M. dan Sivakugan, N. (2019) *Principles Of Foundation Engineering 9th Ed.* 9th Edition. Boston: Cengage Learning, Inc.
- [6] Dita Azizah, N. dkk. (2024) "PERANCANGAN STRUKTUR TAHAN GEMPA (SEISMIK) GEDUNG ESDM," *Jurnal Ilmiah Teknosains*, 10(1)
- [7] Holmes, J.D.. dan Weller, Richard. (2002) *Design wind speeds for the Asia-Pacific region.* Standards Australia International.
- [8] Mahmoud Ahmed, M., Gamal Abdel Al-Shafy, A. dan Abd Rb Al-Nabi Mohamed, A. (2017) *THE EFFECT OF CREATING SYMMETRICAL OPENINGS IN THE SLABS OF HIGH BUILDINGS ON THEIR STRUCTURAL BEHAVIOR.*
- [9] Rizal, Y. (2023) *PERENCANAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG PERPUSTAKAAN POLITEKNIK KESEHATAN JAMBI.* Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.
- [10] P. P. Raharjo, Manual Pondasi Tiang, Program Pasca Sarjana Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan, 2000.
- [11] Wight, J.K. (2016) *Reinforced Concrete Mechanics and Design.* Seventh. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- [12] F. H. Kulhawy, "Drilled Shaft Foundations," dalam *Foundation Engineering Handbook*, 2nd penyunt., H. Fang, Penyunt., New York, Chapman & Hall, 1991, pp. 537-551.