

## Perencanaan ulang berbasis BIM 5D pada struktur gedung rumah susun Pemerintah Kota Surakarta dengan *Dual System*

Gloria Kristanti Dewi <sup>a\*</sup>, Rifa Ghania Fazila <sup>b\*</sup>, Asri Nurdiana <sup>c\*</sup>, Bambang Setia Budi <sup>c</sup>

<sup>a\*</sup>,<sup>a</sup>Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

### ARTICLE INFO

#### Corresponding author:

Email:

[gloriakristanti11@gmail.com](mailto:gloriakristanti11@gmail.com)

#### Article history:

Received : 8 August 2025

Revised : 15 September 2025

Accepted : 25 September 2025

Publish : 30 September 2025

#### Keywords:

BIM 5D, Shear Wall, Dual System, SRPMK, Rumah Susun

### ABSTRAK

*The construction sector is one of the largest contributors to Indonesia's economic growth and requires continuous innovation to enhance efficiency, quality, and competitiveness. Building Information Modeling (BIM) provides a digital representation of building information, enabling more effective planning, execution, and project management. The redesign using a Dual System that integrates a Special Moment Resisting Frame and Shear Wall System, in compliance with SNI 1726:2019. The process involved preliminary design and structural analysis using SAP2000, 3D modeling and quantity take-off with Autodesk Revit, project scheduling with Microsoft Project, cost estimation (RAB), and BIM 5D integration through Autodesk Navisworks. The redesign resulted in 12 beam types, 3 column types, 2 floor slab types (100 mm and 120 mm thickness), and shear walls with 300 mm thickness. The project achieved a cost estimation of IDR 18,520,710,000 and a construction schedule of 35 weeks. The application of BIM and a Dual System structural approach provides a more efficient and cost-effective planning process. This integration improves accuracy in cost estimation and scheduling while supporting innovation and competitiveness within the Indonesian construction sector.*

Copyright © 2025 PILARS-UNDIP

## 1. Pendahuluan

BIM (*Building Information Modelling*) sangat berkembang pesat di negara-negara maju. Kemajuan teknologi informasi konstruksi tersebut membantu dalam meningkatkan efisiensi dalam tahap perencanaan proyek (Kristianto dkk., 2025). Konsep BIM menghadirkan perencanaan gedung yang tepat dan matang sebelum dimulai nya tahap pelaksanaan sebagai pemenuhan kriteria struktur bangunan gedung yang meliputi keselamatan (*safety*), kenyamanan (*serviceability*), kekuatan (*strenght*), dan umur rencana gedung (*durability*) (Aulya Reista dkk., 2022). Di Indonesia, penggunaan BIM masih kurang digunakan dibandingkan dengan perangkat lunak konvensional sebagai alat bantu perencanaan proyek pada perusahaan konstruksi. Hal ini seringkali menimbulkan gagal komunikasi antar pemangku proyek, sehingga meningkatkan potensi keterlambatan dalam masa pelaksanaan. Hingga hadirnya BIM, dinilai efektif dalam meminimalisir adanya keterlambatan proyek.

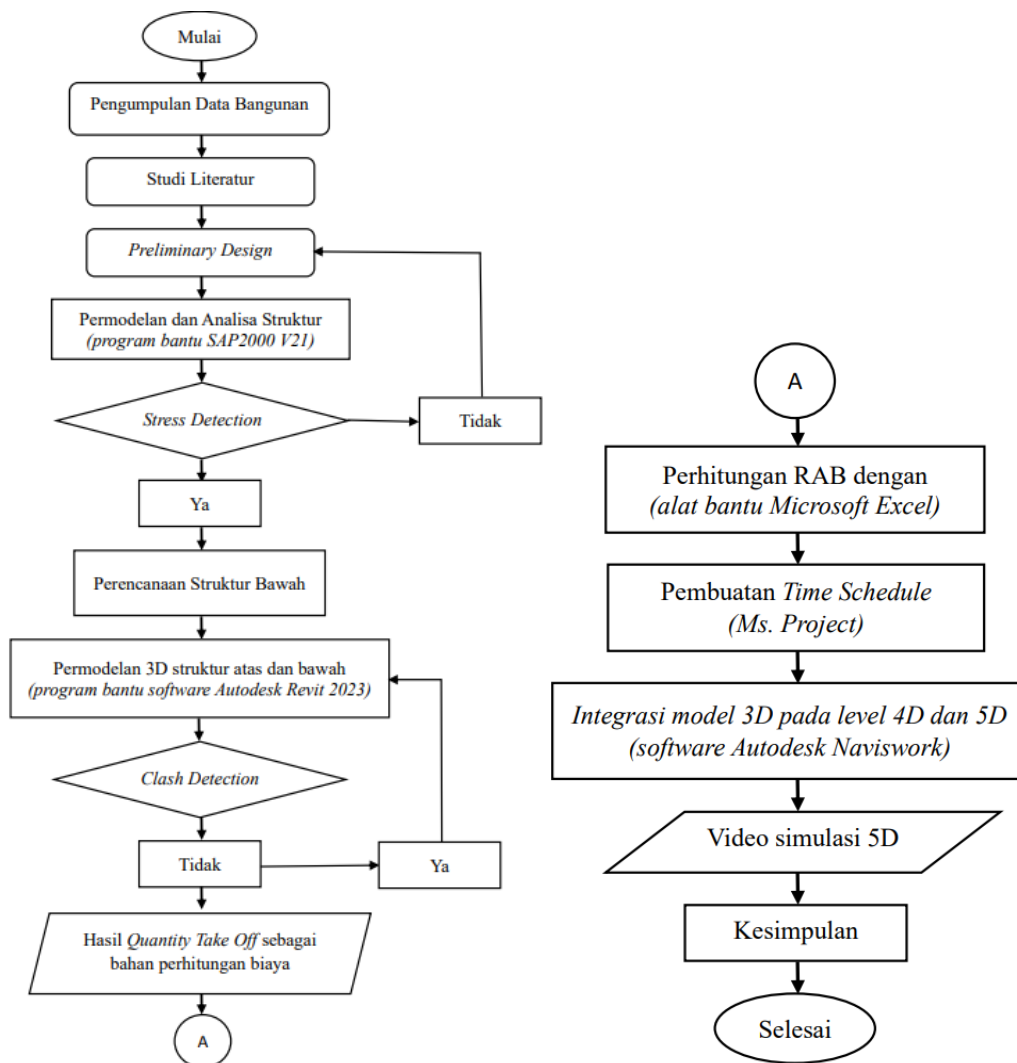
Selain melakukan perencanaan bangunan secara efektif, bangunan yang telah dibangun juga harus di desain dengan baik dalam segi ketahanan struktur. Indonesia merupakan negara yang berada di garis pertemuan tiga lempeng, sehingga menyebabkan Indonesia rentan terkena gempa bumi. Berdasarkan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung pada SNI 03-1726-2019, wilayah Surakarta masuk dalam bagian wilayah rawan gempa walaupun masih dalam skala kecil. Bangunan perlu direncanakan dapat bekerja secara daktilitas dalam merespon dan meredam getaran akibat gempa bumi sehingga dapat bertahan dari keruntuhan (Zulkarnaen dkk., 2021). Bangunan yang direncanakan ulang memiliki jumlah lantai 8 sehingga termasuk dalam bangunan tinggi dan perlu direncanakan untuk memiliki kemampuan dan stabilitas yang cukup dalam menahan gaya lateral. Pada

struktur gedung tahanan lateral dihasilkan oleh komponen vertikal yakni kolom dan pengaku lateral lainnya seperti shewarwall (Sipil dkk., 2021).

Bangunan Rumah Susun Pemerintah Kota Surakarta direncanakan dengan struktur beton bertulang yang berlokasi di Kota Surakarta, Jawa Tengah. Berdasarkan parameter percepatan respon spektral bangunan ini masuk dalam Kategori Desain Seismik D. Berdasarkan hal tersebut, Sistem Ganda sebagai salah satu alternatif sistem struktur yang memenuhi dalam memikul sebagian besar beban lateral (Trimurtiningrum dkk., 2021).

## 2. Data dan Metode

Metode Perencanaan Ulang Gedung Rumah Susun Pemerintah Kota Surakarta diawali dengan melakukan tahap *preliminary design*, dilanjut analisa struktur, kemudian desain penulangan elemen struktur serta desain struktur bawah, pembuatan model 3D dengan *Autodesk Revit* yang menghasilkan *Quantity Take Off* (QTO) untuk pembuatan RAB di *Microsoft Excel* dan penjadwalan di *Miscrosoft Project*, serta pembuatan video simulasi BIM 5D di *Autodesk Naviswork*. Adapun alur perencanaan ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1** Diagram Alir Perencanaan

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Preliminary Design

##### 3.1.1. Perhitungan Dimensi Balok

Balok merupakan elemen struktur vertikal yang mendistribusikan beban pelat ke kolom dengan kombinasi gaya lentur (SKD & Chairani, 2022). Berdasarkan SNI 2847:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019) Pasal 9.3.1.1 diatur mengenai tinggi minimum berdasarkan kondisi perletakan. Untuk menentukan lebar balok minimum ( $b_{min}$ ), terdapat pada Pasal 18.6.2.1 yaitu  $2/3$  dari tinggi balok. Hasil rekapitulasi *preliminary design* balok induk ditunjukkan pada Tabel 1, balok anak pada Tabel 2, balok kantilever Tabel 3, dan balok *tie beam* ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 1.** Rekapitulasi *Preliminary Design* Balok Induk

| Tipe | Ln<br>(mm) | b Min<br>(cm) | h Min<br>(cm) | b<br>(cm) | h<br>(cm) | Dimensi<br>(cm) | Syarat<br>Ln $\geq 4d$ | Syarat<br>b $\leq 250; 0,3h$ | Syarat<br>b $\leq C1; 0,75C1$ |
|------|------------|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| B1   | 5150       | 46,7          | 37,5          | 50        | 70        | 50 x 70         | OK                     | OK                           | OK                            |
| B2   | 3350       | 53,3          | 26,3          | 55        | 80        | 55 x 80         | OK                     | OK                           | OK                            |
| B3   | 1550       | 30,0          | 15,6          | 30        | 45        | 30 x 45         | OK                     | OK                           | OK                            |
| B4   | 2425       | 40,0          | 21,1          | 40        | 60        | 40 x 60         | OK                     | OK                           | OK                            |
| B5   | 3350       | 40,0          | 26,3          | 40        | 60        | 40 x 60         | OK                     | OK                           | OK                            |
| B6   | 3100       | 40,0          | 19,4          | 40        | 60        | 40 x 60         | OK                     | OK                           | OK                            |

**Tabel 1.** Rekapitulasi *Preliminary Design* Balok Anak

| Tipe | Ln<br>(mm) | b Min<br>(cm) | h Min<br>(cm) | b<br>(cm) | h<br>(cm) | Dimensi<br>(cm) | Syarat<br>Ln $\geq 4d$ | Syarat<br>b $\leq 250; 0,3h$ | Syarat<br>b $\leq C1; 0,75C1$ |
|------|------------|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| BA1  | 4200       | 33,3          | 20,0          | 30        | 45        | 30 x 45         | OK                     | OK                           | OK                            |
| BA2  | 6000       | 30,0          | 28,5          | 30        | 45        | 30 x 45         | OK                     | OK                           | OK                            |

**Tabel 2.** Rekapitulasi *Preliminary Design* Balok Kantilever

| Tipe | Ln<br>(mm) | b Min<br>(cm) | h Min<br>(cm) | b<br>(cm) | h<br>(cm) | Dimensi<br>(cm) | Syarat<br>Ln $\geq 4d$ | Syarat<br>b $\leq 250; 0,3h$ | Syarat<br>b $\leq C1; 0,75C1$ |
|------|------------|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| BK1  | 3650       | 36,7          | 45,6          | 40        | 55        | 40 x 55         | OK                     | OK                           | OK                            |
| BK2  | 1850       | 33,3          | 23,1          | 35        | 50        | 35 x 50         | OK                     | OK                           | OK                            |
| BK3  | 2750       | 30,0          | 45,0          | 30        | 45        | 30 x 45         | OK                     | OK                           | OK                            |
| BK4  | 3350       | 36,7          | 52,5          | 40        | 55        | 40 x 55         | OK                     | OK                           | OK                            |
| BK5  | 2275       | 33,3          | 39,1          | 35        | 50        | 35 x 50         | OK                     | OK                           | OK                            |
| BK6  | 1325       | 30,0          | 27,2          | 30        | 45        | 30 x 45         | OK                     | OK                           | OK                            |
| BK7  | 3650       | 30,0          | 17,4          | 30        | 45        | 30 x 45         | OK                     | OK                           | OK                            |
| BK8  | 2750       | 36,7          | 13,1          | 40        | 55        | 40 x 55         | OK                     | OK                           | OK                            |

**Tabel 4.** Rekapitulasi *Preliminary Design Tie Beam*

| Tipe | Ln<br>(mm) | b Min<br>(cm) | h Min<br>(cm) | b<br>(cm) | h<br>(cm) | Dimensi<br>(cm) | Syarat<br>Ln $\geq 4d$ | Syarat<br>b $\leq 250; 0,3h$ | Syarat<br>b $\leq C1; 0,75C1$ |
|------|------------|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| TB1  | 6000       | 36,67         | 37,50         | 40        | 55        | 40 x 55         | OK                     | OK                           | OK                            |
| TB2  | 4200       | 26,27         | 26,25         | 30        | 40        | 30 x 40         | OK                     | OK                           | OK                            |
| TB3  | 8400       | 40,00         | 52,50         | 45        | 60        | 45 x 60         | OK                     | OK                           | OK                            |

##### 3.1.2. Perhitungan Dimensi Pelat Lantai/Atap

Pelat merupakan elemen struktur yang menyalurkan beban ke balok dan diteruskan ke kolom (Tunas dkk., 2020). Perencanaan dimensi pelat mengacu pada SNI 2847:2019, dimulai dengan menentukan jenis pelat termasuk dalam pelat satu arah ( $L_y/L_x < 2$ ) atau termasuk pelat dua arah ( $L_y/L_x > 2$ ), kemudian menentukan nilai rasio kekakuan balok terhadap pelat ( $\alpha_{fm}$ ), dengan hasil perhitungan

dimensi pelat lantai dan atap yang ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Rekapitulasi *Preliminary Design* Pelat Lantai dan Atap

| Tipe Pelat | Ly (mm) | Lx (mm) | αfm   | Tipe Pelat   | h min 1 (mm) | h min 2 (mm) | h pakai (mm) | Syarat (h pakai > h min) |
|------------|---------|---------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------|
| S12        | 4200    | 3000    | 4,208 | Pelat 2 arah | 83,176       | 90           | 120          | Ok                       |
| S10        | 3000    | 2100    | 4,909 | Pelat 2 arah | 57,069       | 90           | 100          | Ok                       |

### 3.1.3. Perhitungan Dimensi Kolom

Kolom merupakan komponen struktur vertikal yang memikul beban tekan dari balok dan pelat untuk diteruskan ke pondasi (SKD & Chairani, 2022). Pada pasal 18 disyaratkan kolom harus dirancang lebih kuat dan kaku dibandingkan balok atau biasa disebut dengan “*Strong Column – Weak Beam*” yang dapat dihitung melalui Persamaan 1.

$$\frac{I_{Kolom}}{L_{Kolom}} > \frac{I_{Balok}}{L_{Balok}} \quad \text{Pers. 1)}$$

Melalui persamaan di atas, dapat diketahui batas minimum dimensi kolom berdasarkan kekakuan dan kekuatan kolom yang berlaku. Rekapitulasi *preliminary design* kolom ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 3.** Rekapitulasi *Preliminary Design* Kolom

| Tipe | Pu (N)   | Ag min (mm <sup>2</sup> ) | h min (mm) | h (mm) | b (mm) | Ag (mm <sup>2</sup> ) | Syarat (Ag min < Ag pakai) | Dimensi Kolom (mm) |
|------|----------|---------------------------|------------|--------|--------|-----------------------|----------------------------|--------------------|
| K1   | 5256160  | 450528                    | 671,21     | 950    | 950    | 902500                | Ok                         | 950 x 950          |
| K2   | 5839084  | 500493                    | 707,45     | 900    | 900    | 810000                | Ok                         | 900 x 900          |
| K3   | 2910834  | 249500                    | 499,50     | 850    | 850    | 722500                | Ok                         | 850 x 850          |
| K4   | 74286,60 | 90962,6                   | 301,60     | 400    | 400    | 160000                | Ok                         | 400 x 400          |

### 3.1.4. Perhitungan Dimensi Dinding Geser

Dinding geser disebut juga sebagai penahan gaya lateral akibat beban gempa dan beban angin serta beban gravitasi secara bersamaan (Kristianto dkk., 2025). Pada Pasal 11.3 SNI 2847:2019, disyaratkan tebal minimum dinding geser ialah nilai terbesar dari 1/25 tinggi dinding dan 1/25 panjang dinding. Hasil rekapitulasi perhitungan dimensi dinding geser ditunjukkan pada Tabel 7.

**Tabel 4.** Rekapitulasi *Preliminary Design* Dinding Geser

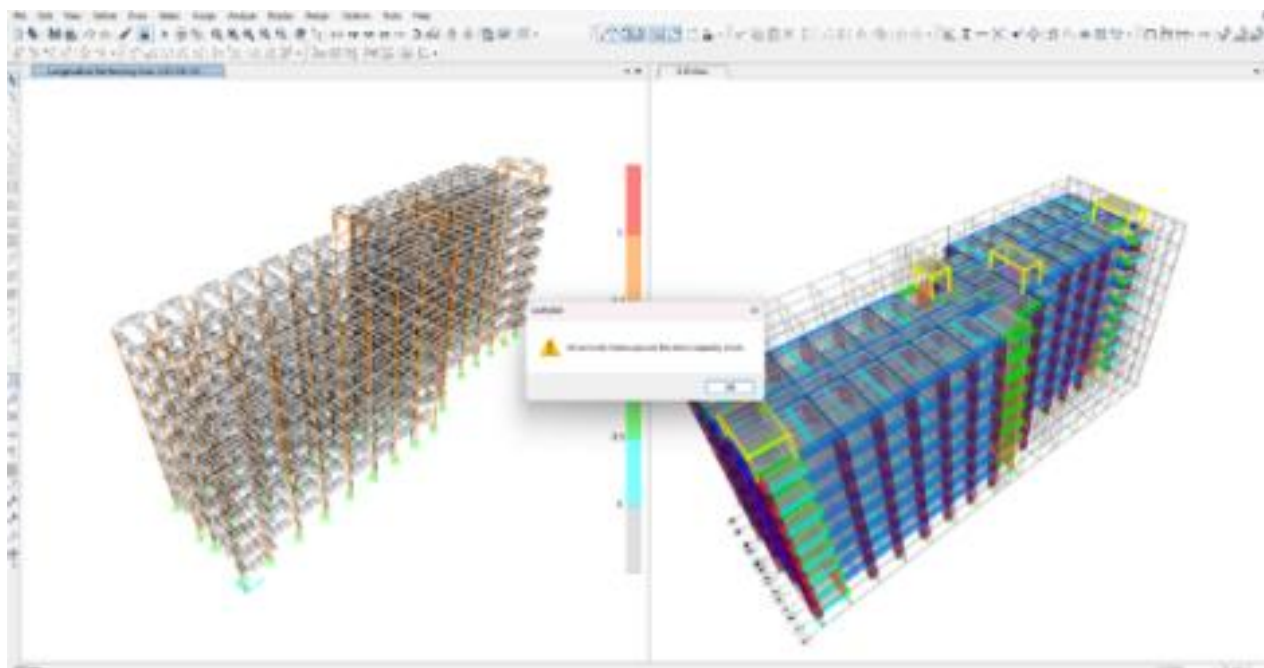
| Tipe | Bentang (mm) | Tinggi (mm) | Tebal min 1 (mm) | Tebal min 2 (mm) | Tebal pakai (mm) | Tebal min < tebal pakai |
|------|--------------|-------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|
| SW1  | 6000         | 3400        | 240              | 136              | 300              | Ok                      |

## 3.2. Hasil Analisa Struktur

Analisa struktur pada perencanaan ulang ini dilakukan menggunakan aplikasi SAP2000. Pada tahapan ini akan dilakukan beberapa pengecekan struktur sebagai berikut:

### 3.2.1. Kontrol Analisis Rasio Batang

Pemodelan analisa struktur dapat dikatakan memenuhi efisiensi struktur (batang), ketika semua batang tidak mengalami *overstressed* sesuai dengan hasil perencanaan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Kontrol *Overstressed* Batang Elemen Struktur

### 3.2.2. Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

#### A) Kontrol Jumlah Ragam Partisipasi Massa

Jumlah ragam partisipasi massa disusun dalam SNI 1726:2019 (Badan Standarisasi Nasional, 2019) Pasal 7.9.1.1. Pada tabel 8 terdapat hasil analisis struktur terhadap jumlah ragam partisipasi massa dimana jumlah ragam dengan respon total arah X dan Y telah melebihi 90% sesuai dengan yang disyaratkan. Hasil kontrol jumlah ragam design ditunjukkan pada Tabel 8.

**Tabel 8.** Kontrol Partisipasi Massa

| Output Case | Step Type | Step Number | Period (Sec) | Sum Ux | Sum Uy |
|-------------|-----------|-------------|--------------|--------|--------|
| Modal       | Mode      | 1           | 0,260771     | 0,002  | 0,785  |
| Modal       | Mode      | 2           | 0,187979     | 0,013  | 0,785  |
| Modal       | Mode      | 3           | 0,185807     | 0,843  | 0,787  |
| Modal       | Mode      | 4           | 0,099343     | 0,844  | 0,787  |
| Modal       | Mode      | 5           | 0,098293     | 0,844  | 0,793  |
| Modal       | Mode      | 6           | 0,098208     | 0,885  | 0,793  |
| Modal       | Mode      | 7           | 0,098159     | 0,885  | 0,793  |
| Modal       | Mode      | 8           | 0,098052     | 0,885  | 0,793  |
| Modal       | Mode      | 9           | 0,098008     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 10          | 0,09659      | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 11          | 0,09553      | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 12          | 0,095506     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 13          | 0,09545      | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 14          | 0,095402     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 15          | 0,095299     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 16          | 0,095257     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 17          | 0,092829     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 18          | 0,089715     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 19          | 0,086917     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 20          | 0,078182     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 21          | 0,069292     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 22          | 0,067019     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 23          | 0,062843     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 24          | 0,062824     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 25          | 0,062365     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 26          | 0,062284     | 0,885  | 0,794  |

| Output Case | Step Type | Step Number | Period (Sec) | Sum Ux | Sum Uy |
|-------------|-----------|-------------|--------------|--------|--------|
| Modal       | Mode      | 27          | 0,06182      | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 28          | 0,061496     | 0,885  | 0,794  |
| Modal       | Mode      | 29          | 0,060187     | 0,886  | 0,795  |
| Modal       | Mode      | 30          | 0,059819     | 0,886  | 0,795  |
| Modal       | Mode      | 31          | 0,059546     | 0,888  | 0,993  |
| Modal       | Mode      | 32          | 0,059424     | 0,924  | 0,996  |
| Modal       | Mode      | 33          | 0,059214     | 0,924  | 0,996  |
| Modal       | Mode      | 34          | 0,059197     | 0,928  | 0,996  |
| Modal       | Mode      | 35          | 0,059096     | 0,928  | 0,996  |

#### B) Kontrol Gaya Geser Statis dan Dinamis

Analisa kontrol gaya geser pada struktur, dikatakan memenuhi apabila gaya geser dinamik (VD) lebih besar dari gaya geser statik (VS). Hasil kontrol analisa gaya geser statik dan dinamik pada perencanaan ini ditunjukkan pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Kontrol Gaya Geser Statis dan Dinamis

| Geser Dasar | Dinamik (Vd)<br>Geser Dasar (kN) | Statik (Vs)<br>Geser Dasar (kN) | Kontrol<br>(Vd $\geq$ 100% Vs) |
|-------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Arah X      | 15464,016                        | 13540,33                        | Memenuhi                       |
| Arah Y      | 14497,790                        | 13541,33                        | Memenuhi                       |

#### C) Simpangan antar lantai

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1 mengenai batasan simpangan antar tingkat yakni simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ) untuk semua tingkat pada struktur. Hasil rekapan kontrol simpangan struktur pada perencanaan ini ditunjukkan pada tabel 10 dan tabel 11.

**Tabel 10.** Kontrol Simpangan Arah X

| Lantai      | Join | Hsx  | $\partial x$ | $\partial x$ Cd/l | $\Delta X$ | $\Delta a$ (Ijin) | Keterangan |
|-------------|------|------|--------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| <b>Atap</b> | 3296 | 3200 | 2,872        | 15,796            | 11,080     | 64,00             | Memenuhi   |
| <b>8</b>    | 2964 | 3600 | 0,857        | 4,716             | 0,496      | 72,00             | Memenuhi   |
| <b>7</b>    | 2764 | 3400 | 0,767        | 4,221             | 0,468      | 68,00             | Memenuhi   |
| <b>6</b>    | 2528 | 3400 | 0,682        | 3,752             | 0,468      | 68,00             | Memenuhi   |
| <b>5</b>    | 2310 | 3400 | 0,597        | 3,284             | 0,468      | 68,00             | Memenuhi   |
| <b>4</b>    | 2092 | 3400 | 0,512        | 2,816             | 0,468      | 68,00             | Memenuhi   |
| <b>3</b>    | 1874 | 3400 | 0,427        | 2,349             | 0,468      | 68,00             | Memenuhi   |
| <b>2</b>    | 1668 | 3400 | 0,342        | 1,881             | 0,467      | 68,00             | Memenuhi   |
| <b>1</b>    | 54   | 3600 | 0,257        | 1,414             | 1,414      | 72,00             | Memenuhi   |

**Tabel 11.** Kontrol Simpangan Arah Y

| Lantai      | Join | Hsx  | $\partial x$ | $\partial x$ Cd/l | $\Delta X$ | $\Delta a$ (Ijin) | Keterangan |
|-------------|------|------|--------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| <b>Atap</b> | 3296 | 3200 | 3,895        | 21,423            | 8,070      | 64,00             | Memenuhi   |
| <b>8</b>    | 2964 | 3600 | 2,428        | 13,353            | 1,732      | 72,00             | Memenuhi   |
| <b>7</b>    | 2764 | 3400 | 2,113        | 11,621            | 1,636      | 68,00             | Memenuhi   |
| <b>6</b>    | 2528 | 3400 | 1,816        | 9,986             | 1,636      | 68,00             | Memenuhi   |
| <b>5</b>    | 2310 | 3400 | 1,518        | 8,350             | 1,635      | 68,00             | Memenuhi   |
| <b>4</b>    | 2092 | 3400 | 1,221        | 6,715             | 1,635      | 68,00             | Memenuhi   |
| <b>3</b>    | 1874 | 3400 | 0,924        | 5,080             | 1,634      | 68,00             | Memenuhi   |
| <b>2</b>    | 1668 | 3400 | 0,627        | 3,446             | 1,629      | 68,00             | Memenuhi   |
| <b>1</b>    | 54   | 3600 | 0,330        | 1,817             | 1,817      | 72,00             | Memenuhi   |

#### D) Kontrol Sistem Ganda (*Dual System*)

Pada sistem struktur Dual System, disyaratkan bahwa Rangka Pemikul Momen Khusus harus memikul beban geser nominal dari seluruh total gaya yang bekerja pada struktur minimal 25% dari arah kerja gempa, dimana konfigurasi struktur sudah aman dan memenuhi standart yang berlaku,

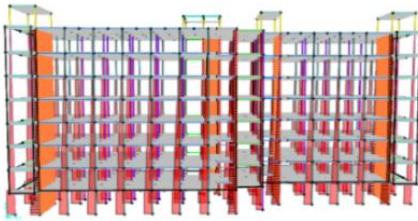
ditunjukkan pada Tabel 12.

**Tabel 12.** Kontrol *Dual Ssystem*

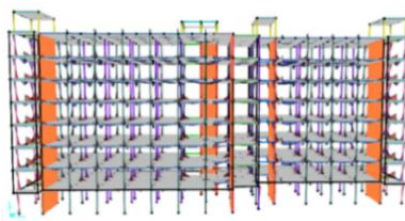
| Arah | SRPMK    | Shearwall | SRPMK % | SW % | Total % |
|------|----------|-----------|---------|------|---------|
| X    | 3501,263 | 7090,254  | 33      | 67   | 100     |
| Y    | 25717,65 | 23073,15  | 53      | 47   | 100     |

### E) Hasil Gaya Dalam Struktur Pada SAP2000

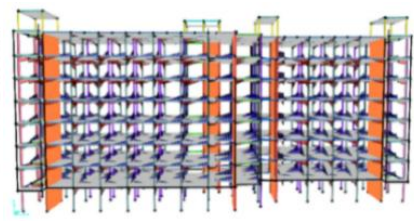
Berikut adalah hasil gaya dalam struktur pada SAP2000 digunakan untuk menghitung tulangan struktur. Di bawah ini terdapat hasil untuk gaya aksial pada gambar 3, gaya momen pada Gambar 4 dan gaya geser pada Gambar 5.



**Gambar 3.** Gaya Aksial



**Gambar 4.** Gaya Momen



**Gambar 5.** Gaya Geser

## 3.3. Perencanaan Tulangan Struktur

### 3.3.1. Penulangan Balok

Perhitungan tulangan lentur dihitung berdasarkan nilai terbesar dari  $A_s$  momen,  $A_s$  SAP2000, dan  $A_s$  min. Begitu juga dengan penulangan geser, diambil nilai terbesar dari  $A_v$  momen,  $A_v$  SAP2000, dan  $A_v$  min. Berikut hasil rekapitulasi perhitungan tulangan lentur dan geser yang sudah memenuhi syarat geometri dan gaya aksial sesuai SNI 2847:2019 yang ditunjukkan pada Tabel 13 sampai Tabel 16.

**Tabel 13.** Rekapitulasi Tulangan Longitudinal Balok

| Tipe | b<br>mm | h<br>mm | Daerah | As SAP2000<br>mm <sup>2</sup> | As Min 1<br>mm <sup>2</sup> | As Min 2<br>mm <sup>2</sup> | As Perlu<br>mm <sup>2</sup> | As Pasang<br>mm <sup>2</sup> | Dipakai Tul. |
|------|---------|---------|--------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|
| B1   | 500     | 700     | Tump.  | 1163                          | 1119,83                     | 1049,40                     | 1100,91                     | 1899,700                     | 5 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 830                           | 1119,83                     | 1049,40                     | 668,25                      | 1519,760                     | 4 D 22       |
| B2   | 550     | 800     | Tump.  | 1482                          | 1425,49                     | 1335,84                     | 1230,81                     | 2279,640                     | 6 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 485                           | 1425,49                     | 1335,84                     | 172,38                      | 1519,760                     | 4 D 22       |
| B3   | 450     | 300     | Tump.  | 306                           | 407,79                      | 382,14                      | 171,33                      | 803,840                      | 4 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 91                            | 407,79                      | 382,14                      | 97,66                       | 602,880                      | 3 D 22       |
| B4   | 400     | 600     | Tump.  | 259                           | 755                         | 707,52                      | 132,61                      | 1133,540                     | 4 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 105                           | 755                         | 707,52                      | 70,24                       | 850,155                      | 3 D 22       |
| B5   | 400     | 600     | Tump.  | 397                           | 755                         | 707,52                      | 244,59                      | 1133,540                     | 4 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 175                           | 755                         | 707,52                      | 139,48                      | 850,155                      | 3 D 22       |
| B6   | 400     | 600     | Tump.  | 213                           | 755                         | 707,52                      | 132,61                      | 1133,540                     | 4 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 79                            | 755                         | 707,52                      | 68,94                       | 850,155                      | 3 D 22       |
| BA1  | 300     | 450     | Tump.  | 227                           | 407,79                      | 382,14                      | 1,87                        | 602,880                      | 3 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 432                           | 407,79                      | 382,14                      | 520,39                      | 803,840                      | 4 D 22       |
| BA2  | 300     | 450     | Tump.  | 122                           | 407,79                      | 382,14                      | 34,03                       | 602,880                      | 3 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 159                           | 407,79                      | 382,14                      | 334,08                      | 803,840                      | 4 D 22       |
| BK1  | 400     | 550     | Tump.  | 970                           | 684,57                      | 641,52                      | 1021,194                    | 1133,540                     | 4 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 604                           | 684,57                      | 641,52                      | 140,291                     | 850,155                      | 3 D 22       |
| BK2  | 350     | 500     | Tump.  | 331                           | 537,38                      | 503,58                      | 178,381                     | 850,155                      | 3 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 126                           | 537,38                      | 503,58                      | 154,047                     | 566,770                      | 2 D 22       |
| BK3  | 300     | 450     | Tump.  | 557                           | 407,79                      | 382,14                      | 479,297                     | 803,840                      | 3 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 330                           | 407,79                      | 382,14                      | 353,418                     | 602,880                      | 4 D 22       |
| BK4  | 400     | 550     | Tump.  | 513                           | 684,57                      | 641,52                      | 357,203                     | 1133,540                     | 3 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 192                           | 684,57                      | 641,52                      | 193,553                     | 850,155                      | 3 D 22       |
| BK5  | 350     | 500     | Tump.  | 159                           | 537,38                      | 503,58                      | 87,126                      | 850,155                      | 3 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 65                            | 537,38                      | 503,58                      | 40,635                      | 566,770                      | 2 D 22       |
| BK6  | 300     | 450     | Tump.  | 182                           | 407,79                      | 382,14                      | 73,027                      | 850,155                      | 3 D 22       |

| Tipe | b<br>mm | h<br>mm | Daerah | As SAP2000<br>mm <sup>2</sup> | As Min 1<br>mm <sup>2</sup> | As Min 2<br>mm <sup>2</sup> | As Perlu<br>mm <sup>2</sup> | As Pasang<br>mm <sup>2</sup> | Dipakai Tul. |
|------|---------|---------|--------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|
| BK7  | 300     | 450     | Lap.   | 81                            | 407,79                      | 382,14                      | 40,480                      | 566,770                      | 2 D 22       |
|      |         |         | Tump.  | 289                           | 407,79                      | 382,14                      | 190,362                     | 803,840                      | 4 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 150                           | 407,79                      | 382,14                      | 153,776                     | 602,880                      | 3 D 22       |
| BK8  | 400     | 550     | Tump.  | 1012                          | 684,57                      | 641,52                      | 824,487                     | 1133,540                     | 4 D 22       |
|      |         |         | Lap.   | 328                           | 684,57                      | 641,52                      | 440,550                     | 850,155                      | 3 D 22       |

**Tabel 14.** Rekapitulasi Tulangan Longitudinal *Tie Beam*

| Tipe | b<br>mm | h<br>mm | Daerah | As Min 1<br>mm <sup>2</sup> | As Perlu<br>mm <sup>2</sup> | As Pasang<br>mm <sup>2</sup> | Dipakai Tul. |
|------|---------|---------|--------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|
| TB1  | 400     | 550     | Tump.  | 467,3                       | 561                         | 850,155                      | 3 D 19       |
|      |         |         | Lap.   | 420,6                       | 421                         | 850,155                      | 3 D 19       |
| TB2  | 300     | 400     | Tump.  | 250,5                       | 301                         | 850,155                      | 3 D 19       |
|      |         |         | Lap.   | 250,5                       | 251                         | 567,057                      | 2 D 19       |
| TB3  | 450     | 600     | Tump.  | 600,75                      | 901                         | 1133,540                     | 4 D 19       |
|      |         |         | Lap.   | 600,75                      | 601                         | 1134,115                     | 4 D 19       |

**Tabel 15.** Rekapitulasi Tulangan Geser Balok

| Tipe | b<br>mm | h<br>mm | Daerah | Av / S perlu<br>mm <sup>2</sup> | Dim<br>mm | Jumlah Kaki | Luas<br>mm <sup>2</sup> | Smax<br>mm <sup>2</sup> | Dipakai Tul. |
|------|---------|---------|--------|---------------------------------|-----------|-------------|-------------------------|-------------------------|--------------|
| B1   | 500     | 700     | Tump.  | 1,075                           | 13        | 2           | 265,465                 | 159                     | D13-100      |
|      |         |         | Lap.   | 0,94                            | 13        | 2           | 265,465                 |                         | D13-200      |
| B2   | 550     | 800     | Tump.  | 3,946                           | 13        | 2           | 265,465                 | 184                     | D13-100      |
|      |         |         | Lap.   | 1,014                           | 13        | 2           | 265,465                 |                         | D13-200      |
| B3   | 450     | 300     | Tump.  | 1,379                           | 10        | 2           | 157,080                 | 96,5                    | D13-90       |
|      |         |         | Lap.   | 1,146                           | 10        | 2           | 157,080                 |                         | D13-150      |
| B4   | 400     | 600     | Tump.  | 0,362                           | 10        | 2           | 157,080                 | 134                     | D13-100      |
|      |         |         | Lap.   | 0,31                            | 10        | 2           | 157,080                 |                         | D13-200      |
| B5   | 400     | 600     | Tump.  | 0,525                           | 10        | 2           | 157,080                 | 134                     | D13-100      |
|      |         |         | Lap.   | 0,433                           | 10        | 2           | 157,080                 |                         | D13-200      |
| B6   | 400     | 600     | Tump.  | 0,48                            | 13        | 2           | 265,465                 | 134                     | D13-100      |
|      |         |         | Lap.   | 0,368                           | 13        | 2           | 265,465                 |                         | D13-200      |
| BA1  | 300     | 450     | Tump.  | 0,212                           | 10        | 2           | 157,080                 | 96,5                    | D13-90       |
|      |         |         | Lap.   | 0,101                           | 10        | 2           | 157,080                 |                         | D13-150      |
| BA2  | 300     | 450     | Tump.  | 0,155                           | 10        | 2           | 157,080                 | 96,5                    | D13-90       |
|      |         |         | Lap.   | 0,09                            | 10        | 2           | 157,080                 |                         | D13-150      |
| BK1  | 400     | 550     | Tump.  | 0,722                           | 10        | 2           | 157,080                 | 121,5                   | D13-100      |
|      |         |         | Lap.   | 0,641                           | 10        | 2           | 157,080                 |                         | D13-200      |
| BK2  | 350     | 500     | Tump.  | 0,882                           | 10        | 2           | 157,080                 | 109                     | D13-100      |
|      |         |         | Lap.   | 0,81                            | 10        | 2           | 157,080                 |                         | D13-200      |
| BK3  | 300     | 450     | Tump.  | 1,015                           | 10        | 2           | 157,080                 | 96,5                    | D13-90       |
|      |         |         | Lap.   | 0,93                            | 10        | 2           | 157,080                 |                         | D13-150      |
| BK4  | 400     | 550     | Tump.  | 0,54                            | 10        | 2           | 157,080                 | 121,5                   | D13-100      |
|      |         |         | Lap.   | 0,429                           | 10        | 2           | 157,080                 |                         | D13-200      |
| BK5  | 350     | 500     | Tump.  | 0,297                           | 10        | 2           | 157,080                 | 109                     | D13-100      |
|      |         |         | Lap.   | 0,226                           | 10        | 2           | 157,080                 |                         | D13-200      |
| BK6  | 300     | 450     | Tump.  | 0,366                           | 10        | 2           | 157,080                 | 96,5                    | D13-100      |
|      |         |         | Lap.   | 0,292                           | 10        | 2           | 157,080                 |                         | D13-200      |
| BK7  | 300     | 450     | Tump.  | 0,413                           | 10        | 2           | 157,080                 | 96,5                    | D13-100      |
|      |         |         | Lap.   | 0,32                            | 10        | 2           | 157,080                 |                         | D13-200      |
| BK8  | 400     | 550     | Tump.  | 1,888                           | 10        | 2           | 157,080                 | 121,5                   | D13-100      |
|      |         |         | Lap.   | 1,78                            | 10        | 2           | 157,080                 |                         | D13-200      |

**Tabel 16.** Rekapitulasi Tulangan Geser *Tie Beam*

| Tipe | b<br>mm | h<br>mm | Daerah | Vu      | Av     | S max 1<br>mm <sup>2</sup> | S max 2<br>mm <sup>2</sup> | Dipakai Tul. |
|------|---------|---------|--------|---------|--------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| TB1  | 400     | 550     | Tump.  | 61873   | 157,08 | 125,13                     | 150,00                     | D10-100      |
|      |         |         | Lap.   |         | 157,08 | 244,50                     | 150,00                     | D10-100      |
| TB2  | 300     | 400     | Tump.  | 3810,24 | 157,08 | 75,13                      | 150,00                     | D10-100      |
|      |         |         | Lap.   |         | 157,08 | 75,13                      | 150,00                     | D10-100      |
| TB3  | 450     | 600     | Tump.  | 9434,88 | 157,08 | 137,63                     | 150,00                     | D10-100      |
|      |         |         | Lap.   |         | 157,08 | 137,63                     | 150,00                     | D10-100      |

### 3.3.2. Penulangan Pelat Lantai dan Atap

Penulangan pelat lantai ditentukan berdasarkan nilai  $\mu$  yang didapat dari SAP 2000. Berikut adalah rekapan hasil perhitungan tulangan pada pelat. Berikut adalah rekapitulasi perhitungan desain pelat lantai dan atap ditunjukkan pada Tabel 17.

**Tabel 17.** Rekapitulasi Tulangan Pelat Lantai dan Atap

| Tipe | Tebal mm | Tebal Efektif mm | Arah | Daerah | $\mu$ kNm | S mm | $S_{max} < 450$ | $S_{max} < 2h$ | $\phi$ mm | Dipakai  |
|------|----------|------------------|------|--------|-----------|------|-----------------|----------------|-----------|----------|
| S12  | 120      | 90               | X    | tum    | 16,37     | 100  | Ok              | Ok             | 10        | D10 -150 |
|      |          |                  |      | lap    | 9,116     | 100  | Ok              | Ok             | 10        | D10 -150 |
|      |          |                  | Y    | tum    | 6,90      | 100  | Ok              | Ok             | 10        | D10 -150 |
|      |          |                  |      | lap    | 4,08      | 100  | Ok              | Ok             | 10        | D10 -150 |
| S10  | 100      | 91               | X    | tum    | 5,746     | 80   | Ok              | Ok             | 10        | D8 -100  |
|      |          |                  |      | lap    | 1,154     | 80   | Ok              | Ok             | 10        | D8 -100  |
|      |          |                  | Y    | tum    | 1,484     | 80   | Ok              | Ok             | 10        | D8 -100  |
|      |          |                  |      | lap    | 1,204     | 80   | Ok              | Ok             | 10        | D8 -100  |

### 3.3.3. Penulangan Kolom

Perhitungan tulangan utama kolom didapatkan dari nilai  $A_s/A_v$  perlu pada *output* gaya aksial di SAP2000, kemudian dibandingkan dengan  $A_s$  pasang. Berikut adalah rekapan hasil perhitungan tulangan longitudinal kolom pada Tabel 18 dan tulangan geser kolom pada Tabel 19.

**Tabel 18.** Rekapitulasi Tulangan Longitudinal Kolom

| Tipe | Dimensi Kolom mm | $A_s$ Perlu mm <sup>2</sup> | $\phi$ mm | Luas mm <sup>2</sup> | n  | $A_s$ Pasang mm <sup>2</sup> | $A_s$ Pasang > $A_s$ Perlu | Dipasang | Cek Rasio Tul. | Cek Gaya Aksial | Syarat $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$ |
|------|------------------|-----------------------------|-----------|----------------------|----|------------------------------|----------------------------|----------|----------------|-----------------|-------------------------------------------|
| K1   | 950 x 950        | 23206                       | 32        | 804                  | 30 | 24127                        | Ok                         | 30 D 32  | 2,67%          | Ok              | Ok                                        |
| K2   | 900 x 900        | 19444                       | 32        | 804                  | 26 | 20910                        | Ok                         | 26 D 32  | 2,32%          | Ok              | Ok                                        |
| K3   | 850 x 850        | 19285                       | 32        | 804                  | 24 | 19302                        | Ok                         | 24 D 32  | 2,14%          | Ok              | Ok                                        |
| K4   | 400 x 400        | 1600                        | 19        | 284                  | 8  | 2552                         | Ok                         | 8 D 19   | 1,42%          | Ok              | Ok                                        |

**Tabel 19.** Rekapitulasi Tulangan Geser Kolom

| Tipe | Dimensi Kolom mm | $A_v/S$ Perlu mm <sup>2</sup> | $\phi$ mm | Jumlah Kaki | Luas mm <sup>2</sup> | S Perlu (SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3) | Spasi Max 1 mm <sup>2</sup> | Spasi Max 2 mm <sup>2</sup> | S Pasang mm | Dipasang   |
|------|------------------|-------------------------------|-----------|-------------|----------------------|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|------------|
| K1   | 950 x 950        | 1,643                         | 13        | 4           | 530,9                | 323                                    | 440,5                       | 600                         | 323         | 4D13 - 150 |
| K2   | 900 x 900        | 1,492                         | 13        | 4           | 530,9                | 356                                    | 415,5                       | 600                         | 356         | 4D13 - 150 |
| K3   | 850 x 850        | 2,498                         | 13        | 3           | 530,9                | 159                                    | 390,5                       | 600                         | 159         | 4D13 - 150 |
| K4   | 400 x 400        | 0,425                         | 13        | 2           | 265,5                | 625                                    | 168,75                      | 600                         | 168,75      | 2D13 - 100 |

### 3.3.4. Penulangan Dinding Geser

Pada SNI 2847:2019 diatur mengenai detail penulangan pada dinding geser. Tulangan minimum pada dinding geser diatur dalam Pasal 18.10.2.2, jika gaya geser ultimit ( $V_u$ ) >  $0,17ACV.\lambda.\sqrt{f_c}$  dan ketebalan dinding melebihi 250 mm maka diharuskan menggunakan tulangan dua lapis. Selain itu, rasio tulangan longitudinal dan transversal diatur dalam Pasal 18.10.2.1, dimana maksimum jarak tulangan sebesar 450 mm. Hasil rekapitulasi tulangan dinding geser ditunjukkan pada Tabel 20.

**Tabel 20.** Rekapitulasi Tulangan Dinding Geser

| Tipe | Tebal  | Tul. Longitudinal | Tul. Transversal | Elemen Batas Khusus |
|------|--------|-------------------|------------------|---------------------|
| SW1  | 300 mm | D19-200           | D16-200          | Tidak Perlu         |

### 3.4. Perencanaan Struktur Bawah

Dalam mendesain struktur bawah, perencanaan ini menggunakan nilai data N-Spt dan direncanakan kedalaman sedalam 14 m dengan jenis pondasi yaitu *bored pile*. Diawali dengan menentukan daya dukung pondasi dengan menggunakan metode meyerhoff. Kemudian, penentuan jumlah tiang pondasi, dihitung berdasarkan jumlah beban di atasnya dan daya dukung dari tiang tersebut ( $N_p = P_u/Q$  tiang). Selanjutnya ditentukan jumlah tiang pondasi pada pilecap dengan

menentukan terlebih dahulu jarak antar tiang. Pada SNI 2847:2019 Pasal 13.4.2.2 diatur terkait jarak antar tiang tidak boleh kurang dari  $2,5D$ . Pondasi yang direncanakan juga harus dihitung terhadap gaya geser satu arah dan gaya geser dua arah akibat beban kolom. Hasil rekapitulasi jumlah tiang pilecap pada perencanaan ini ditunjukkan pada Tabel 21.

**Tabel 21.** Rekapitulasi Jumlah Tiang Pilecap

| Tipe | Dimensi (cm) | Tebal Pilecap | n | Pu (Ton) | Kontrol Gaya Geser Satu Arah |        | Kontrol Gaya Geser Dua Arah ( $\phi V_c > V_u$ ) |
|------|--------------|---------------|---|----------|------------------------------|--------|--------------------------------------------------|
|      |              |               |   |          | Arah X                       | Arah Y |                                                  |
| PC1  | 360 x 160    | 600           | 2 | 509,85   | OK                           | OK     | OK                                               |
| PC2  | 360 x 333,3  | 800           | 3 | 713,79   | OK                           | OK     | OK                                               |
| PC3  | 160 x 760    | 1400          | 4 | 971,952  | OK                           | OK     | OK                                               |
| PC4  | 440 x 440    | 600           | 4 | 444,26   | OK                           | OK     | OK                                               |

Selanjutnya dapat dilakukan penulangan *pile cap*. Diawali dengan menentukan nilai momen ultimate ( $M_u = P_u \times (s/2 - (c/2))$ ), lalu diakhiri dengan mendapatkan nilai Momen Nominal ( $M_n$ ). Tulangan akan dikatakan aman jika nilai  $\phi M_n > M_u$ . Hasil perhitungan tulangan *pile cap* pada perencanaan ini ditunjukkan pada Tabel 22 dan Tabel 23.

**Tabel 22.** Rekapitulasi Tulangan Tarik Pilecap

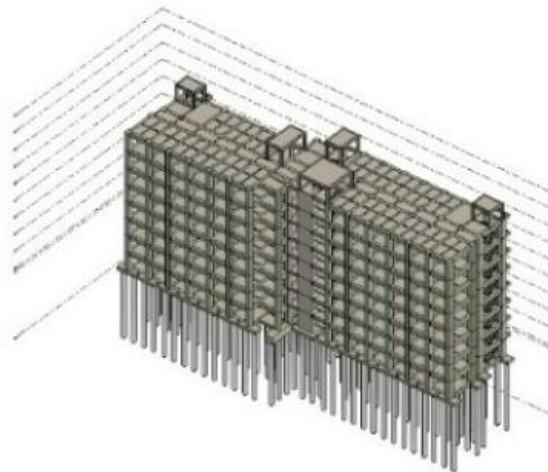
| Tipe | Dimensi cm  | As Perlu mm <sup>2</sup> | As min mm <sup>2</sup> | S mm | D  | As Pasang | As min < As Pasang | Dipakai |
|------|-------------|--------------------------|------------------------|------|----|-----------|--------------------|---------|
| PC1  | 360 x 160   | 1477,268                 | 3888                   | 150  | 19 | 7349,06   | OK                 | D19-150 |
| PC2  | 360 x 333,3 | 1910,038                 | 5184                   | 150  | 19 | 6804,69   | OK                 | D19-150 |
| PC3  | 160 x 760   | 1867,58                  | 4032                   | 150  | 22 | 10217,97  | OK                 | D22-150 |
| PC4  | 440 x 440   | 1268,60                  | 4752                   | 150  | 19 | 8316,84   | OK                 | D19-150 |

**Tabel 23.** Rekapitulasi Tulangan Tekan Pilecap

| Tipe | Dimensi cm  | As min mm <sup>2</sup> | S mm | D  | As Pasang | As min < As Pasang | Dipakai |
|------|-------------|------------------------|------|----|-----------|--------------------|---------|
| PC1  | 360 x 160   | 1469,812               | 150  | 13 | 3440,420  | OK                 | D13-150 |
| PC2  | 360 x 333,3 | 1360,938               | 150  | 13 | 3185,575  | OK                 | D13-150 |
| PC3  | 160 x 760   | 2043,594               | 150  | 13 | 1415,811  | OK                 | D13-150 |
| PC4  | 440 x 440   | 1663,368               | 150  | 13 | 3893,480  | OK                 | D13-150 |

### 3.5. Pemodelan 3D di Autodesk Revit

Pemodelan 3D dapat dilakukan setelah merencanakan hitungan elemen struktur atas maupun bawah. Pada perencanaan ini, aplikasi yang digunakan untuk membuat model 3D ialah Autodesk Revit. Gambar model 3D Gedung Rumah Susun Pemerintah Kota Surakarta ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Pemodelan 3D di Autodesk Revit

### 3.6. Pembuatan RAB (Rencana Anggaran Biaya) & Penjadwalan

Pada perencanaan ulang ini, QTO diketahui langsung dari *output* model 3D di *Autodesk Revit*. Hasil Rencana Anggaran Biaya pada perencanaan ulang Rumah Susun Pemerintah Kota Surakarta sebesar Rp. 18.520.710.000,- dengan tambahan PPN 12%. Untuk penjadwalan menggunakan aplikasi *Microsoft Project* dengan sistem zonasi. Sehingga, didapatkan durasi proyek sebanyak 35 minggu.

### 3.7. Integrasi BIM 5D di Autodesk Naviswork

Setelah dilakukan pemodelan 3D, penjadwalan (4D), dan pembuatan RAB (5D) dapat dilakukan integrasi BIM 5D menggunakan aplikasi *Autodesk Naviswork* dan dihasilkan video simulasi dengan visualiasi ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Tampilan Akhir Model 5D

## 4. Kesimpulan

Terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil dalam perencanaan ulang struktur Gedung Rumah Susun Pemerintah Kota Surakarta sebagai berikut:

- 1) Berdasarkan data seismik, proyek Pembangunan Rumah Susun Pemerintah Kota Surakarta termasuk kategori resiko II, kelas situs SD (Tanah Sedang), dan tergolong desain seismik D.
- 2) Analisa struktur bangunan yang dilakukan dengan aplikasi bantu SAP2000 sudah aman dalam menopang beban ter faktor sesuai dengan persyaratan.
- 3) Perhitungan anggaran biaya didapatkan dari perkalian antara volume *Quantity Take Off* dari *Autodesk Revit* dengan AHSP, sehingga didapatkan total RAB sebesar Rp.18.520.710.000,00
- 4) Penjadwalan pembangunan Rumah Susun Pemerintah Kota Surakarta, didapatkan durasi selama 35 minggu menggunakan aplikasi bantuan *Ms. Project* dan *Autodesk Naviswork*.
- 5) Integrasi BIM 5D pada *Autodesk Naviswork* dihasilkan sebuah video simulasi berisi proses konstruksi dari awal pembangunan hingga selesai, disertai dengan informasi bangunan yaitu harga dan juga pekerjaan yang dilakukan.

## Referensi

- Aulya Reista, I., Ilham, & Annisa. (2022). Implementasi Building Information Modelling (BIM) dalam Estimasi Volume Pekerjaan Struktural dan Arsitektural. *Journal of Sustainable Construction*, 2(1), 13–22.  
<https://journal.unpar.ac.id/index.php/josc>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Sni 2847-2019*, 8, 720.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726-2019\_Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.pdf*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *Standar Nasional Indonesia 1727 : 2020 Beban Desain Minimum dan*

*Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur. 8, 1–336.*

- Kristianto, T. B., Maryanto, & Frieda. (2025). Analisa Perbandingan Penempatan Dinding Geser pada Bangunan Gedung Bertingkat Menggunakan SNI 1726-2019. *Jurnal Teknika*, 8(2), 74–83.
- Sipil, T., Teknik, F., Mangkurat, U. L., Brigjen, J., & Basri, H. H. (2021). *PERILAKU SHEARWALL PELAT BERGELOMBANG TERHADAP BEBAN GEMPA LATERAL STATIK*. 10(1), 40–44.
- SKD, M. D., & Chairani, E. (2022). Analisa Struktur Balok Beton Pada Pembangunan Rumah Tempat Usaha 6 Lantai Di Jalan Perniagaan N0.55 Medan. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 28–34.  
<https://doi.org/10.30743/jtsip.v1i1.5773>
- Susilo, A. B., & Didiek, F. P. (2023). Perencanaan Struktur Gedung Tahan Gempa Menggunakan Metode Sistem Ganda (Dual System) Pada Studi Kasus Rusun Pik-Pulo Gadung. *Journal Of Social Science Research*, 3(5), 71–84.
- Trimurtiningrum, R., Andaryati, A., Sarya, G., Fitra Febrianno, G. R. R., & Fitriyati, E. N. (2021). Studi Perbandingan Perilaku Gedung Beton Bertulang Menggunakan Sistem Ganda Dengan Dinding Geser Dan Bresing Terhadap Beban Gempa. *Axial : Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 9(3), 133.  
<https://doi.org/10.30742/axial.v9i3.1761>
- Tunas, F., Tjakra, J., & Inkiriwang, R. L. (2020). Metode Pelaksanaan Pekerjaan Balok Dan Plat Lantai Dua Pada Pembangunan Mall Pelayanan Publik (Mpp) Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 8(6), 901–910.
- Zulkarnaen, L. V., Rosanti, I., & Ariyansyah, R. (2021). *ANALISIS STRUKTUR GEDUNG TAHAN GEMPA DENGAN METODE SISTEM GANDA ( DUAL SYSTEM ) digunakan yaitu horizontal utama*. 3(3).