

PERENCANAAN BANGUNAN TAHAN GEMPA BER-LAYOUT U PADA GEDUNG SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS NEGERI PADANG (UNP)

Fayer Mahival¹, Fajri Yusmar², Nevy Sandra³, Risma Apdeni⁴

^{1,2,3,4}Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: fayerdd9@gmail.com

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan struktur bangunan tahan gempa pada gedung Sekolah Vokasi Universitas Negeri Padang yang berlokasi di Tarok City, Kabupaten Padang Pariaman, Provinsi Sumatera Barat. Mengingat wilayah Sumatera Barat termasuk dalam zona rawan gempa, maka diperlukan perencanaan struktur yang memenuhi ketentuan bangunan tahan gempa. Proses perencanaan dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu: (1) pemilihan model *layout* bangunan dilatasi yang paling optimal dari segi efisiensi biaya dan kemampuan menahan gempa, (2) analisis struktur pada model terpilih berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019 untuk memastikan keamanan terhadap beban gempa, dan (3) merancang elemen struktur sesuai dengan SNI 2847:2019. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model bangunan B merupakan pilihan terbaik karena memenuhi kriteria efisiensi biaya dan ketahanan gempa. Selain itu, struktur yang telah dirancang telah memenuhi persyaratan SNI sehingga dinyatakan aman terhadap potensi gempa yang sewaktu-waktu akan terjadi.

Kata Kunci : struktur tahan gempa, *layout* bangunan, analisis struktur.

Abstract: This research aims to plan an earthquake-resistant building structure for the Vocational School building of Padang State University which is located in Tarok City, Padang Pariaman Regency, West Sumatra Province. Considering that the West Sumatra region is included in the earthquake-prone zone, it is necessary to plan structures that meet the requirements of earthquake-resistant buildings. The planning process is carried out through three stages, namely: (1) selecting the most optimal dilatation building layout model in terms of cost efficiency and ability to withstand earthquakes, (2) analyzing the structure of the selected model based on the provisions of SNI 1726: 2019 to ensure safety against earthquake loads, and (3) designing structural elements in accordance with SNI 2847: 2019. The results show that building model B is the best choice because it meets the criteria of cost efficiency and earthquake resistance. In addition, the structure that has been designed has met the requirements of SNI so that it is declared safe against potential earthquakes that will occur at any time.

Keyword : earthquake resistant structure, building layout, structural analysis.

PENDAHULUAN

Asia adalah benua dengan wilayah terluas di dunia, serta memiliki kondisi geologi yang kompleks. Salah satu ciri utamanya adalah aktivitas vulkanik dan seismik yang tinggi, sehingga kawasan ini disebut sebagai "Ring of Fire" atau Cincin Api Pasifik. Jalur ini membentang sekitar 40.000 kilometer mengelilingi Samudra Pasifik. Jalur ini melewati Asia Timur, Asia Tenggara, hingga bagian barat Amerika, hal ini yang membuat banyak negara di Asia menjadi sangat rawan terhadap bencana gempa bumi dan letusan gunung berapi. Terdapat lebih dari 450 gunung berapi, baik yang sedang aktif maupun tidak, dapat ditemukan

di sepanjang jalur tersebut, serta sekitar 81% gempa bumi paling dahsyat di dunia terjadi di sepanjang lintasan ini (Masum & Akbar., 2019). Sebagai bagian dari Asia Tenggara, Indonesia termasuk dalam kawasan cincin api dan memiliki ratusan gunung berapi aktif. Letak geografis Indonesia berada pada titik pertemuan tiga lempeng utama, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Pergerakan lempeng-lempeng tersebut yang memicu tingginya aktivitas vulkanik dan seismik. Kondisi geologis ini menyebabkan Indonesia memiliki banyak gunung berapi aktif dan sering mengalami gempa bumi.

Salah satu wilayah Indonesia yang terdampak oleh gempa bumi yaitu Provinsi Sumatera Barat, menurut data yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Padang Panjang, yang menyatakan bahwa wilayah Sumatera Barat telah mengalami terjadinya gempa bumi sebanyak 768 kali dalam kurun waktu satu tahun di tahun 2023 (Fadhilah & Yuliani., 2024). Tingginya frekuensi aktivitas seismik ini menunjukkan bahwa Sumatera Barat berada dalam zona rawan gempa yang memerlukan perhatian khusus. Provinsi Sumatera Barat merupakan daerah yang rawan terhadap berbagai jenis bencana alam. Salah satu Kabupaten di Sumatera Barat yang pernah mengalami bencana alam adalah Kabupaten Padang Pariaman, dimana gempa bumi berkekuatan 7,6 skala Richter mengguncang daerah tersebut pada tanggal 30 September 2009, menyebabkan banyak korban jiwa serta kerusakan harta benda (Gazali & Andy., 2017).

Daerah Tarok City, yang terletak di Kabupaten Padang Pariaman, tentunya juga termasuk wilayah rawan gempa. Oleh karena itu, perencanaan bangunan yang dirancang khusus untuk menahan gempa sangat diperlukan untuk meminimalkan risiko bencana. Tarok City direncanakan menjadi kawasan pendidikan terpadu, yang bertujuan untuk mendukung pembangunan di bidang pendidikan serta meningkatkan kesejahteraan ekonomi masyarakat. Kawasan ini akan dibangun sejumlah institusi pendidikan, termasuk kampus Universitas Negeri Padang (UNP), Politeknik Universitas Andalas (UNAND), Institut Seni Indonesia (ISI) Padang Panjang, dan Universitas Islam Negeri (UIN) Imam Bonjol Padang.

Universitas Negeri Padang (UNP) merupakan salah satu institusi perguruan tinggi di Sumatra Barat yang berencana akan membangun gedung sekolah vokasi yang berada di Tarok City, Kabupaten Padang Pariaman. Dalam diskusi bersama Ir. Faisal Ashar, ST.,MT.,Ph.D selaku tim perencana Sekolah Vokasi UNP, disampaikan bahwa perancangan sekolah vokasi baru sebatas diskusi dan perencanaan awal *desain* gambar bangunan, belum ada rencana komprehensif yang mencakup seluruh aspek dalam perencanaan pembangunan gedung Sekolah Vokasi UNP. Dalam pembangunan gedung, penting dilakukan analisis struktur yang baik untuk menghasilkan bangunan yang aman, nyaman, serta efisien dan ekonomis. Bangunan tersebut juga harus memenuhi standar SNI dan sesuai dengan fungsi yang diharapkan, tanpa mengabaikan nilai estetika. Perencanaan yang baik tentunya akan mencegah kegagalan struktur pada bangunan (Hayuningtyas

& Pratama., 2023). Setiap bangunan harus dirancang untuk mampu menahan berbagai beban dan gaya yang bekerja pada strukturnya, sehingga keamanannya terjaga sepanjang masa pemakaian.

Pada desain awal rencana gambar bangunan gedung Sekolah Vokasi UNP bangunan memiliki bentuk yang tidak simetris, yaitu memiliki bentuk bangunan seperti huruf U, bangunan yang berbentuk tidak simetris ini lebih rentan terhadap kerusakan akibat gempa karena bentuk ini cenderung menciptakan distribusi beban yang tidak merata saat bangunan mengalami getaran.



Gambar 1. Tampak Atas Bangunan

Syano dan Hidayat (dalam Muhammad, 2020) menyatakan bahwa bangunan yang memiliki bentuk yang tidak simetris cenderung memiliki pusat massa yang tidak terletak ditengah, sehingga saat terkena gaya horizontal akibat gempa, akan muncul efek torsi. Efek torsi yang timbul akibat gempa inilah yang mengakibatkan terjadinya puntir yang besar pada bangunan, semakin lama gempa terjadi, puntir dan deformasi yang terjadi pada bangunan juga akan semakin besar. Hal ini akhirnya menyebabkan elemen-elemen struktural, seperti kolom, balok, dan sambungan menjadi melemah, sehingga mengakibatkan kerusakan pada bangunan seperti timbulnya retak, deformasi permanen, atau bahkan keruntuhan sebagian atau seluruh bangunan (Hermawan, 2020). Dalam hal ini, Muhammad (2020) mengatakan cara mengurangi dampak torsi yang besar disebabkan oleh gempa bumi pada bangunan yang tidak simetris, bangunan tersebut dapat dibagi menjadi beberapa bagian agar bentuknya menjadi lebih simetris, hal ini dikenal dengan dilatasi. Mia Karlina Mierza dan Besman Surbakti (dalam Hermawan., 2022) berpendapat bahwa penerapan dilatasi dalam perencanaan bangunan, sangat tepat untuk bangunan yang tidak simetris, mendukung hal tersebut penelitian Paulay & Priestley (1992) menyatakan bahwa bangunan yang simetris umumnya menunjukkan performa struktural yang

lebih baik saat terkena gaya gempa dibandingkan bangunan yang tidak simetris.

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum no 29/PRT/M/2006, bangunan gedung yang berbentuk T, L, atau U harus menerapkan pemisahan struktur atau dilatasi. Hal ini bertujuan untuk mencegah benturan antar elemen struktur yang dapat terjadi akibat gempa atau penurunan tanah. Dilatasi dirancang untuk memisahkan bangunan dengan bentuk yang tidak beraturan menjadi bagian-bagian yang dapat berdiri sendiri secara terpisah, sehingga setiap bagian dapat bergerak bebas sesuai dengan gaya yang bekerja pada bangunan tanpa mentransfer deformasi ke bangunan lain. Hal inilah yang dapat mengantisipasi terjadinya benturan yang berpotensi menimbulkan kerusakan serius pada bangunan ketika terkena gaya vertikal maupun horizontal, seperti yang terjadi saat gempa bumi.

Didasari dengan permasalahan belum adanya perencanaan struktur gedung pada Sekolah Vokasi Universitas Negeri Padang dan juga mempertimbangkan bentuk bangunan gedung sekolah vokasi yang berbentuk tidak simetris sehingga berpotensi terjadinya keruntuhan yang diakibatkan oleh gempa, maka penelitian ini bertujuan untuk merencanakan struktur bangunan tahan gempa ber-*layout* U pada Gedung Sekolah Vokasi Universitas Negeri Padang.

METODE PENELITIAN

1. Studi Literatur

Studi literatur adalah aktivitas yang bertujuan untuk memperoleh berbagai teori dan informasi dari sumber-sumber relevan, seperti hasil studi, tesis, survei, buku, artikel, jurnal, serta referensi lainnya yang mendukung topik penelitian. Selain itu, studi literatur juga mencakup tinjauan terhadap penelitian-penelitian sebelumnya. Proses ini dilakukan sebelum peneliti melakukan perhitungan, di mana peneliti terlebih dahulu mengumpulkan dan mempelajari berbagai referensi yang akan menjadi dasar dalam melakukan perhitungan.

2. Pengumpulan Data

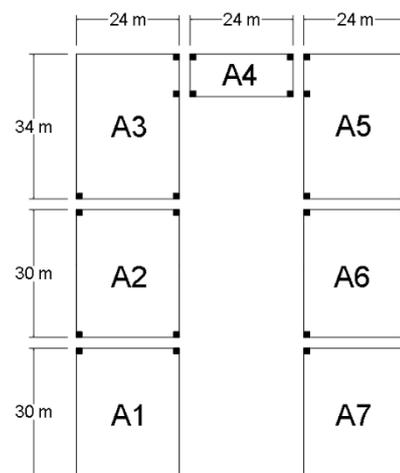
Pengumpulan data merupakan proses memperoleh informasi yang mendukung pelaksanaan penelitian, data tersebut berperan sebagai acuan untuk memudahkan peneliti dalam proses perencanaan struktur. Pada penelitian ini data yang dikumpulkan yaitu berupa gambar tampak dan denah Sekolah Vokasi Universitas Negeri Padang, data tanah dari lokasi pembangunan di kawasan Tarok

City berupa hasil pengujian Standard Penetration Test (SPT), dan deskripsi umum bangunan.

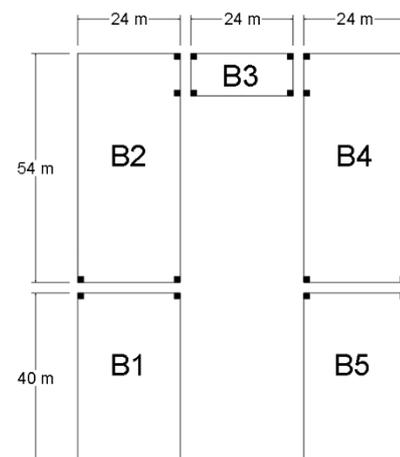
3. Pemodelan Struktur

Dalam penelitian ini, struktur dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi menggunakan *software* ETABS sebagai alat bantu analisis. ETABS (*Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems*) adalah salah satu perangkat lunak yang dirancang khusus untuk pemodelan dan analisis struktur gedung bertingkat.

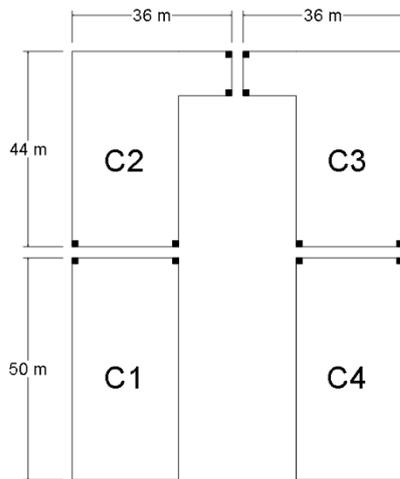
Peneliti nantinya akan membuat beberapa bentuk *layout* bangunan dilatasi yang berfungsi sebagai alternatif untuk menentukan desain mana yang paling optimal, baik dari segi kekuatan maupun efisiensi biaya dalam perencanaan bangunan. Berikut beberapa bentuk *layout* bangunan dilatasi yang nantinya akan direncanakan:



Gambar 2. Model Bangunan A



Gambar 3. Model Bangunan B



Gambar 4. Model Bangunan C

4. Pembebanan

Pada bagian ini, struktur bangunan diberikan berbagai jenis beban untuk mensimulasikan pengaruh gempa bumi. Beban yang dimasukkan antara lain.

- beban mati tambahan
- beban hidup
- beban gempa
- kombinasi beban

5. Validasi Struktur

Setelah proses pemodelan dan input beban struktur selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah validasi struktur. Proses validasi ini dilakukan dengan cara membandingkan gaya reaksi perletakan (*joint reaction*) dari hasil pemodelan ETABS dengan hasil perhitungan teoritis. Pada tahapan ini bertujuan untuk memastikan bahwa pemodelan yang dibuat sudah benar.

6. Analisis Struktur

Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan *software* ETABS untuk memudahkan perhitungan dan analisis reaksi perletakan dan gaya-gaya dalam yang bekerja akibat beban dan kombinasi beban.

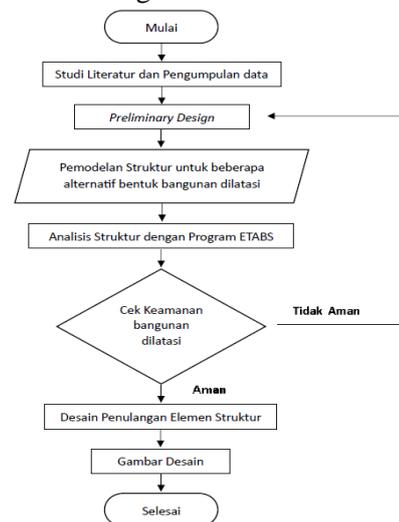
7. Menentukan Model *Layout* Dilatasi

Pemilihan model *layout* bangunan didasarkan pada dua kriteria, yaitu efisiensi biaya dan kemampuan bangunan dalam menahan gempa. Suatu *layout* dikatakan ekonomis jika jumlah dilatasi khususnya pemisahan dua kolom semakin sedikit, karena hal ini akan mengurangi biaya pembangunan. Dapat dilihat pada gambar 2, 3, dan 4 yang membahas 3 bentuk model *layout* bangunan diketahui bahwa model

bangunan yang paling ekonomis adalah bangunan C, kemudian bangunan B, lalu bangunan A.

Kemudian, suatu model bangunan dikatakan mampu menahan gempa apabila tidak mengalami torsi yang besar saat gempa terjadi. Oleh karena itu, bangunan yang mengalami ketidakberaturan torsi horizontal 1b dengan kategori desain seismik (KDS) D disarankan untuk tidak dibangun, karena bangunan dengan kondisi tersebut memiliki risiko tinggi mengalami keruntuhan saat gempa terjadi. Pernyataan ini didukung oleh SNI 1726-2019 pasal 7.3.3.1, yang membahas tentang ketidakberaturan horizontal dan vertikal pada struktur yang terlarang untuk kategori desain seismik D sampai F.

Pemilihan model *layout* dimulai dari bangunan C. Apabila bangunan C mengalami ketidakberaturan torsi 1b, maka dilanjutkan ke bangunan B. Jika bangunan B juga mengalami ketidakberaturan yang sama, maka bangunan A yang akan di pilih. Alur penelitian dapat dilihat berdasarkan diagram alir berikut:



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. *Preliminary Design*

Preliminary design adalah suatu tahapan analisa untuk memperkirakan dimensi struktur awal yang selanjutnya akan dilakukan perhitungan dengan bantuan *software* ETABS untuk memperoleh dimensi yang efisien dan kuat. Ukuran penampang yang digunakan dalam penelitian ini telah disesuaikan dengan ketentuan SNI 03-2847-2019 mengenai

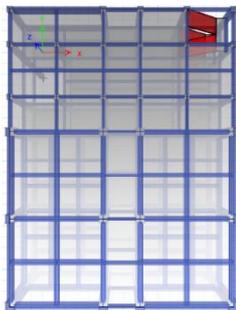
kualifikasi beton struktural untuk bangunan gedung, yaitu sebagai berikut:

Tabel 1. Preliminary Design Struktur

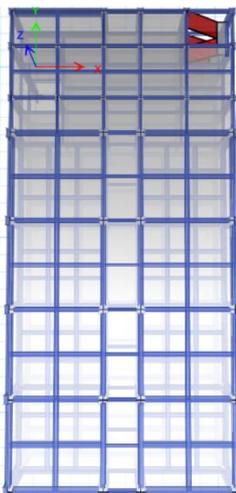
| Elemen Struktur | Dimensi (mm) |
|---------------------|--------------|
| Balok Induk Tipe 1 | 850 x 450 |
| Balok Induk Tipe 2 | 500 x 250 |
| Balok Anak Tipe 1 | 650 x 350 |
| Balok Anak Tipe 2 | 400 x 250 |
| Kolom Tipe 1 | 950 x 950 |
| Kolom Tipe 2 | 650 x 650 |
| Pelat Lantai Tipe 1 | 150 |
| Pelat Lantai Tipe 2 | 130 |
| Pelat Tangga | 120 |

2. Pemodelan Struktur

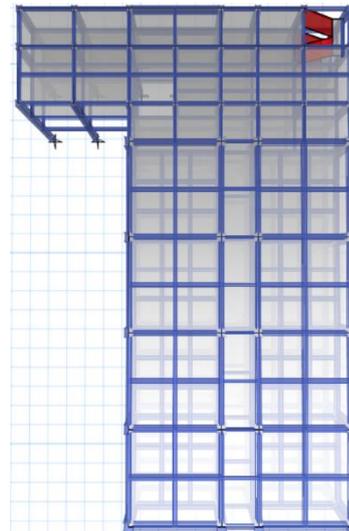
Penelitian ini melibatkan 3 tipe pemodelan struktur yang terdiri dari model yang berbentuk sebagai berikut:



Gambar 6. Model Bangunan A5



Gambar 7. Model Bangunan B4



Gambar 8. Model Bangunan C3

3. Pembebanan

a. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan yang digunakan:

Tabel 2. Beban Mati Tambahan

| Jenis Beban | Beban Mati Tambahan (kN/m ²) |
|--------------------------------|--|
| Keramik | 0,24 |
| Berat pasir tebal 1 cm | 0,16 |
| Berat pasir tebal 3 cm | 0,66 |
| Berat platfond dan penggantung | 0,2 |
| MEP | 0,25 |
| Total beban | 1,51 |

b. Beban Hidup

Beban hidup yang diterapkan dalam penelitian ini didasarkan pada ketentuan SNI 1727:2020 Pasal 4.3.1, sebagaimana ditampilkan dalam tabel 3.

Tabel 3. Beban Hidup

| Jenis Beban | Beban Hidup (kN/m ²) |
|--------------------------------|----------------------------------|
| Ruang kelas | 1,92 |
| Ruang laboratorium | 2,87 |
| Koridor di atas lantai pertama | 3,83 |
| Atap | 0,96 |
| Tangga | 4,79 |

c. Beban Gempa

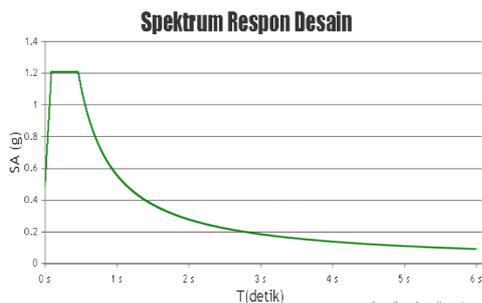
Fungsi bangunan = Gedung sekolah

Kategori risiko = IV

Faktor keuatamaan gempa (Ie) = 1,5

Koefisien modifikasi respon
 Model SRPMK (R) = 8
 Faktor kuat lebih sistem (Ω_0) = 3
 Faktor pembesaran defleksi (Cd) = 5,5
 Kategori desain seismik (KDS) = D
 Kelas situs tanah = Tanah keras (SC)
 Percepatan desain periode pendek (S_{DS})
 $S_{DS} = 1,21$ g
 Percepatan desain periode 1 detik (S_{D1})
 $S_{D1} = 0,56$ g
 Percepatan untuk getaran perioda pendek
 $F_a = 1,2$
 Percepatan untuk getaran perioda 1 detik
 $F_v = 1,4$

Untuk grafik respon spektrum dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik Respon Spektrum

d. Kombinasi Beban

Tabel 4. Kombinasi Beban

| No. | Kombinasi Beban |
|-----|-----------------------------|
| 1 | 1,4D |
| 2 | 1,2D + 1,6L |
| 3 | 1,442D + 1,3Qx + 0,39Qy + L |
| 4 | 1,442D + 1,3Qx - 0,39Qy + L |
| 5 | 1,442D - 1,3Qx + 0,39Qy + L |
| 6 | 1,442D - 1,3Qx - 0,39Qy + L |
| 7 | 1,442 + 0,39Qx + 1,3Qy + L |
| 8 | 1,442D + 0,39Qx - 1,3Qy + L |
| 9 | 1,442D - 0,39Qx + 1,3Qy + L |
| 10 | 1,442D - 0,39Qx - 1,3Qy + L |
| 11 | 0,658D + 1,3Qx + 0,39Qy |
| 12 | 0,658D + 1,3Qx - 0,39Qy |
| 13 | 0,658D - 1,3Qx + 0,39Qy |
| 14 | 0,658D - 1,3Qx - 0,39Qy |
| 15 | 0,658D + 0,39Qx + 1,3Qy |
| 16 | 0,658D + 0,39Qx - 1,3Qy |
| 17 | 0,658D - 0,39Qx + 1,3Qy |
| 18 | 0,658D - 0,39Qx - 1,3Qy |

Keterangan:

D = Beban mati
 L = Beban hidup
 Qx = Beban gempa arah X
 Qy = Beban gempa arah Y

4. Analisis Struktur

a. Pemeriksaan Jumlah Ragam

Menurut SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1 menyatakan bahwa analisis jumlah ragam harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari masa aktual yang dimodelkan. Untuk menjamin keamanan *layout* bangunan, mode 1 dan mode 2 (arah U_x dan U_y) harus menunjukkan gerakan translasi, sedangkan mode 3 (arah R_z) harus menunjukkan gerakan rotasi. Rasio partisipasi massa untuk masing-masing model yaitu Model Bangunan A, Model Bangunan B, dan Model Bangunan C disajikan pada tabel 5,6, dan 7.

Tabel 5. Partisipasi Modal Massa Bangunan A

| Mode | Periode (detik) | UX | UY | RZ |
|-------|-----------------|---------|---------|--------|
| 1 | 0,829 | 0,7884 | 0,0011 | 0,0023 |
| 2 | 0,798 | 0,0016 | 0,7692 | 0,0247 |
| 3 | 0,707 | 0,0011 | 0,0253 | 0,7743 |
| 4 | 0,228 | 0,1369 | 0,0028 | 0,0128 |
| 5 | 0,22 | 0,0041 | 0,1506 | 0,0008 |
| 6 | 0,199 | 0,0178 | 0,0016 | 0,1372 |
| 7 | 0,117 | 0,0326 | 0,0002 | 0,0133 |
| 8 | 0,11 | 0,0002 | 0,0488 | 0,0006 |
| 9 | 0,101 | 0,017 | 0,0001 | 0,0322 |
| 10 | 0,086 | 0 | 0,00003 | 0,0002 |
| 11 | 0,079 | 0,00007 | 0 | 0 |
| 12 | 0,07 | 0,00008 | 0,00001 | 0,0017 |
| 13 | 0,069 | 0,0001 | 0 | 0,0005 |
| 14 | 0,063 | 0,00003 | 0 | 0,0006 |
| 15 | 0,063 | 0,00001 | 0 | 0,0001 |
| SUM | | 0,9499 | 0,9507 | |
| > 90% | | OK | OK | |

Tabel 6. Partisipasi Modal Massa Bangunan B

| Mode | Periode (detik) | UX | UY | RZ |
|-----------|-----------------|---------|---------|--------|
| 1 | 0,861 | 0,7873 | 0,00002 | 0,0001 |
| 2 | 0,795 | 0,00009 | 0,7646 | 0,0345 |
| 3 | 0,756 | 0,0002 | 0,0347 | 0,7633 |
| 4 | 0,233 | 0,1492 | 0,0002 | 0,008 |
| 5 | 0,221 | 0,0008 | 0,15 | 0,0019 |
| 6 | 0,211 | 0,0115 | 0,0021 | 0,1431 |
| 7 | 0,126 | 0,0001 | 0,00003 | 0,0003 |
| 8 | 0,117 | 0,0318 | 0,0001 | 0,0144 |
| 9 | 0,112 | 0,0002 | 0,0479 | 0,0004 |
| 10 | 0,107 | 0,0175 | 0,0001 | 0,0232 |
| 11 | 0,103 | 0,0009 | 0 | 0,0072 |
| 12 | 0,094 | 0,00008 | 0 | 0,0001 |
| 13 | 0,083 | 0,0001 | 0,00006 | 0,0023 |
| 14 | 0,081 | 0,0001 | 0 | 0,0009 |
| 15 | 0,074 | 0,00006 | 0,0001 | 0,0002 |
| SUM > 90% | | 0,949 | 0,9516 | |
| | | OK | OK | |

Tabel 7. Partisipasi Modal Massa Bangunan C

| Mode | Periode (detik) | UX | UY | RZ |
|-----------|-----------------|---------|--------|---------|
| 1 | 0,941 | 0,7604 | 0,0024 | 0,0215 |
| 2 | 0,873 | 0,0115 | 0,6582 | 0,1266 |
| 3 | 0,807 | 0,0144 | 0,1353 | 0,6465 |
| 4 | 0,242 | 0,1616 | 0,0001 | 0,0002 |
| 5 | 0,233 | 0,0001 | 0,1484 | 0,0053 |
| 6 | 0,219 | 0,0001 | 0,0056 | 0,1482 |
| 7 | 0,169 | 0,00002 | 0 | 0,00006 |
| 8 | 0,135 | 0,0001 | 0,001 | 0,0003 |
| 9 | 0,117 | 0,0001 | 0,0027 | 0 |
| 10 | 0,114 | 0,0487 | 0,0004 | 0,0012 |
| 11 | 0,112 | 0,0003 | 0,0441 | 0,00005 |
| 12 | 0,107 | 0,0013 | 0,0001 | 0,045 |
| 13 | 0,083 | 0,0001 | 0,0007 | 0,0023 |
| 14 | 0,081 | 0,0001 | 0 | 0,0009 |
| 15 | 0,074 | 0,0006 | 0,0001 | 0,0002 |
| SUM > 90% | | 0,9491 | 0,9516 | |
| | | OK | OK | |

b. Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.4.1, jika nilai $V_{dinamik}$ kurang dari V_{statik} , maka faktor skala gempa harus diperbesar sebesar $f = V_{statik} / V_{dinamik}$. Nilai gaya geser statik dan dinamik dari ketiga model dapat dilihat pada tabel 8, 9 dan 10.

Tabel 8. Gaya Geser Dasar Model A

| Jenis Beban | F _x (kN) | F _y (kN) |
|-------------|---------------------|---------------------|
| V Statik X | 4290,1912 | 0 |
| V Statik Y | 0 | 4290,1912 |
| V Dinamik X | 4290,0602 | 129,4716 |
| V Dinamik Y | 126,2094 | 4290,1422 |

Tabel 9. Gaya Geser Dasar Model B

| Jenis Beban | F _x (kN) | F _y (kN) |
|-------------|---------------------|---------------------|
| V Statik X | 6859,7374 | 0 |
| V Statik Y | 0 | 6859,73,74 |
| V Dinamik X | 6859,7807 | 67,3631 |
| V Dinamik Y | 62,9198 | 6859,8704 |

Tabel 10. Gaya Geser Dasar Model C

| Jenis Beban | F _x (kN) | F _y (kN) |
|-------------|---------------------|---------------------|
| V Statik X | 8035,385 | 0 |
| V Statik Y | 0 | 8035,385 |
| V Dinamik X | 8035,654 | 559,89 |
| V Dinamik Y | 538,91 | 8036,868 |

c. Pemeriksaan Ketidakberaturan Torsi

Menurut SNI 1726-2019, ketidakberaturan torsi 1a dinyatakan ada apabila simpangan antar tingkat maksimum yang sudah memperhitungkan torsi tak terduga dengan faktor $A_x = 1$ pada salah satu sisi struktur terhadap suatu sumbu melebihi 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata pada kedua ujung struktur bangunan. Sementara itu, ketidakberaturan torsi 1b terjadi jika nilai simpangan maksimum tersebut melebihi 1,4 kali simpangan rata-rata di kedua ujung struktur bangunan. Pengecekan terhadap ketidakberaturan torsi pada ketiga model disajikan dalam Tabel 11 hingga Tabel 13.

Tabel 11. Ketidakberaturan Torsi Model A

| Lt | Arah X | | Arah Y | |
|----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| | $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ | Cek | $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ | Cek |
| 3 | 1,046 | OK | 1,101 | OK |
| 2 | 1,071 | OK | 1,1 | OK |
| 1 | 1,109 | OK | 1,09 | OK |

Tabel 12. Ketidakberaturan Torsi Model B

| Lt | Arah X | | Arah Y | |
|----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| | $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ | Cek | $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ | Cek |
| 3 | 1,085 | OK | 1,045 | OK |
| 2 | 1,067 | OK | 1,039 | OK |
| 1 | 1,104 | OK | 1,039 | OK |

Tabel 13. Ketidakberaturan Torsi Model C

| Lt | Arah X | | Arah Y | |
|----|-----------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| | $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ | Cek | $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ | Cek |
| 3 | 1,335 | H. 1a | 1,139 | H. 1a |
| 2 | 1,374 | H. 1a | 1,08 | OK |
| 1 | 1,414 | H. 1b | 1,052 | OK |

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diketahui bahwa bangunan model C mengalami ketidakberaturan horizontal torsi 1b. Sementara itu bangunan model B tidak mengalami ketidakberaturan horizontal torsi 1a maupun 1b sehingga bangunan B yang dipilih untuk direncanakan penulangan elemen strukturnya.

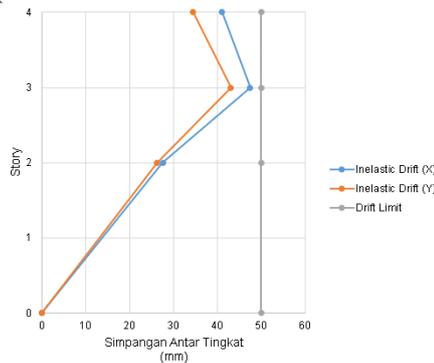
d. Pemeriksaan Simpangan Antar Tingkat

Ketentuan mengenai perhitungan dan batasan simpangan antar lantai diatur dalam SNI 1726-2019 pasal 7.8.6. Simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai selisih antara simpangan pusat massa pada lantai di atas dan lantai di bawah dari tingkat yang sedang dianalisis. Nilai simpangan pusat massa pada tingkat-x (δ_x) dalam satuan milimeter ditentukan menggunakan persamaan berikut:

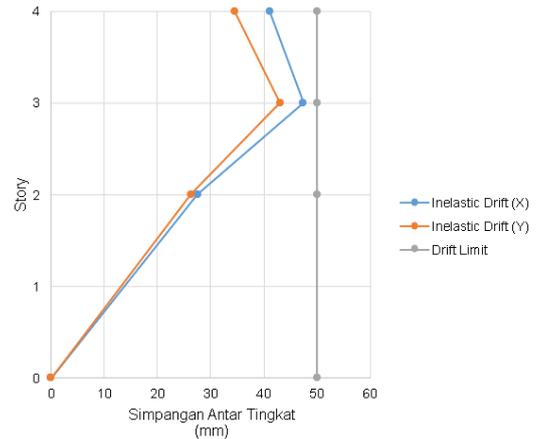
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} < \Delta a$$

- C_d = Faktor pembesaran defleksi
- δ_{xe} = defleksi pada lokasi elastis
- I_e = Faktor keutamaan gempa
- Δa = simpangan izin

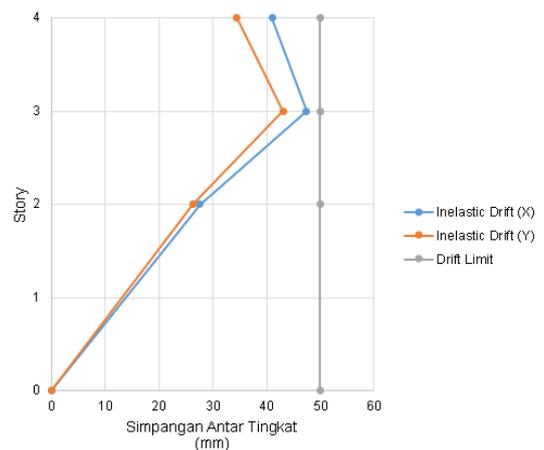
Sedangkan untuk syarat simpangan antar lantai izin sesuai tabel 20 pada SNI 1726-2019, $\Delta a = 0,01h$. Berikut merupakan grafik simpangan antar tingkat pada kelima model bangunan B yang dapat dilihat pada gambar 10 sampai 14



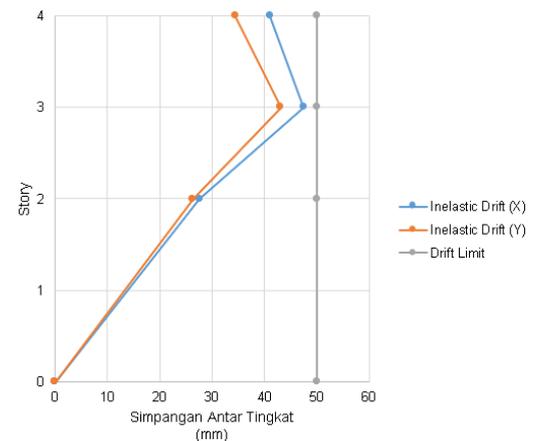
Gambar 10. Grafik Simpangan Model Bangunan B1



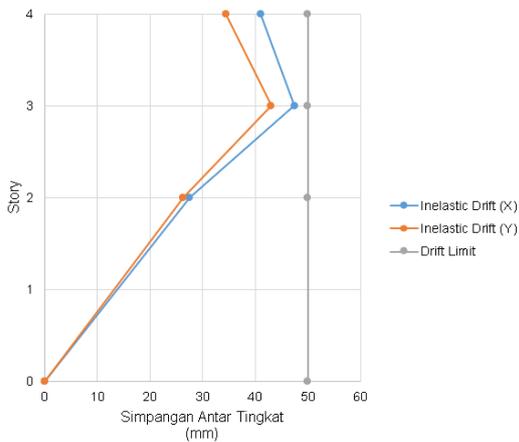
Gambar 11. Grafik Simpangan Bangunan B2



Gambar 12. Grafik Simpangan Bangunan B3



Gambar 13. Grafik Simpangan Bangunan B4



Gambar 14. Grafik Simpangan Bangunan B5

Kelima model bangunan memenuhi syarat dari simpangan izin, dan perpindahan inelastik maksimum pada masing-masing bangunan dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14. Rangkuman Perpindahan Inelastik Maksimum

| Model Bangunan | Perpindahan Inelastik Maksimum |
|----------------|--------------------------------|
| Bangunan B1 | 46,8 mm |
| Bangunan B2 | 47,7 mm |
| Bangunan B3 | 48,9 mm |
| Bangunan B4 | 47,5 mm |
| Bangunan B5 | 40,5 mm |

e. Menentukan Jarak Dilatasi

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.12.3 tentang pemisahan struktur, dijelaskan struktur bangunan yang bersebelahan harus dipisahkan minimal sebesar δ_{MT} , yang dihitung dari persamaan dibawah ini:

$$\delta_{MT} = \sqrt{(\delta M1)^2 + (\delta M2)^2}$$

Keterangan:

$\delta M1$ dan $\delta M2$ adalah perpindahan respons inelastik maksimum pada struktur bangunan yang bersebelahan atau berdekatan.

Berdasarkan dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai jarak terbesar untuk dilatasi bangunan adalah 68,31 mm. untuk memudahkan pelaksanaan dalam membuat jarak dilatasi maka jarak dilatasi dapat diseragamkan untuk seluruh bangunan yaitu sebesar 70 mm atau 7 cm.

f. Pemeriksaan Pengaruh P-delta

Pengaruh P-delta adalah efek tambahan pada struktur bangunan akibat perpindahan

horizontal (simpangan) yang terjadi ketika beban aksial (P) bekerja pada struktur yang mengalami lendutan atau perpindahan. Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.7 tentang pengaruh P-delta, dijelaskan bahwa pengaruh P-delta tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,1.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

Keterangan:

P_x = Beban desain vertikal total

Δ = Simpangan desain (mm)

I_e = Faktor keutamaan gempa

V_x = Gaya geser seismik (kN)

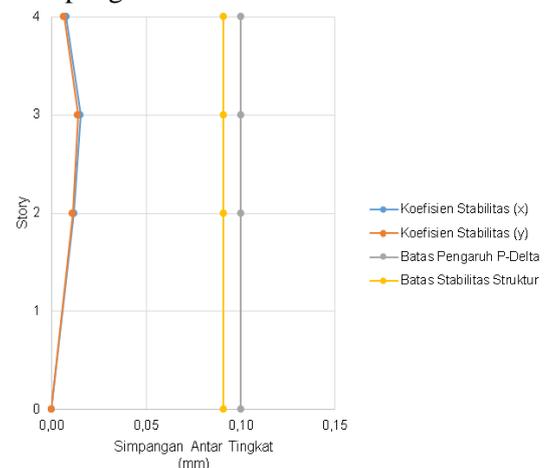
h_{sx} = Tinggi tingkat (mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi

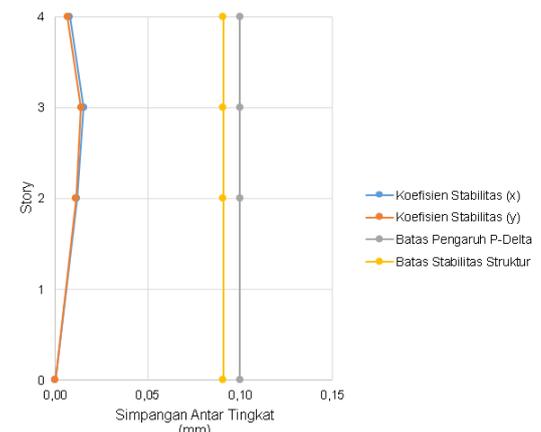
Koefisien stabilitas (θ) harus kecil sama dari nilai θ_{max} seperti persamaan berikut:

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

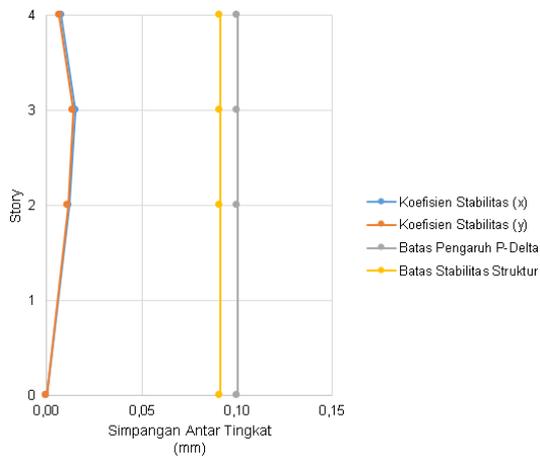
Setelah dilakukan pengecekan P-Delta, diperoleh hasil pada grafik gambar 15 sampai gambar 19.



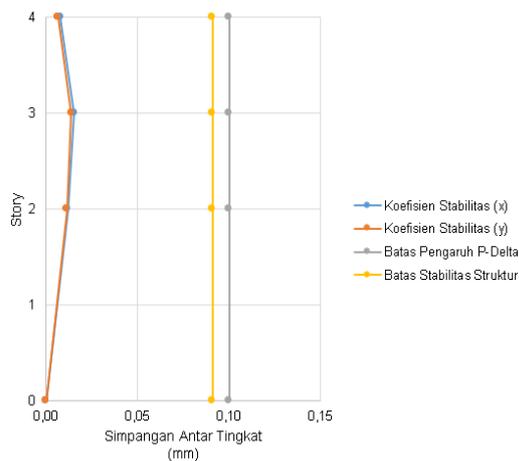
Gambar 15. Grafik P-Delta Bangunan B1



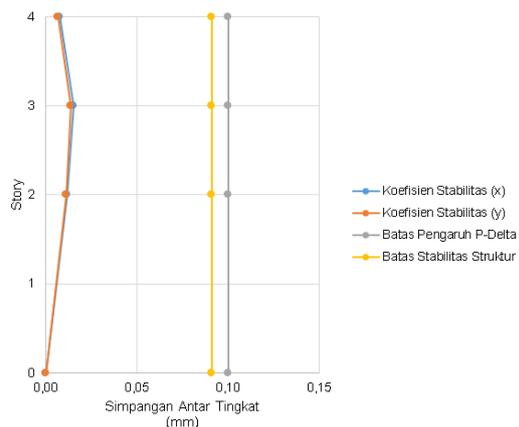
Gambar 16. Grafik P-Delta Bangunan B2



Gambar 17. Grafik P-Delta Bangunan B3



Gambar 18. Grafik P-Delta Bangunan B4



Gambar 19. Grafik P-Delta Bangunan B5

Berdasarkan pengecekan p-delta di kelima model bangunan B, nilai koefisien stabilitas (θ) arah X maupun Y lebih kecil daripada batas pengaruh P-Delta sebesar 0,1 dan batas stabilitas struktur (θ_{max}) sebesar 0,0909, sehingga kelima model struktur dapat dikatakan aman dan stabil.

5. Mendesain Elemen Struktur

Pada tahap ini, setelah dilakukan pemeriksaan ketidakberaturan torsi, simpangan antar tingkat, pengaruh P-delta, dan memastikan bahwa bangunan model B aman dan telah memenuhi persyaratan dari SNI 1726-2019 yang membahas mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung, maka tahap selanjutnya mendesain elemen struktur bangunan SRPMK yang memenuhi ketentuan dari SNI 2847-2019 yang membahas mengenai persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.

Setelah dilakukan analisis struktur pada bangunan, didapatkan hasil desain elemen struktur sebagai berikut:

a. Balok Induk

Berdasarkan dari hasil analisis struktur, didapatkan hasil desain untuk balok dengan bentang 10 meter menggunakan dimensi penampang 450x900 mm, sedangkan untuk balok dengan bentang 4, 5, dan 6 meter menggunakan dimensi penampang 250x500 mm. Untuk penjelasan lebih lengkapnya dapat dilihat pada gambar 20 dan 21.

| TIPE | BALOK B1 (450x900) | | |
|-------------------|--------------------|-----------|---------------|
| LETAK POTONGAN | TUMPUAN KIRI | LAPANGAN | TUMPUAN KANAN |
| PENAMPANG | | | |
| TULANGAN ATAS | 10 D29 | 3 D29 | 10 D29 |
| TULANGAN PINGGANG | 4 D16 | 4 D16 | 4 D16 |
| TULANGAN BAWAH | 5 D29 | 5 D29 | 5 D29 |
| SENGKANG | 3 D13-100 | 2 D13-150 | 3 D13-100 |

Gambar 20. Balok Induk B1

| TIPE | BALOK B2 (250x500) | | |
|-------------------|--------------------|-----------|---------------|
| LETAK POTONGAN | TUMPUAN KIRI | LAPANGAN | TUMPUAN KANAN |
| PENAMPANG | | | |
| TULANGAN ATAS | 5 D25 | 3 D25 | 5 D25 |
| TULANGAN PINGGANG | 2 D16 | 2 D16 | 2 D16 |
| TULANGAN BAWAH | 3 D25 | 5 D25 | 3 D25 |
| SENGKANG | 2 D13-100 | 2 D13-130 | 2 D13-100 |

Gambar 21. Balok Induk B2

b. Balok Anak

Berdasarkan dari hasil analisis struktur, didapatkan hasil desain untuk balok anak dengan bentang 10 meter menggunakan dimensi penampang 400x750 mm, sedangkan untuk balok anak dengan bentang 4, 5, dan 6 meter menggunakan dimensi penampang 250x400 mm, untuk penjelasan lebih lengkapnya dapat dilihat pada gambar 22 dan 23.

| TIPE | BALOK BA1 (400x750) | | |
|-------------------|---------------------|-----------|---------------|
| LETAK POTONGAN | TUMPUAN KIRI | LAPANGAN | TUMPUAN KANAN |
| PENAMPANG | | | |
| TULANGAN ATAS | 4 D22 | 4 D22 | 4 D22 |
| TULANGAN PINGGANG | 4 D16 | 4 D16 | 4 D16 |
| TULANGAN BAWAH | 4 D22 | 6 D22 | 4 D22 |
| SENGKANG | 3 D13-100 | 3 D13-100 | 3 D13-100 |

Gambar 22. Balok Induk BA1

| TIPE | BALOK BA2 (250x400) | | |
|-------------------|---------------------|-----------|---------------|
| LETAK POTONGAN | TUMPUAN KIRI | LAPANGAN | TUMPUAN KANAN |
| PENAMPANG | | | |
| TULANGAN ATAS | 2 D16 | 2 D16 | 2 D16 |
| TULANGAN PINGGANG | - | - | - |
| TULANGAN BAWAH | 2 D16 | 2 D16 | 2 D16 |
| SENGKANG | 2 D13-80 | 2 D13-150 | 2 D13-80 |

Gambar 23. Balok Induk BA2

c. Kolom

Berdasarkan dari hasil analisis struktur, didapatkan hasil desain untuk kolom ada 3 tipe, kolom K1 berukuran 950x950 mm, kolom K2 berukuran 750x750, kolom K3 berukuran 600x600, untuk penjelasan lebih lengkapnya dapat dilihat pada gambar 24,25 dan 26.

| TIPE | KOLOM (950x950) | |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| LETAK POTONGAN | TUMPUAN | LAPANGAN |
| PENAMPANG | | |
| TULANGAN LONGITUDINAL | 24 D32 | 24 D32 |
| SELIMUT BETON | 40 mm | 40 mm |
| DIMENSI | 950 x 950 mm | 950 x 950 mm |
| SENGKANG | 4 D16 - 100 | 2 D16 - 150 |

Gambar 24. Kolom K1

| TIPE | KOLOM (750x750) | |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| LETAK POTONGAN | TUMPUAN | LAPANGAN |
| PENAMPANG | | |
| TULANGAN LONGITUDINAL | 16 D29 | 16 D29 |
| SELIMUT BETON | 40 mm | 40 mm |
| DIMENSI | 750 x 750 mm | 750 x 750 mm |
| SENGKANG | 3 D16 - 100 | 2 D16 - 150 |

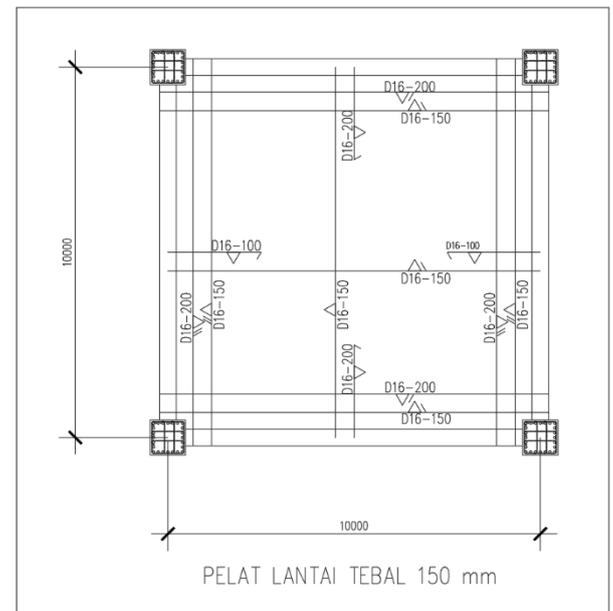
Gambar 25. Kolom K2

| TIPE | KOLOM (600x600) | |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| LETAK POTONGAN | TUMPUAN | LAPANGAN |
| PENAMPANG | | |
| TULANGAN LONGITUDINAL | 16 D25 | 16 D25 |
| SELIMUT BETON | 40 mm | 40 mm |
| DIMENSI | 600 x 600 mm | 600 x 600 mm |
| SENGKANG | 3 D16 - 100 | 2 D16 - 150 |

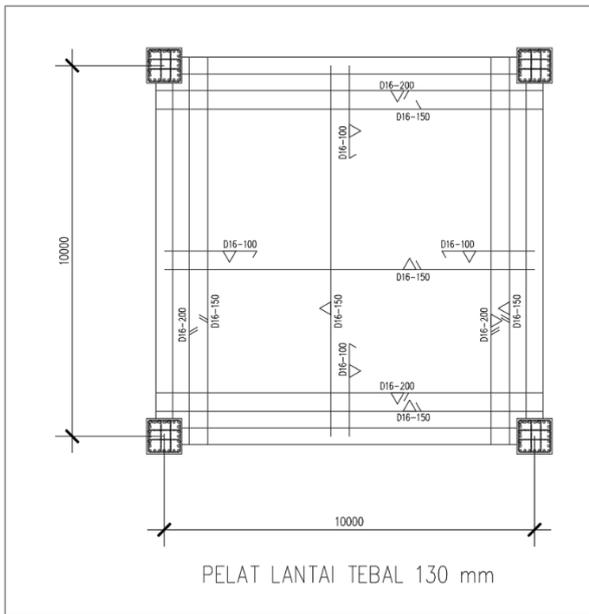
Gambar 26. Kolom K3

d. Pelat Lantai

Berdasarkan dari hasil analisis struktur, didapatkan hasil desain untuk pelat lantai dibagi menjadi 2 tipe. Tipe 1 digunakan untuk lantai 1,2,dan 3 dengan ketebalan 150 mm, Tipe 2 digunakan khusus untuk lantai atap atau dak dengan ketebalan 130 mm. untuk penjelasan lebih lengkapnya dapat dilihat pada gambar 27 dan 28.



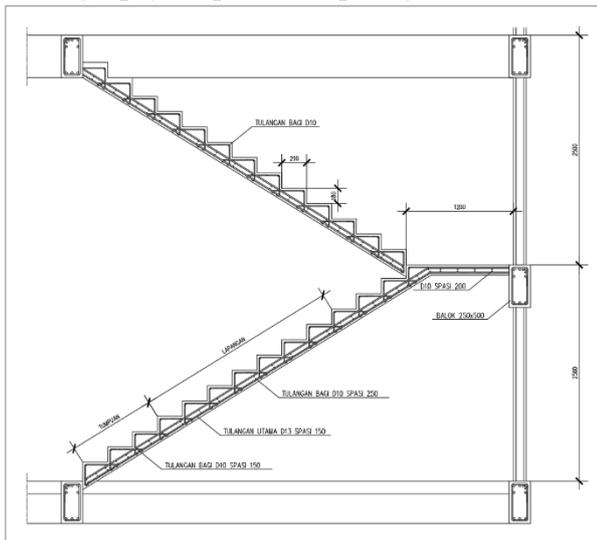
Gambar 27. Pelat Lantai 150 mm



Gambar 28. Pelat Lantai 130 mm

e. Tangga

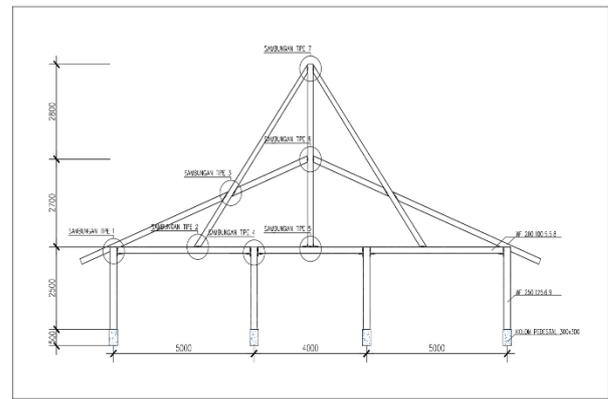
Berdasarkan dari hasil analisis struktur, tangga dan bordes didesain menggunakan pelat beton dengan ketebalan 120 mm, dilengkapi dengan tulangan utama D13 dan tulangan pembagi D10. Lebar anak tangga adalah 29 cm dan tinggi anak tangga 18 cm. Untuk penjelasan lebih lengkapnya dapat dilihat pada gambar 29.



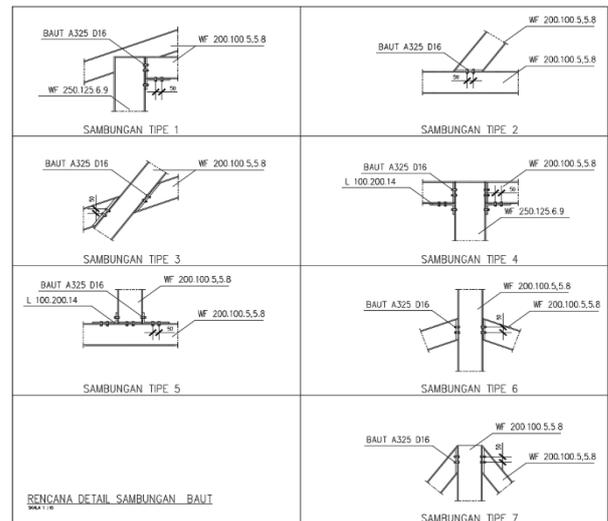
Gambar 29. Tangga dan Bordes

f. Atap

Berdasarkan dari hasil analisis struktur atap, digunakan profil baja WF 250.125.6.9 untuk tiang atap, dan WF 200.100.5,5.8 untuk rafter. Sedangkan untuk gording digunakan baja ringan C 200.75.20.3,2. Sambungan antar profil baja menggunakan baut A325 diameter 16 mm (D16). untuk penjelasan lebih lengkapnya dapat dilihat pada gambar 30 dan 31.



Gambar 30. Rangka Atap



Gambar 31. Detail Sambungan Baut

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan maka diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan analisis, diperoleh layout-B merupakan layout bangunan dilatasi yang paling baik dalam menahan gempa dan ekonomis berdasarkan SNI 1726-2019.
2. Berdasarkan hasil analisis, struktur bangunan yang didesain telah memenuhi syarat SNI, sehingga mampu menahan gempa yang sewaktu-waktu akan terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

Apriyansyah, A., & Body, R. (2024). Perancangan Gedung Teaching Factory Sekolah Vokasi Universitas Negeri Padang di Tarok City Padang Pariaman. *Jurnal Applied Science In Civil Engineering*, 5(4), 513-519.

Badan Standardisasi Nasional. 2020. Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727:2020.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI

1726:2019.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, SNI 2847:2019.

Badan Standarisasi Nasional. 2020. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

Badan Standarisasi Nasional. 2020. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural

Hermawan, D., Masril, M., & Bastian, E. (2022). Analisis Pengaruh Dilatasi Bangunan Gedung Tinggi Menggunakan Etabs pada Bangunan Berdenah T. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 2(1), 332-338.

Hidayat, M. (2019). Tarok City sebagai Kawasan Pendidikan Terpadu (KPT)(Studi Analisis Kesiapan Masyarakat Nagari dalam Pembangunan KPT). *Jurnal Socius: Journal of Sociology Research and Education*, 6(1), 51-61.

Liando, F. J., Dapas, S. O., & Wallah, S. E. (2020). Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Kuliah 5 Lantai. *Jurnal Sipil Statik*, 8(4).

Masum, M., & Akbar, M. A. (2019, March). The Pacific Ring of Fire is Working As a Home Country of Geothermal Resources in The World. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 249, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.

Muhammad, T. R. (2020). *Studi Respons Struktur Bangunan Ber-Layout L dengan dan Tanpa Gap Element* (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).

Paulay, T., & Priestley 1992. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Mansory Building*, New York, John Wiley and Son.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 29/PRT/M/2006 tentang Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan.

Pinanggih, Y., & Yogaswara, D. (2023). Analisis Dilatasi pada Beton Bertulang Studi Kasus Rumah Sakit Limbangan. *Jurnal Konstruksi*, 21(1), 20-29.

Pontororing, O. A., Pandaleke, R. E., & Handono, B. D. (2023). Perencanaan Gedung Struktur Beton Bertulang Hotel 5 Lantai dengan Denah Bangunan Berbentuk "U". *TEKNO*, 21(83), 235-246.

Putrianingsih, S., Muchasan, A., & Syarif, M. (2021). Peran Perencanaan Pembelajaran Terhadap Kualitas Pengajaran. *INOVATIF:*

Jurnal Penelitian Pendidikan, Agama, dan Kebudayaan, 7(1), 138-163.

Rahmadani, M. (2017). *Analisa Perilaku Bangunan Tidak Beraturan Secara Horizontal dengan Dilatasi Terhadap Gempa* (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Jakarta).

Reza, F. 2012. *Pengaruh Dilatasi Terhadap Gaya Dalam Kolom Dan Balok Pada gedung Berlantai Empat Dengan Denah Berbentuk H*. [tugas akhir]. Banda Aceh: Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Darussalam.

Siswanto, A. B. (2018). *Kriteria dasar perencanaan struktur bangunan tahan gempa*. *Jurnal teknik sipil*, 11, 59-72.

Suci, L. (2019). *Analisis Jarak Dilatasi Bangunan Ber-Layout L Dan Perhitungan Penulangan Elemen Balok Dan Kolom Disekitar Dilatasi* (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).

Tamara, M. (2011). *Evaluasi Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Besar*. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 1(1).