

JURNAL KONSTRUKSI DAN INFRASTRUKTUR

Teknik Sipil dan Perencanaan

ANALISIS STRUKTUR GEDUNG SPORT CENTER DAN PARKIR SUMATERA SELATAN MENGGUNAKAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK)

M. Habib Diva^{1*}, Syahril Alzahri¹, M. Firdaus¹

^{1*)} Program Studi Teknik Sipil, Universitas PGRI Palembang.
Email Penulis Korespondensi : submitjurnal25@gmail.com
Nomor HP Penulis Korespondensi : 08994013622

ABSTRACT

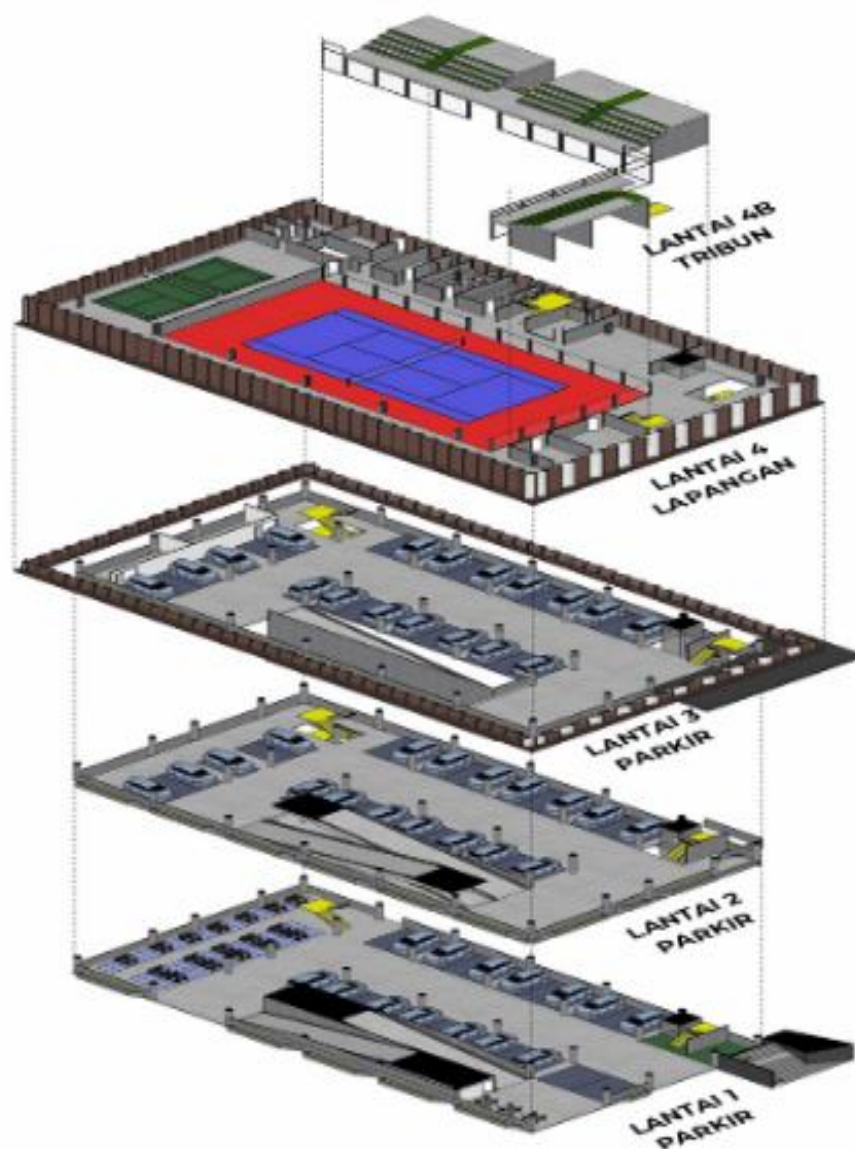
This study evaluates the structural performance of a four-story sports center and parking building in South Sumatra designed using a Special Moment Frame System (SMFS). The building has a total height of 17.55 m, with reinforced concrete structures on floors 1–3 and a steel H-beam system on the fourth floor. The materials used are 30 MPa concrete and 420 MPa reinforcing steel. Structural analysis was performed using STAAD.Pro V8i with the response spectrum method in accordance with SNI 1726:2019, considering site class SE and seismic parameters $SDS = 0.434$ g and $SD1 = 0.363$ g. The applied load combinations include gravity and seismic loads in both principal directions. The results show that the maximum interstory drift in X and Y directions is well below the allowable limits, and the structure satisfies the Strong Column–Weak Beam requirement ($\Sigma M_{nc} \geq 1.2 \Sigma M_{nb}$), ensuring ductile seismic behavior. Design comparison indicates several construction-driven modifications, including changes in column cross-sections and the use of steel framing at the fourth floor, which were verified to remain compatible with the overall structural system. Overall, the structure demonstrates adequate seismic performance and code compliance.

Keyword: SMFS, Strong Column Weak Beam, response spectrum, SNI 1726:2019.

1. PENDAHULUAN

Gedung sport center merupakan fasilitas publik yang berfungsi mendukung aktivitas olahraga dan rekreasi masyarakat, sehingga menuntut tingkat keamanan dan keandalan struktur yang tinggi. Di Indonesia, yang berada pada kawasan Cincin Api Pasifik, risiko gempa bumi menjadi salah satu faktor utama yang harus diperhitungkan dalam perencanaan bangunan, khususnya bangunan dengan kapasitas pengguna besar seperti gedung sport center. Oleh karena itu, perencanaan struktur gedung sport center harus mampu menjamin kinerja seismik yang memadai agar bangunan tetap aman dan fungsional saat terjadi gempa [1]. Salah satu sistem struktur yang umum digunakan untuk bangunan bertingkat di wilayah rawan gempa adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), yang dirancang untuk memiliki tingkat daktilitas tinggi melalui mekanisme pelelehan terkendali pada elemen balok. Penerapan SRPMK pada bangunan beton bertulang, serta integrasinya dengan elemen baja pada bagian tertentu bangunan, menuntut evaluasi kinerja struktur yang cermat terhadap beban gravitasi dan gempa, termasuk pemenuhan konsep Strong Column Weak Beam sebagai prasyarat perilaku daktail [2]. Meskipun berbagai penelitian telah membahas perencanaan bangunan tahan gempa, studi yang secara khusus mengevaluasi kinerja seismik gedung sport center dengan sistem SRPMK melalui perbandingan antara hasil perhitungan akademik dan data desain perencanaan awal

masih terbatas. Perbandingan ini penting sebagai bentuk validasi desain, sekaligus untuk mengidentifikasi potensi perbedaan antara perencanaan teoritis dan dokumen proyek yang dapat memengaruhi kinerja struktur secara keseluruhan [3]. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja seismik gedung sport center dengan sistem SRPMK, membandingkan hasil perhitungan struktur dengan data proyek, serta mengevaluasi pemenuhan konsep Strong Column Weak Beam sesuai ketentuan peraturan yang berlaku. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi perencanaan gedung sport center tahan gempa di Indonesia, khususnya dalam penerapan dan evaluasi sistem SRPMK pada bangunan fasilitas publik. dalam konteks ini, penerapan standar nasional dan internasional menjadi sangat penting. Standar Nasional Indonesia (SNI), seperti SNI 1726 yang mengatur perencanaan struktur bangunan terhadap gempa, memberikan acuan teknis dalam desain bangunan tahan gempa. Di samping itu, SNI 2847 yang memuat ketentuan mengenai beton struktural, berfungsi sebagai pedoman untuk menjamin bahwa elemen beton memiliki kekuatan yang memadai dalam menahan beban. Dalam melakukan analisis struktur, perangkat lunak komputer telah menjadi alat yang sangat berguna. Program seperti SAP2000, ETABS, atau STAAD.Pro memungkinkan simulasi beban dan evaluasi kinerja struktur dengan tingkat akurasi yang tinggi. Adapun gambar desain perencanaan gedung *sport center* dan parkir ada Pada Gambar 1. Dibawah ini.



Gambar 1. Desain Perencanaan Pembangunan

1.1. Perencanaan Elemen Struktur

Penelitian ini difokuskan pada analisis elemen struktur utama gedung sport center, yaitu balok dan kolom, yang merupakan bagian dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Data proyek yang digunakan berupa gambar Detail Engineering Design (DED) tahun 2025, disusun berdasarkan SNI 1726:2019 untuk perencanaan ketahanan gempa dan SNI 2847:2019 untuk persyaratan beton struktural. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja seismik struktur utama dan memvalidasi hasil perhitungan desain akademik terhadap data proyek. Analisis difokuskan pada pemenuhan konsep Strong Column Weak Beam serta perilaku struktur terhadap beban gempa, dengan membandingkan dimensi, material, dan sistem elemen yang direncanakan dalam DED dengan implementasi lapangan. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi potensi deviasi desain-as-built dan memastikan kompatibilitas sistem struktur terhadap standar yang berlaku.

1.2. Struktur Beton Bertulang dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Struktur beton bertulang pada bangunan bertingkat, termasuk gedung sport center, dirancang untuk menahan beban kombinasi gravitasi dan gempa dengan memanfaatkan interaksi beton dan tulangan baja. Untuk bangunan di wilayah rawan gempa, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) diterapkan untuk menjamin perilaku daktail melalui mekanisme pelelehan terkendali pada balok, sehingga kolom tetap kuat dan risiko runtuh minimal.

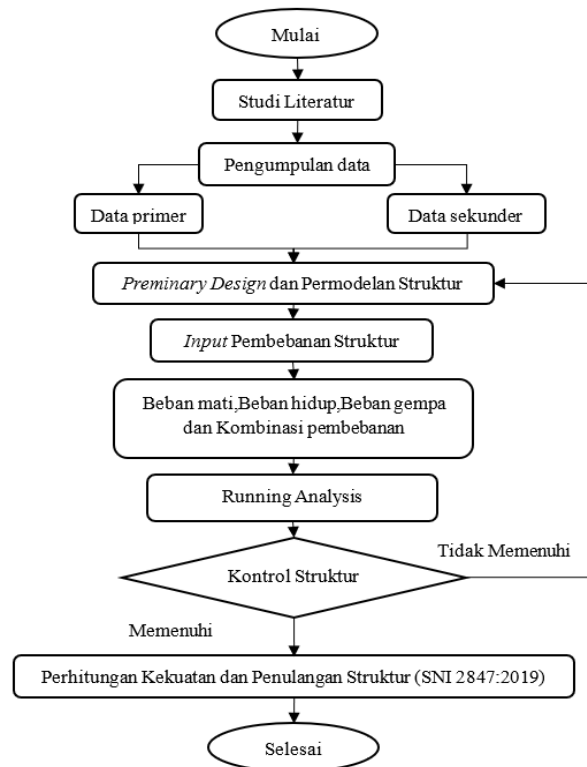
- a. Baja adalah salah satu logam yang paling sering digunakan dalam dunia teknik dan konstruksi. Keunggulannya terletak pada kombinasi kekuatan tinggi, fleksibilitas, dan daya tahan terhadap berbagai beban mekanis, menjadikannya material yang esensial untuk berbagai aplikasi. Baja banyak digunakan dalam pembangunan gedung bertingkat, jembatan, struktur industri, hingga komponen mekanis seperti mesin dan kendaraan [4].
- b. Beton merupakan material konstruksi yang tersusun dari kombinasi semen, agregat halus (seperti pasir), agregat kasar (seperti batu pecah atau kerikil), serta air. Setelah mengalami proses hidrasi, campuran ini akan mengeras menyerupai batu dan memiliki kekuatan tekan yang tinggi, meskipun kekuatan tariknya relatif rendah [5]. Selain itu, beton juga dapat diformulasikan dengan menambahkan bahan aditif tertentu guna memodifikasi atau meningkatkan karakteristiknya sesuai kebutuhan [6].

Prinsip utama SRPMK adalah *capacity design*, di mana kolom dirancang lebih kuat dari balok (*Strong Column Weak Beam*) sehingga momen plastis terkonsentrasi pada balok, bukan kolom. Hal ini diperkuat dengan detailing elemen, seperti tulangan utama dan pengikat transversal, untuk mengontrol deformasi dan memastikan energi gempa terserap secara aman. Selain itu, perancangan SRPMK memperhatikan kontrol simpangan antar lantai agar tetap berada di bawah batas izin sesuai SNI 1726:2019, serta memperhatikan persyaratan khusus seperti jumlah tulangan minimum, jarak pengikat, dan penggunaan tulangan tambahan pada sambungan kritis. Dengan pendekatan ini, struktur beton bertulang pada SRPMK mampu menunjukkan kinerja seismik yang memadai, aman, dan daktail terhadap beban gempa.

2. METODE

2.1. Bagan Alir

Adapun gambaran bagan tahapan penelitian yang digunakan dalam studi ini mencakup beberapa langkah sistematis yang dirancang untuk memastikan penelitian berjalan secara terstruktur, terarah, dan seluruh tahapan dilakukan berdasarkan metodologi yang telah dirancang sebelumnya guna memastikan bahwa hasil yang diperoleh memiliki validitas serta dapat dipertanggung jawabkan. Alur atau tahapan penelitian dalam studi ini disajikan pada Gambar 2. Dibawah ini.



Gambar 2. Bagan alir penelitian

2.2. Metode Analisis

Metode analisis dalam penelitian ini mencakup studi literatur untuk memperoleh dasar teori yang relevan, pengumpulan data lapangan sebagai acuan kondisi eksisting, penyusunan preliminary desain sebagai gambaran awal perencanaan, analisis struktur secara menyeluruh menggunakan perangkat lunak STAAD.Pro V8i untuk mengevaluasi perilaku dan kekuatan struktur, serta perancangan detail penulangan struktur guna memastikan keamanan dan efisiensi dalam pelaksanaan konstruksi.

1. Studi literatur dan Pengumpulan data

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teori yang relevan dengan perencanaan struktur beton bertulang dan analisis gempa, meliputi jurnal ilmiah, buku, laporan penelitian, serta dokumen resmi SNI terkait, khususnya:

- a. SNI 2847:2019 → Ketentuan perencanaan beton bertulang
- b. SNI 1726:2019 → Pedoman perencanaan ketahanan gempa
- c. SNI 1727:2013 → Beban gedung

Pengumpulan data lapangan dilakukan dengan mengidentifikasi kondisi eksisting bangunan, termasuk jumlah lantai, tinggi lantai, dimensi elemen struktur, dan material yang digunakan. Data ini digunakan untuk pemodelan awal dan verifikasi preliminary design [7].

2. Preliminary Design

Pada tahap preliminary design, dilakukan perencanaan awal untuk balok dan kolom dengan menentukan ukuran elemen-elemen tersebut terlebih dahulu sebagai langkah awal dalam proses desain struktur. Perhitungan preliminary desain kolom dilakukan berdasarkan beban aksial maksimum per kolom yang berasal dari kombinasi beban mati dan hidup terfaktor (1,2DL + 1,6LL).

a. Preliminary Desain Balok

Dalam SNI 2847:2019, Ketinggian Balok minimum dihitung Ketika balok diposisi perletakan sederhana

$$h_{min} = \frac{L}{16} \quad (1)$$

$$b_w = \frac{2}{3} \cdot h_{aktual}, \text{ atau } b_w = \frac{1}{2} \cdot h_{aktual} \quad (2)$$

Dimana :

b_w = lebar balok

h_{aktual} = tinggi balok

b. Preliminary Desain Kolom

Dalam SNI 2847:2019, luas penampang kolom harus lebih besar dari luas penampang bruto minimum yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor.

$$A_{kolom} > A_{bruto} = \frac{3P}{F_c} \quad (3)$$

Dimana:

P = beban aksial

F_c = mutu beton (MPa)

3. Analisis Struktur Dengan Program Bantu StaadPro V8i

Analisis struktur dilakukan untuk menentukan besaran gaya-gaya aksial, geser, torsi, dan momen dalam elemen-elemen struktur yang dianalisis. Proses analisis ini menggunakan software STAAD.Pro V8i, yang dirancang untuk mengevaluasi respons struktur terhadap berbagai jenis beban yang akan diterima. Pemodelan gedung dilakukan dengan memasukkan semua data geometri, properti material, dan beban sesuai hasil pengumpulan data. Tahapan pemodelan meliputi:

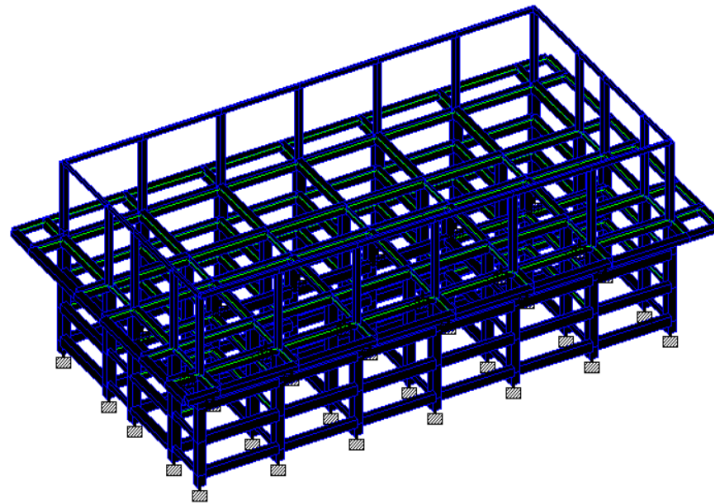
- Pembuatan grid sesuai layout lantai.
- Definisi material beton dan baja.
- Assign property balok, kolom, dan pelat.
- Support / pondasi: Fixed (bore pile).
- Input beban: DL, LL, beban tambahan, atap.
- Kombinasi beban: 1D, 1D+1L, 1D+0,75L+0,75Lr.
- Spektrum respons gempa: R_s X & Y sesuai RSA Cipta Karya.
- Analisis: displacement, momen lentur, geser, dan gaya aksial.
- Evaluasi simpangan: Δx & Δy per lantai $\leq \Delta a$ (46,154 mm).

4. Desain Penulangan Struktur

Setelah dilakukan kontrol terhadap struktur dan memenuhi persyaratan, kekuatan gedung dievaluasi lebih lanjut untuk memastikan kelayakannya, dilanjutkan dengan proses desain tulangan. Seluruh analisis dilaksanakan berdasarkan standar perencanaan yang berlaku, seperti SNI 2847:2019 yang mengatur ketentuan beton struktural dan SNI 1726:2019 yang mengatur ketahanan gempa, dengan tujuan memastikan struktur memenuhi aspek keamanan, kekuatan, dan stabilitas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk permodelan pada software program aplikasi STAAD.Pro dapat dilihat pada Gambar 3. yang menunjukkan representasi visual dari struktur yang dianalisis, di mana seluruh elemen struktur dimodelkan sesuai dengan data teknis dan preliminary desain yang telah disusun sebelumnya.



Gambar 3. Permodelan 3D

3.1. Simpangan Antar Lantai

Perpindahan struktur data ini penting untuk memastikan struktur tidak mengalami perpindahan atau rotasi berlebihan sehingga aman dan stabil. Analisa simpangan antar tingkat diatur dalam SNI 1726-2019. Parameter yang dibutuhkan untuk menghitung simpangan antar Tingkat adalah I_e dan C_d . Adapun nilai parameter I_e dan C_d adalah sebagai berikut:

- I_e ; Faktor keutamaan struktur gedung, diperoleh nilai berdasarkan kategori resiko (Gedung olahraga dan parkir = III), maka $I_e = 1,25$.
- C_d = Faktor pembesaran defleksi, diperoleh nilai berdasarkan kategori “rangka beton bertulang pemikul momen khusus”, $C_d = 5,5$.
- Δa ; Simpangan antar tingkat izin, diperoleh $\Delta a = 0,020 h_{sx} = 0,020 \times 3000 \text{ mm} = 60 \text{ mm}$
- Struktur kategori seismik D-F, nilai A_a harus dibagi dengan $p = 1,3$. Sehingga nilai Δa menjadi: $\Delta a = 60 \text{ mm} / 1,3 = 46,154 \text{ mm}$.

Menentukan Simpangan Pusat Massa (δx)

$$\delta x = \frac{C_d \delta x_e}{I_e} \quad (4)$$

Untuk lantai 1

$$\delta x_e \text{ arah x} = 0,003$$

$$\delta x_e \text{ arah y} = 0,047$$

Lantai 2

$$\text{Arah x } \delta x = \frac{5,5 \times 0,003}{1,25} = 0,0132$$

$$\text{Arah y } \delta x = \frac{5,5 \times 0,047}{1,25} = 0,2068$$

Simpangan lantai untuk arah X (Δx) dapat dihitung berdasarkan nilai displacement dari node displacement yang diperoleh, seperti yang tercantum pada tabel berikut.

Tabel 1. Simpangan Antar Lantai untuk Arah X (Δx)

Lantai	Tinggi Kumulatif (mm)	Simpangan Relatif dx	Simpangan Δx	Batas Izin Simpangan Δa	Status
Dasar	0	0	0	46,154	OK
Lantai 2	3000	0.003	0,0132	46,154	OK
Lantai 3	6000	0.109	0,4796	46,154	OK
Lantai 4	9000	0.073	0,3212	46,154	OK
Atap	16000	0.228	1,0032	46,154	OK

Sumber : Hasil analisis 2025

Adapun dari node displacement dapat dicari sebuah Simpangan Lantai untuk Arah Y (Δy)

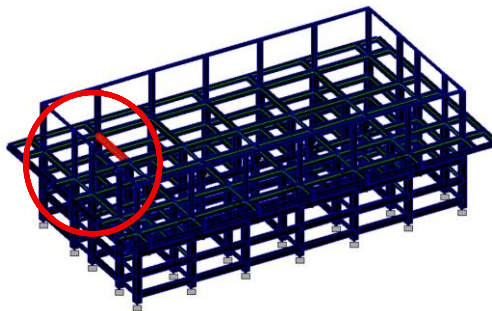
Tabel 2. Simpangan Antar Lantai untuk Arah Y (Δy)

Lantai	Tinggi Kumulatif (mm)	Simpangan Relatif d_y	Simpangan Δy	Batas Izin Simpangan Δa	Status
Dasar	0	0	0	46,154	OK
Lantai 2	3000	0.047	0,2068	46,154	OK
Lantai 3	6000	0.128	0,5632	46,154	OK
Lantai 4	9000	0.142	0,6248	46,154	OK
Atap	16000	0.524	2,3056	46,154	OK

Sumber : Hasil analisis 2025

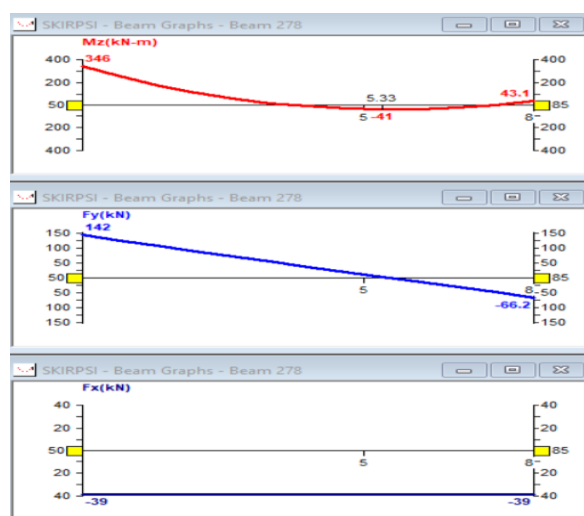
3.2. Nilai Momen Untuk Balok dan Kolom

Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak STAAD.Pro, diperoleh respons struktur terhadap beban yang bekerja dalam bentuk distribusi momen pada elemen-elemen struktural. Dari hasil tersebut, diketahui bahwa elemen balok nomor 278 mengalami nilai momen terbesar dibandingkan elemen lainnya pada struktur gedung. Balok tersebut terletak pada lantai 4, dengan posisi yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sebagai berikut.



Gambar 4. Permodelan 3D Letak Elemen Balok

Nilai-nilai momen yang diperoleh dari hasil analisis merupakan acuan penting dalam mengevaluasi kekuatan elemen struktur, khususnya dalam menentukan kebutuhan kapasitas lentur dan pengaruh gaya dalam yang bekerja. Informasi ini sangat krusial dalam perencanaan detail penulangan, agar struktur yang dirancang mampu menahan beban kerja secara aman dan efisien, sesuai dengan ketentuan standar desain yang berlaku. Adapun hasil output momen tersebut disajikan sebagai berikut.



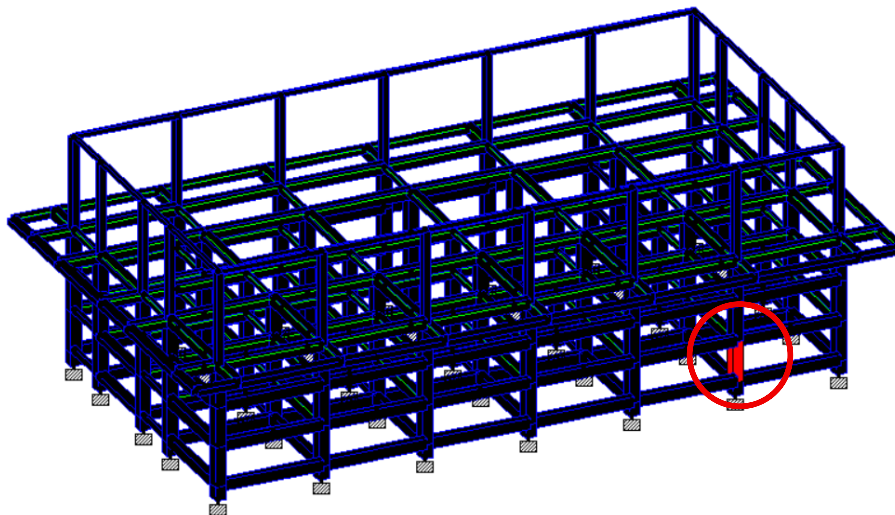
Sumber : Hasil output Program StaadPro

Gambar 5. Momen Lentur, Geser dan Tekan pada Balok

Dari gambar diatas dapat diperoleh :

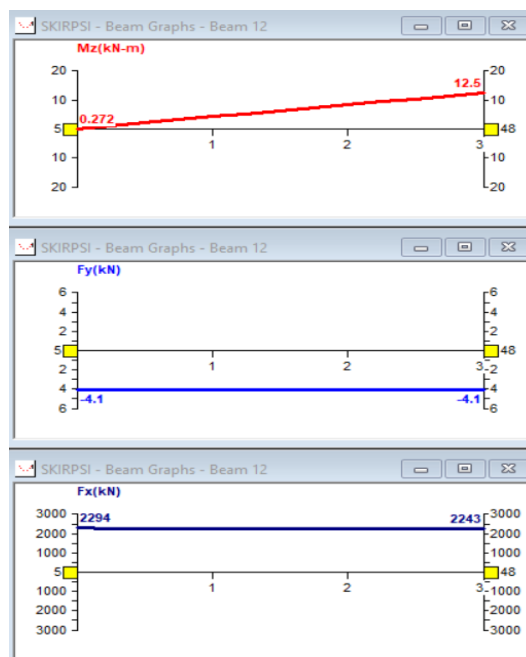
- momen positif sebesar 346 kNm dan negatif -41 kNm.
- momen positif sebesar 142 dan negatif sebesar -66.2 kNm.
- momen negatif sebesar -39 kNm.

Adapun elemen kolom hasil analisis menunjukkan bahwa elemen kolom nomor 12, yang terletak pada lantai dasar gedung, mengalami nilai momen maksimum dibandingkan elemen kolom lainnya. Oleh karena itu, elemen ini dijadikan sebagai acuan utama dalam evaluasi kekuatan struktur dan perencanaan penulangan kolom. Letak elemen tersebut ditunjukkan pada Gambar 6. Dibawah ini.



Gambar 6. Permodelan 3D Letak Elemen Kolom

Nilai momen hasil analisis menjadi acuan penting dalam mengevaluasi kapasitas lentur elemen kolom dan memahami pengaruh beban aksial serta lateral. Adapun Hasil output momen pada elemen kolom dapat dilihat sebagai berikut.



Sumber : Hasil output Program StaadPro

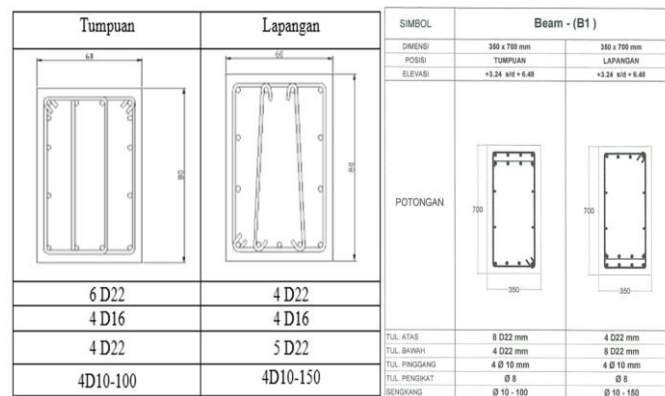
Gambar 7. Momen Lentur, Geser dan Tekan pada Kolom

Dari gambar diatas dapat diperoleh :

- momen positif sebesar 0.272 kNm dan 12.5 kNm.
- momen negatif sebesar -4.1 kNm.
- momen positif sebesar 2294 dan 2243 kNm.

3.3. Hasil Desain Penulangan Balok SRPMK Sesuai SNI 2847 : 2019

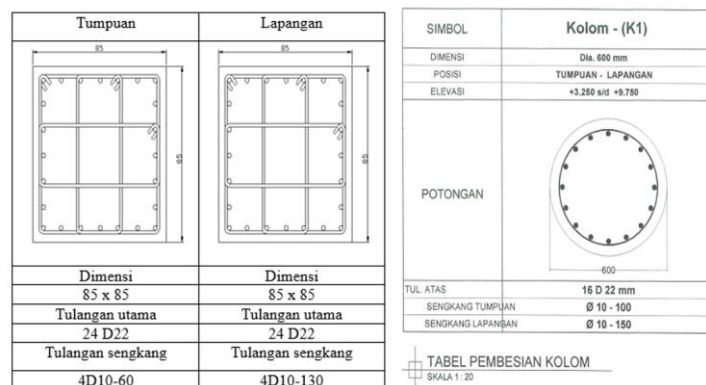
Desain balok SRPMK menurut SNI 2847 : 2019 menjelaskan beberapa persyaratan umum. Studi ini menganalisis sebuah balok dengan panjang bentang 8 meter, terdapat perbedaan antara desain balok yang direncanakan dan yang diterapkan dalam proyek. Dimensi balok yang direncanakan adalah 600 x 800 mm, sedangkan pada proyek, dimensi balok yang digunakan adalah 350 x 700 mm. Walaupun dimensi balok pada proyek lebih kecil, jumlah tulangan yang diterapkan justru lebih banyak dibandingkan dengan desain yang direncanakan. Meskipun terdapat perbedaan sebesar 48% pada dimensi balok, perbedaan lain terlihat pada gambar rencana proyek, di mana perencanaan awal tidak mencakup penambahan balok anak, untuk suatu struktur tanpa penggunaan balok anak ketebalan pelat harus diperhitungkan namun pada penelitian ini terbatas hanya pada kolom dan balok saja. Untuk perbedaan penulangan ini dapat dilihat pada detail Gambar dibawah ini.



Gambar 8. Hasil Perencanaan dan Data Proyek

3.4. Hasil Desain Penulangan Kolom SRPMK Sesuai SNI 2847 : 2019

Desain kolom SRPMK sesuai SNI pada penelitian ini Terdapat perbedaan antara desain kolom dalam perencanaan dan yang diterapkan pada proyek. Pada perencanaan, kolom berbentuk persegi dengan dimensi 850 x 850 mm, sedangkan pada proyek, kolom berbentuk bulat dengan diameter 600 mm. Meskipun dimensi dan bentuknya berbeda, jumlah tulangan pada perencanaan lebih banyak, yaitu 24 batang D22, sedangkan pada proyek hanya 16 batang D22. Perbedaan ini terlihat pada detail penulangan kolom yang tercantum pada gambar berikut.



Gambar 9. Hasil Perencanaan dan Data Proyek

Perbedaan dimensi dan bentuk kolom ini mencapai 50%, yang menunjukkan adanya perubahan signifikan antara perencanaan dan pelaksanaan proyek.

3.5. Pengecekan Strong Column - Weak Beam (SCWB)

Pengecekan *Strong Column - Weak Beam* (SCWB) memastikan kolom memiliki kapasitas momen lebih besar daripada balok, sehingga kegagalan balok terjadi terlebih dahulu sebelum kolom saat terjadi beban gempa, menjaga stabilitas dan integritas struktur. adapun hasil pengecekan SCWB sebagai berikut

Tabel 3. Pengecekan Scwb

Syarat	$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$	NOTE
	$1249,298 \geq 982,173$	OK

Sumber : Hasil analisis 2025

Dapat dilihat bahwa syarat SCWB telah terpenuhi yang mana pemenuhan kriteria ini penting karena memastikan mekanisme keruntuhan struktur bersifat *ductile*, memungkinkan disipasi energi selama gempa dan mengurangi risiko kolaps total, sehingga nilai praktis penelitian ini terkait keselamatan seismik menjadi lebih jelas.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis struktur gedung olahraga dan parkir, prinsip *Strong Column Weak Beam* ($\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$) terpenuhi, drift maksimum antar lantai masih berada dalam batas izin SNI 1726:2019 (arah X = 1,0032 mm, arah Y = 2,3056 mm), dan elemen kritis teridentifikasi pada balok lantai 4 dan kolom lantai dasar. Meskipun terdapat perbedaan signifikan antara desain awal dan pelaksanaan proyek balok berkurang dimensi hingga 48% namun tulangan bertambah, dan kolom berubah dari persegi 850×850 mm menjadi bulat diameter 600 mm dengan tulangan lebih sedikit struktur secara keseluruhan masih aman, namun disarankan dilakukan verifikasi ulang pada elemen kritis dan pemantauan drift arah Y untuk memastikan keamanan dan stabilitas seismik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wopari, S. I., & Kurniati, R. (2022). Potensi Kawasan Stadion Lukas Enembe Sebagai Destinasi Wisata Dalam Pengembangan Parwisata Olahraga (Sport Tourism). *Jurnal Pengembangan Kota*, 10(2), 167–180. <https://doi.org/10.14710/jpk.10.2.167-180>
- [2] Furqani, Affas. Perancangan Pidie Jaya Sport Center. Diss. UIN Ar-Raniry Banda Aceh, 2023. (2022). Perancangan Pidie Jaya Sport Center. Diss. UIN Ar-Raniry Banda Aceh, 2023. 9, 356–363.
- [3] Laily, R., Sumajouw, M. D. J., & Wallah, S. E. (2019). Perencanaan Gedung Training Center Konstruksi Beton Bertulang 4 Lantai Di Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 7(8), 1095–1106.
- [4] Haryadi, G. D. (2014). Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan , Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pada Baja K-460. 1–8.
- [5] Purwanto, Herri, and Utari Cakra Wardani. "Pengaruh Penambahan Serbuk Besi Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu K225." *Jurnal Deformasi* 5.2 (2020): 103-112.
- [6] Amiwarti, Amiwarti, and Mahipal Mahipal. "Analisa Pengaruh Serbuk Kaca dan Abu Terbang Sebagai Bahan Pengganti Alternatif Terhadap Kuat Tekan Beton." *Jurnal Deformasi* 4.1 (2019): 1-12.
- [7] Firdaus, M. (2005). *STAAD 2004 untuk Orang Awam*. Maxikom.
- [8] Mulyana, Asep, et al. *Metode penelitian kualitatif*. Penerbit Widina, 2024.
- [9] SNI 1726. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [10] SNI 2847. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*.

- Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [11] SNI 1727. (2020). *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.