

Analisis Struktur Portal Gedung Bertingkat Dengan Metode Matriks Kekakuan Langsung Akibat Deformasi

Rindy Ayu Avisal¹, Budi Doloksaribu^{1,*}, Dewi Sriastuti Nababan¹

Teknik Sipil, Universitas Musamus

Merauke, Papua Selatan, Indonesia

rindy.ayu31@gmail.com¹, budi@unmus.ac.id^{1,*}, nababan@unmus.ac.id¹

Abstrak – Perkembangan konstruksi terus mengalami peningkatan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Konstruksi beton digunakan untuk masa layan yang lebih lama dibandingkan dengan konstruksi kayu dan memiliki kemampuan yang dapat menahan gaya tekan, gaya tarik dan gaya geser sehingga struktur bangunan menjadi lebih kuat dan aman. Analisis struktur bangunan gedung beton bertulang dengan menggunakan metode Matriks Kekakuan dilakukan untuk mendapatkan deformasi yang terjadi pada struktur. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Matriks Kekakuan. Proses analisis struktur gedung dengan menggunakan bantuan *software* SAP 2000 v14.0.0 sebagai pembandingan. Analisa perhitungan dilakukan terhadap beban-beban yang bekerja untuk mendapatkan nilai deformasi yang terjadi pada struktur bangunan gedung. Perhitungan struktur dilakukan untuk memastikan kapasitas struktur lebih kuat dibandingkan dengan beban layan. Hasil analisis perhitungan portal arah X pada bentang 3,50 m dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode Matriks Kekakuan deformasi yang dihasilkan pada lantai tingkat 1 sebesar 2,217 mm dan pada atap sebesar 2,889 mm; yang mana nilai tersebut lebih kecil dari δ_{ijin} per lantai = 30 mm, sehingga struktur bangunan gedung perkantoran ini memenuhi ketentuan yang disyaratkan.

Kata kunci : Beton Bertulang, Matriks Kekakuan, SAP 2000 v14.0.0

Abstract – The development of construction continues to increase to meet human needs. Concrete construction is used for a longer service life compared to wooden construction and has the ability to withstand compressive, tensile and shear forces so that the building structure becomes stronger and safer. Analysis of reinforced concrete building structures using the Stiffness Matrix method is carried out to obtain deformations that occur in the structure. The method used in this study is the Stiffness Matrix. The process of analyzing the structure of the building using the help of SAP 2000 v14.0.0 software as a comparison. Calculation analysis is carried out on the working loads to get the value of the deformation that occurs in the building structure. Structural calculations are carried out to ensure that the structural capacity is stronger than the service load. The results of the analysis of the X direction portal calculation on a span of 3,50 m can be concluded that by using the Deformation Stiffness Matrix method the resulting deformation on the floor level 1 is 2,217 mm and on the roof is 2,889 mm; which value is less than δ_{permit} per floor = 30 mm, so that the structure of this office building meets the requirements.

Keywords : Reinforced Concrete, Stiffness Matrix, SAP 2000 v14.0.0

1. PENDAHULUAN

Perkembangan konstruksi terus mengalami peningkatan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Pembangunan sarana dan prasarana sangat diperlukan untuk menunjang aktivitas manusia baik untuk hunian maupun dalam memberikan pelayanan terhadap sesama [1], [2]. Jenis konstruksi bangunan disesuaikan dengan kebutuhan, umur layan dan ketersediaan material di lokasi pembangunan. Konstruksi beton digunakan untuk masa layan yang lebih lama dibandingkan dengan konstruksi kayu dan ketersediaan agregat sebagai bahan penyusun beton padalokasi pekerjaan cukup memadai selama alasan biaya atau harga jika dibandingkan dengan konstruksi baja. Konstruksi beton bertulang memiliki kemampuan yang dapat menahan gaya tekan, gaya tarik dan gaya geser sehingga struktur bangunan menjadi lebih kuat dan aman.

Perhitungan struktur dilakukan untuk memastikan kapasitas struktur lebih kuat dibandingkan dengan beban layan. Analisa perhitungan pada penelitian terdahulu menggunakan metode Takabeya, metode Cross serta MATLAB untuk mengetahui beban-beban yang terjadi pada struktur bangunan. Perlu diketahui bahwa perhitungan struktur menuntut perlakuan yang jelas dan mendalam sehingga pada penelitian ini digunakan suatu metode matriks kekakuan. Saat merencanakan suatu sistem struktur perlu dilakukannya analisis struktur. Apabila suatu struktur semakin rumit maka akan menghasilkan banyak derajat kebebasan dan dalam pengerjaannya jika dihitung secara manual akan memerlukan waktu yang cukup lama. Software dikembangkan dengan konsep dasar yang sama untuk menganalisis struktur dan pembebanan secara matematis maupun numerik.

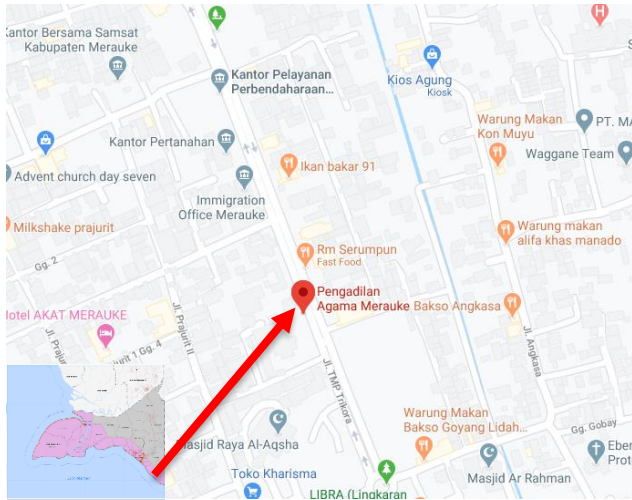
Untuk mempermudah proses analisis struktur ini digunakan *software* SAP 2000 v14.0.0 sebagai pembandingan. Program SAP 2000 v14.0.0 digunakan untuk mengetahui kelayakan struktur terhadap penambahan beban ataupun beban-beban yang bekerja.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis struktur bangunan gedung beton bertulang dengan menggunakan metode matriks kekakuan dan aplikasi SAP 2000 v14.0.0 sebagai pembandingan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi penelitian

Penelitian dilakukan terhadap struktur Gedung Kantor Pengadilan Agama Merauke yang berlokasi di jalan TMP, kelurahan Kelapa Lima, Kabupaten Merauke.



Gambar 1. Denah Kantor Pengadilan Agama Merauke

2.2. Metode pengumpulan data

Metode pengumpulan data memegang peranan penting dalam keberhasilan penelitian karena tahap analisa dan pengolahan data tergantung pada tahap pengumpulan data. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari pihak perencana gedung berupa gambar rencana bangunan.

2.3. Teknik analisis data

a. Pembebanan

Beban-beban yang terjadi pada struktur bangunan mengacu pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)[3]. Untuk beban mati atau berat sendiri gedung dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Berat berat sendiri bangunan

Komponen gedung	Berat jenis
Beton Bertulang	2.400 kg/m ³
Kayu (Kelas I)	1000 kg/m ³
Kayu (Kelas II)	900 kg/m ³
Dinding Pasangan Bata	250 kg/m ²
Plafond	11 kg/m ²
Penutup Atap	24 kg/m ²
Keramik	24 kg/m ²
Spesi	21 kg/m ²

Sumber: PPIUG 1983[3].

Beban hidup yang bekerja pada lantai bangunan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Beban hidup pada lantai

No	Fungsi bangunan	Berat
1	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250 kg/m ²
2	Lantai dan balkon dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap.	400 kg/m ²

Sumber: PPIUG 1983[3].

Tekanan tiup minimum angin yang adalah sebesar 40 kg/m² dengan lokasi bangunan yang berada sejauh 5 km dari tepi laut.

Beban gempa adalah beban yang terjadi pada bangunan karena adanya dinamika tanah akibat dari gempa bumi dan berimbas pada struktur gedung. Menurut SNI 1726-2019 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung menyatakan bahwa untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur bangunan gedung akibat pengaruh gempa rencana, dalam segala hal δ yang dihitung simpangan struktur tidak boleh melampaui $\delta_1 = 0,03/R$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan, atau $\delta_2 = 30 \text{ mm}$ [4].

b. Kombinasi pembebanan

Dalam perencanaan konstruksi, beban yang bekerja pada suatu struktur selama umur rencana akan dikombinasikan sebagai berikut[5]:

- $1,4DL$
- $1,2DL + 1,6LL + 0,5 (A \text{ atau } R)$
- $1,2DL + 1,6 LL \pm 0,5 (A \text{ atau } W)$
- $0,9DL \pm 1,6W$
- $1,2DL + 1,0LL \pm 1,0E$
- $0,9DL \pm 1,0E$

c. Analisis perhitungan struktur

Analisis perhitungan struktur dengan menggunakan metode kekakuan diawali dengan mengganti sistem struktur yang ada menjadi struktur yang tergolong kinematis tertentu, maka seluruh perpindahan yang tidak diketahui akan sama dengan nol, sehingga titik simpul struktur harus dikekang terhadap segala macam perpindahan yang akan terjadi dan disebut struktur terkekang (*restrained structure*) dan ditinjau setiap satu satuan deformasi.

Perhitungan deformasi pada sistem struktur ditujukan untuk dua hal yaitu:

- Untuk keperluan kelayakan struktur (*serviceability*).
- Pada benda statis dan deformasi, sistem struktur berbentuk statis tertentu, sehingga untuk menghitungnya digunakan persamaan keseimbangan dan diagram benda bebas (*free body diagram*). Disamping itu terdapat pula struktur statis tak tentu yang mempunyai perhitungan yang berbeda.

d. Metode matriks kekakuan

Metode kekakuan langsung yaitu perpindahan sebagai variabel yang tidak diketahui dan dicari terlebih dahulu, secara matematis yaitu :

$$\{F\} = [K] \cdot \{D\}$$

Secara notasi matriks kekakuan elemen lokal dapat ditulis :

$$\begin{Bmatrix} f_i \\ g_i \\ m_i \\ f_j \\ g_j \\ m_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12IE}{L^3} & \frac{6IE}{L^2} & 0 & -\frac{12IE}{L^3} & \frac{6IE}{L^2} \\ 0 & \frac{6IE}{L^2} & \frac{4IE}{L} & 0 & -\frac{6IE}{L^2} & \frac{2IE}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12IE}{L^3} & -\frac{6IE}{L^2} & 0 & \frac{12IE}{L^3} & -\frac{6IE}{L^2} \\ 0 & \frac{6IE}{L^2} & \frac{2IE}{L} & 0 & -\frac{6IE}{L^2} & \frac{4IE}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \theta_i \\ u_j \\ v_j \\ \theta_j \end{Bmatrix}$$

Transformasi koordinat global, yaitu :

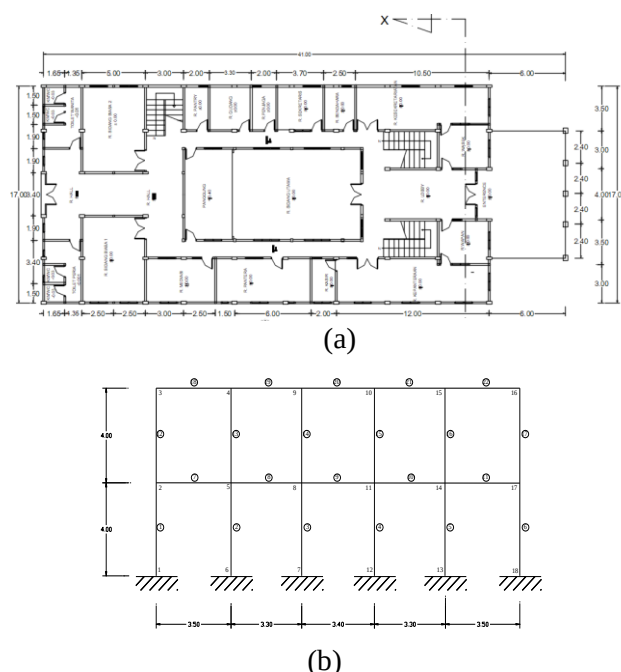
$$\begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \theta_i \\ u_j \\ v_j \\ \theta_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \theta_i \\ u_j \\ v_j \\ \theta_j \end{Bmatrix}$$

Kondisi keseimbangan statis secara umum, akan memberikan hubungan antara gaya-gaya yang bekerja dan gaya-gaya dalam, dan dapat dinyatakan pada persamaan berikut[6]:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 & \sum F_y &= 0 & \sum F_z &= 0 \\ \sum M_x &= 0 & \sum M_y &= 0 & \sum M_z &= 0 \end{aligned}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur bangunan gedung beton bertulang dengan menggunakan metode matriks kekakuan. Struktur bangunan yang dianalisis dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. (a) Denah gedung, (b) Portal arah X

3.1 Beban-beban struktur

Beban yang dipikul struktur pada penelitian ini diatur menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983), adalah sebagai berikut[3] :

a. Beban mati

Beban mati yang dipikul oleh struktur gedung antara lain adalah :

- Beban dinding : 250 kg/m²
- Beban plafond : 11 kg/m²
- Beban lantai (keramik) : 24 kg/m²
- Beban bondex lantai : 8 kg/m²
- Berat jenis kayu kelas I : 1000 kg/m³
- Beban pelat lantai (tebal 12 cm) 2400 kg/m³ dan terhitung sebagai berat sendiri pelat dalam aplikasi SAP 2000 v14.0.0

b. Beban hidup

Beban hidup yang bekerja pada struktur ditinjau sesuai dengan fungsi gedung yaitu sebagai Gedung Perkantoran. Beban yang dipikul yaitu sebesar :

- Beban hidup ruang kerja : 250 kg/m²
- Beban hidup frame : 100 kg/m¹
- Beban hidup railing : 100 kg/m¹
- Beban hidup air : 10 kg/m²

c. Beban angin

Beban angin yang diambil berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 pasal 4.2 ayat 2 adalah 40 kg/m².

d. Beban gempa

Beban gempa dari data bangunan struktur gedung berada pada wilayah gempa I dengan kondisi tanah lunak dimana fungsi bangunan adalah sebagai gedung perkantoran dan termasuk dalam kategori resiko II. Untuk spektrum respon desain Merauke dapat dilihat pada gambar 3.

Besar gaya lateral tiap tingkat pada portal dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Gaya lateral gempa tiap tingkat

Tingkat	hi (m)	hi ^k	wi (kN)	wi . hi ^k	Fi x-y (kN)	Tiap Portal (kN)	
						Fi x =	Fi y =
						Fi x-y/4	Fi x-y/6
Atap	8	10,2	1583,4	16210	542,7	135,7	90,4
1	4	4,7	1747,8	8240,6	275,9	68,9	45,9
		Σ	3331,2	24450,6			

3.2 Analisis dengan Metode Matriks Kekakuan

Langkah analisis adalah sebagai berikut:

- Merakit matriks kekakuan elemen $[S]_m$ terhadap sumbu lokal

$$[k]_1 = \begin{bmatrix} EA/L & 0 & 0 & -EA/L & 0 & 0 \\ 0 & 12EI/L & 6EI/L & 0 & -12EI/L & 6EI/L \\ 0 & 6EI/L & 4EI/L & 0 & -6EI/L & 2EI/L \\ -EA/L & 0 & 0 & EA/L & 0 & 0 \\ 0 & -12EI/L & -6EI/L & 0 & 12EI/L & -6EI/L \\ 0 & 6EI/L & 2EI/L & 0 & -6EI/L & 4EI/L \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 78750 & 0 & 0 & -78750 & 0 & 0 \\ 0 & 1230,469 & 2460,938 & 0 & -1230,469 & 2460,938 \\ 0 & 2460,938 & 6562,500 & 0 & -2460,938 & 3281,250 \\ -78750 & 0 & 0 & 78750 & 0 & 0 \\ 0 & -1230,469 & -2460,938 & 0 & 1230,469 & -2460,938 \\ 0 & 2460,938 & 3281,250 & 0 & -2460,938 & 6562,500 \end{bmatrix}$$

b. Kekakuan elemen $[k]_m$ terhadap sumbu struktur

$$[k]_m = [T]_m^T [S]_m [T]_m$$

$$[k]_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} 78750 & 0 & 0 & -78750 & 0 & 0 \\ 0 & 1230,469 & 2460,938 & 0 & -1230,469 & 2460,938 \\ 0 & 2460,938 & 6562,500 & 0 & -2460,938 & 3281,250 \\ -78750 & 0 & 0 & 78750 & 0 & 0 \\ 0 & -1230,469 & -2460,938 & 0 & 1230,469 & -2460,938 \\ 0 & 2460,938 & 3281,250 & 0 & -2460,938 & 6562,500 \end{bmatrix} \times$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1230,469 & 0 & 2460,938 & -1230,469 & 0 & 2460,938 \\ 0 & 78750 & 0 & 0 & -78750 & 0 \\ 2460,938 & 0 & 6562,500 & -2460,938 & 0 & 3281,250 \\ -1230,469 & 0 & -2460,938 & 1230,469 & 0 & -2460,938 \\ 0 & -78750 & 0 & 0 & 78750 & 0 \\ 2460,938 & 0 & 3281,250 & -2460,938 & 0 & 6562,500 \end{bmatrix}$$

c. Momen primer

Momen primer pada elemen batang 1 dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$m = \frac{1}{12} q l^2 = \frac{1}{12} \times 174782,4 \times 4^2 = 233043,200 \text{ kg/m'}$$

d. Momen akhir

Perhitungan momen akhir pada elemen 1, diawali dengan menghitung dan menyusun *Overall stiffness matrix*.

$$Mu = \frac{1}{12} \times q \times l^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 1747,824 \times 4^2 = 2330,432 \text{ kN}$$

$$F^* + F = K \times U$$

Langkah selanjutnya yaitu *Rearrangement* (menyusun kembali) matriks yang sudah didapatkan. Setelah *direarrangement*, kemudian akan dicari *Unknown displacements and reactions* (perpindahan dan reaksi yang tidak diketahui).

$$\begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5454,5 & 0 & 0 \\ 0 & 354,6 & -6830 \\ 0 & -401,4 & 11704,5 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 86 \\ 58 \\ 438 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0,016 \\ 2,605 \\ 0,127 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ G_1 \\ M_1 \\ F_3 \\ G_3 \\ M_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1424,280 \\ 5192,296 \\ 9324,126 \\ -1510,600 \\ -5217,128 \\ 8761,410 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya menghitung nilai *Member forces* = $[T] \cdot [kg] \cdot \{U\}$

$$[k]_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} 1230,469 & 0 & 2460,938 & -1230,469 & 0 & 2460,938 \\ 0 & 78750 & 0 & 0 & -78750 & 0 \\ 2460,938 & 0 & 6562,500 & -2460,938 & 0 & 3281,250 \\ -1230,469 & 0 & -2460,938 & 1230,469 & 0 & -2460,938 \\ 0 & -78750 & 0 & 0 & 78750 & 0 \\ 2460,938 & 0 & 3281,250 & -2460,938 & 0 & 6562,500 \end{bmatrix} \times$$

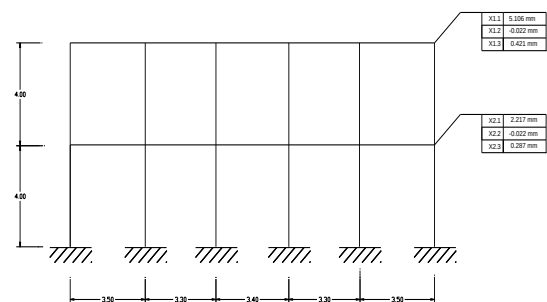
$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,016 \\ 2,605 \\ 0,127 \end{bmatrix}$$

$$[k]_1 = \begin{bmatrix} -205155,50 \\ -292,39 \\ 376,87 \\ 205155,50 \\ 292,39 \\ 792,68 \end{bmatrix}$$

Penyelesaian analisis $[K]s \cdot \{X\}s = \{P\}s$ menghasilkan perpindahan $[m]$ dan rotasi $[rad]$ titik-titik kumpul sebagai berikut :

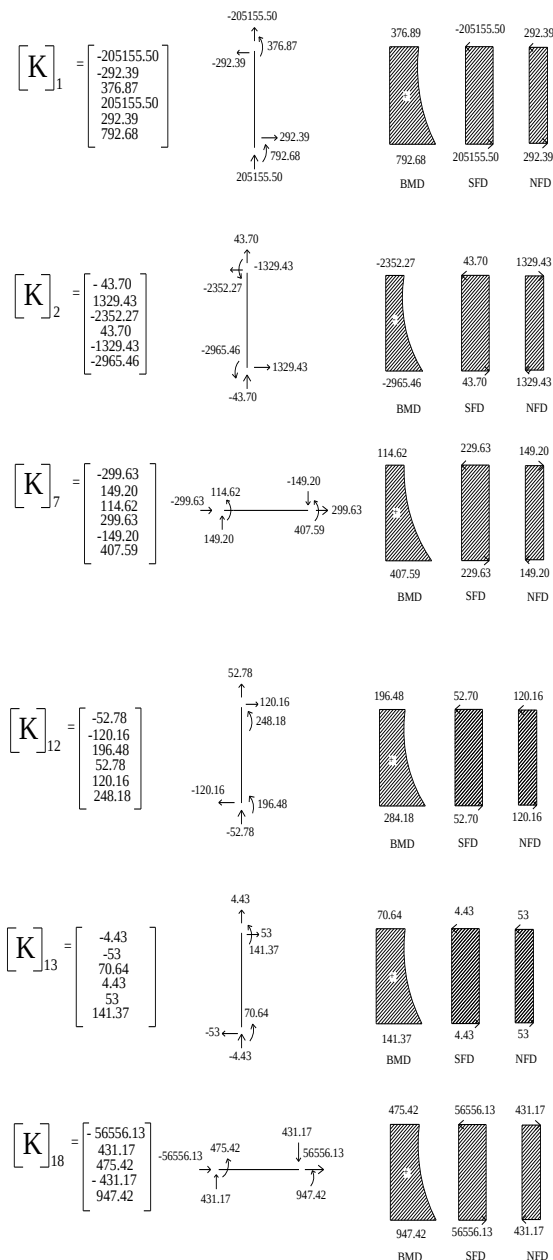
$$\{X\}_1 = \begin{bmatrix} -5,106 \\ -0,022 \\ 2,217 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{1.1} \\ X_{1.2} \\ X_{1.3} \end{bmatrix}$$

$$\{X\}_2 = \begin{bmatrix} 0,421 \\ -0,022 \\ -0,287 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{2.1} \\ X_{2.2} \\ X_{2.3} \end{bmatrix}$$



Gambar 4. Displacement struktur berdasarkan Matriks Kekakuan

Berdasarkan hasil perhitungan elemen berupa reaksi tumpuan dan gaya-gaya dalam elemen maka dibuat gambar diagram momen (BMD), gaya lintang (SFD) dan gaya normal (NFD), dapat dilihat pada gambar 5.

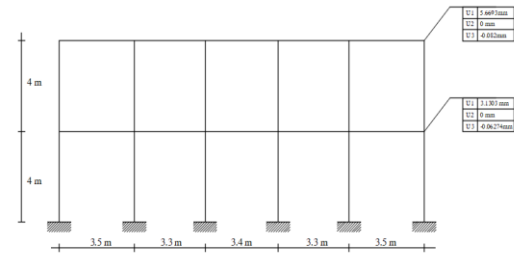
Gambar 5. Momen pada [K]₁, [K]₂, [K]₇, [K]₁₂, [K]₁₃, [K]₁₈

3.3 Analisa struktur menggunakan SAP 2000 v14.0.0

Dalam melakukan analisis struktur digunakan aplikasi SAP 2000 v14.0.0 untuk mempermudah perhitungan.

a. Pemodelan pembebanan dan displacement struktur yang terjadi di setiap lantai.

Langkah pertama dalam melakukan analisis menggunakan aplikasi SAP 2000 v14.0.0 adalah pemodelan struktur, kemudian diinput nilai-nilai yang terdapat pada perhitungan. Setelah melakukan proses run analisis, maka didapatkan nilai displacement pada gambar 6 berikut:



Gambar 6. Displacement struktur berdasarkan aplikasi SAP 2000 v14.0.0

b. Perhitungan simpangan antar struktur

Perhitungan simpangan antar tingkat pada struktur dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 v14.0.0 berdasarkan SNI 1726-2019. Simpangan antar tingkat dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Simpangan Antar Tingkat Struktur

Tingkat	Tinggi Tingkat h (mm)	Simpangan struktur δ_i (mm)	Simpangan antar tingkat δ_i (mm)	$\delta_1=0,03/R \cdot h$ (mm)	δ_2 (mm)
Atap	8000	5,6603	2,5300	40	30
1	4000	3,1303	3,1303	40	30

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis perhitungan portal arah X pada bentang 3,50 m dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode Matriks Kekakuan menghasilkan nilai deformasi tingkat 1 sebesar 2,217 mm dan pada atap sebesar 2,889 mm; yang mana nilai tersebut lebih kecil dari 30mm yang merupakan δ_{ijin} per lantai, sehingga struktur bangunan gedung perkantoran ini memenuhi ketentuan seperti yang disyaratkan pada SNI 1726-2019.

REFERENSI

- [1] C. Nawal, B. Doloksaribu, and J. Paresa, "Perhitungan Rencana Anggaran Biaya dan Metode Pelaksanaan Pada Perencanaan Ulang Gedung Struktur Baja," *Musamus J. Civ. Eng.*, vol. 4, no. 02, pp. 95–104, 2022.
- [2] T. Budinata and A. Al Huda, "Perkembangan Mutu Pada Proyek Konstruksi: Sebuah Kajian Literatur," in *Seminar Keinsinyuran Program Studi Program Profesi Insinyur*, 2021, vol. 1, no. 2.
- [3] BSN, "Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung," *Diektorat Penyelid. Masal. bangunan, bandung*, pp. 1–9, 1983.
- [4] SNI-1726, "Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung," *Badan Stand. Nas. Indones.*, vol. 7798393, no. April, 2002.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002," *Bandung Badan Stand. Nas.*, p. 251, 2002.
- [6] B. Suhendro, *Analisis Struktur Metode Matriks*, 4th ed. Yogyakarta: Beta Offset, 2005.