

Redesign of Nahdlatul Ulama Hospital (RSNU) Jombang Using the Special Moment Resisting Frame Method

Perencanaan Ulang Rumah Sakit Nahdlatul Ulama (RSNU) Jombang Menggunakan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Ivan Candri Zabarij Umaruzzaman¹⁾, Hendri Hermawan ^{*,2)}

¹⁾ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: hendrihermawan@umsida.ac.id

Abstract. *The structural design of multi-story buildings requires accuracy and calculations that refer to applicable regulatory standards. In this study, the structural design was carried out by applying the Special Moment Resisting Frame System (SMRFS) based on SNI 2847:2019 and SNI 1726:2019. The modeling and structural analysis process used SAP2000 software, starting from creating the building model, inputting the applied loads, to analyzing internal forces within the structure. The design results show that the dimensions of structural elements such as beams, columns, and floor slabs meet the requirements for strength, stability, and safety against seismic loads. With this approach, the building structure is considered to behave in a ductile manner and is safe against failure, in accordance with the fundamental principles of earthquake-resistant design.*

Keywords - Structure; SRPMK; Concrete

Abstrak. *Perencanaan struktur bangunan bertingkat memerlukan ketelitian dan perhitungan yang mengacu pada standar peraturan yang berlaku. Dalam studi ini, perencanaan struktur dilakukan dengan menerapkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berdasarkan acuan SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019. Proses pemodelan dan analisis struktur menggunakan software SAP2000 dimulai dari pembuatan model bangunan, penginputan beban-beban yang bekerja, hingga analisis gaya dalam struktur. Hasil perencanaan menunjukkan bahwa dimensi elemen struktur seperti balok, kolom, dan pelat lantai telah memenuhi syarat kekuatan, stabilitas, dan keamanan terhadap beban gempa. Dengan pendekatan ini, struktur bangunan dinilai mampu berperilaku duktail dan aman terhadap kegagalan, sesuai dengan prinsip dasar desain tahan gempa.*

Kata Kunci - Struktur; SRPMK; Beton

I. PENDAHULUAN

Rumah sakit merupakan fasilitas vital dalam sistem pelayanan kesehatan, sehingga perencanaannya harus mempertimbangkan berbagai aspek teknis dan non-teknis secara menyeluruh. Salah satu aspek utama adalah ketahanan struktur terhadap beban gempa, mengingat rumah sakit harus tetap berfungsi optimal bahkan saat terjadi bencana. Gaya gempa yang bersifat tidak terduga dari sisi arah, besar, maupun waktunya, dapat menimbulkan gaya lateral, vertikal, dan torsi yang dipengaruhi oleh massa, kekakuan struktur, bentuk bangunan, kondisi tanah, dan karakteristik wilayah seismik.

Pembangunan gedung bertingkat menjadi solusi atas keterbatasan lahan, seiring dengan meningkatnya kebutuhan ruang akibat pertumbuhan penduduk. Namun, bangunan vertikal memiliki kerentanan lebih tinggi terhadap gaya lateral, sehingga pada daerah rawan gempa, perencanaannya harus memperhitungkan beban seismik dengan cermat. Desain struktur harus mampu merespons gaya dinamis yang timbul saat gempa, agar bangunan tidak mengalami kerusakan atau keruntuhan yang membahayakan keselamatan pengguna.

Dalam perencanaan struktur tahan gempa, diperlukan pendekatan yang menjamin kekuatan dan perilaku struktur terhadap beban ekstrem. Sistem struktur yang umum digunakan adalah SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus), terutama pada bangunan berisiko tinggi seperti rumah sakit yang masuk dalam klasifikasi risiko IV. Sistem ini dirancang agar bangunan mampu bertahan terhadap gempa kecil hingga besar tanpa mengalami keruntuhan struktural.

Tugas akhir ini akan merencanakan ulang Rumah Sakit Nahdlatul Ulama (RSNU) Jombang, dari bangunan 2 lantai menjadi 5 lantai untuk menambah kapasitas ruang pasien. Kota Jombang dikategorikan sebagai wilayah gempa sedang berdasarkan SNI 1726:2019, sehingga bangunan rumah sakit sebagai fasilitas publik harus memenuhi ketentuan

perencanaan gempa sesuai SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2020. Oleh karena itu, perencanaan ulang struktur akan menggunakan sistem SRPMK guna menjamin ketahanan dan keamanan bangunan secara menyeluruh.

II. METODE

Untuk memperoleh hasil analisis yang tepat dalam mencapai tujuan penelitian, proses analisis data dilakukan melalui tahapan-tahapan yang sistematis dan berdasarkan teori yang relevan dengan permasalahan. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Studi Pustaka

Tahap ini dilakukan dengan menghimpun informasi dari berbagai sumber seperti buku, peraturan, dan referensi lain yang relevan. Studi literatur bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan dalam perencanaan struktur baja serta memperoleh dasar teoritis yang kuat dan dapat dipertanggungjawabkan dalam pelaksanaan penelitian. Dalam pelaksanaan tugas akhir ini, pedoman-pedoman tertentu dijadikan acuan agar proses perencanaan mengikuti standar yang berlaku.

- SNI 2847:2019 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung)
- SNI 1726:2019 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung)
- SNI 1727:2020 (Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain)
- PPIUG 1983 (Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung Tahun 1983)

2. Analisa Desain Struktur Existing

Dalam menganalisis desain eksisting, dilakukan peninjauan terhadap sistem pemikul beban vertikal dan lateral yang telah diterapkan. Beberapa parameter teknis yang dianalisis antara lain adalah ukuran dan penulangan elemen struktur (balok dan kolom), konfigurasi denah dan elevasi bangunan, serta sambungan-sambungan struktural antar elemen. Selain itu, evaluasi juga mempertimbangkan apakah struktur eksisting telah memenuhi ketentuan terbaru yang tercantum dalam peraturan SNI 2847:2019 (untuk beton bertulang) dan SNI 1726:2020 (untuk ketahanan gempa).

- Analisa kekuatan struktur kolom
- Analisa kekuatan struktur balok

3. Pemodelan Perencanaan Struktur

Dalam studi ini, perangkat lunak bantu SAP2000 digunakan untuk melakukan pemodelan dan analisis struktur secara menyeluruh guna menyederhanakan proses perhitungan yang kompleks. Pemodelan struktur mencakup berbagai aspek penting, seperti konfigurasi geometris bangunan, penentuan elemen-elemen struktural utama (balok, kolom, pelat), serta material yang digunakan. Seluruh data input didasarkan pada gambar kerja yang telah diperbarui, dengan rencana penambahan jumlah lantai. Selain itu, pemodelan ini juga mempertimbangkan perubahan beban dan sistem struktur akibat modifikasi desain, agar hasil analisis dapat mencerminkan kondisi aktual struktur secara lebih akurat dan dapat dijadikan acuan dalam perencanaan ulang, perlu menentukan yang meliputi :

- Menentukan dimensi struktur kolom
- Menentukan dimensi struktur balok
- Menentukan desain perencanaan ulang

4. Perencanaan Pembebanan

Dalam proses perencanaan ulang struktur Rumah Sakit Nahdlatul Ulama di Kota Jombang, digunakan tiga jenis pembebanan utama. Ketiga jenis pembebanan tersebut kemudian dikombinasikan menggunakan kombinasi pembebanan yang telah ditetapkan dalam standar perencanaan struktur. Bertujuan untuk memperoleh kondisi pembebanan terberat yang memungkinkan, sehingga struktur dapat dirancang agar mampu menahan beban maksimum yang mungkin terjadi selama masa layan bangunan, baik dalam kondisi normal maupun saat bencana. Beban tersebut meliputi :

- Beban mati
- Beban hidup
- Beban gempa
- Beban Angin

5. Analisa Struktur

Setelah beban-beban yang bekerja pada struktur ditentukan, tahapan berikutnya adalah melakukan analisis struktur. Proses ini mencakup beberapa langkah, antara lain:

- Membuat pemodelan struktur berdasarkan gambar rencana menggunakan perangkat lunak SAP2000
- Memasukkan beban-beban yang telah ditentukan ke dalam model pada aplikasi SAP2000
- Melakukan proses analisis struktural dengan menjalankan simulasi pada SAP2000

- Mengambil dan menafsirkan hasil output analisis yang dihasilkan oleh SAP2000

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Desain Struktur Existing

1. Data Umum Bangunan

Berikut adalah data umum yang dimiliki bangunan :

- a. Lokasi : Kota Jombang, Jawa Timur
- b. Fungsi Bangunan : Rumah Sakit
- c. Jumlah Lantai : 2 Lantai
- d. Luas Bangunan : 1399 m²
- e. Jenis Tanah : Tanah Sedang

2. Data Material

- a. Mutu Beton (fc') : 41,78 MPa
- b. Mutu Baja Tulangan : D < 10mm , fy = 240 MPa (Polos)
D > 10mm , fy = 420 MPa (Ulir)

3. Kapasitas Kekuatan Balok

Luas baja tulangan yang ditempatkan sangat menentukan kapasitas momen yang diandalkan oleh elemen balok, yang merupakan komponen elemen struktural, untuk memikul beban. Elemen struktur balok yang dihitung kekuatan penampangannya meliputi:

- Perhitungan kapasitas lentur balok
Perhitungan momen lentur eksisting menggunakan persamaan
 $M_n = M_{nc} + M_{ns}$
- Perhitungan kapasitas geser balok
Perhitungan kapasitas geser eksisting menggunakan persamaan

$$V_n = \frac{A_s f_y}{s} d$$

4. Kapasitas Kekuatan Kolom

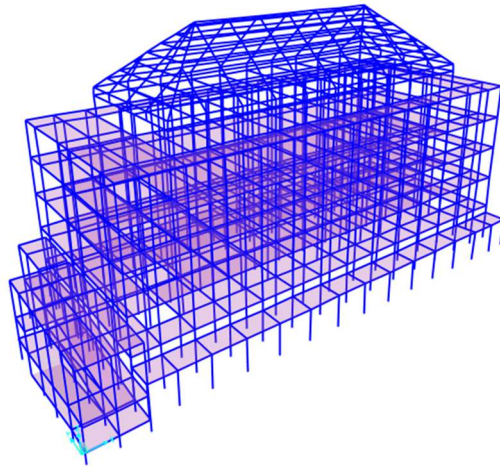
Peran utama elemen kolom adalah untuk mendukung beban aksial penampang beton bertulang, dan kapasitas pemasangan tulangan menentukan kapasitas momen elemen. Elemen struktur kolom yang dihitung kekuatan penampangannya meliputi:

- Perhitungan kapasitas lentur dan aksial kolom
Perhitungan kapasitas kekuatan kolom didasarkan pada 3 jenis keruntuhan, yakni “keruntuhan seimbang, keruntuhan tarik, dan keruntuhan tekan.” Perhitungan kapasitas aksial kolom dihitung menggunakan persamaan
 $P_n = C_c + C_s - T$
Perhitungan kapasitas momen kolom dengan menggunakan persamaan
 $M_n = P_n e$
- Perhitungan kapasitas geser kolom
Perhitungan kapasitas geser eksisting menggunakan persamaan

$$V_n = \frac{A_s f_y}{s} d$$

B. Pemodelan Perencanaan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000, yang memungkinkan perancang untuk memvisualisasikan sistem struktur, menginput beban sesuai standar, serta menganalisis respons struktur terhadap kombinasi pembebanan yang terjadi. Proses ini menjadi dasar dalam menilai kinerja dan stabilitas bangunan, serta dalam menentukan elemen-elemen struktur yang efisien dan aman secara teknis.



Gambar 1. Pemodelan Desain Struktur RSNU Jombang

C. Perencanaan Pembebanan

Pembebanan pada struktur Rumah Sakit Nahdlatul Ulama Jombang diinputkan menggunakan software SAP2000. Beban itu meliputi beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa. Pembebanan berdasarkan SNI 1727:2020, 1726:2019 dan PPIUG 1987.

1. Beban Mati

Beban structural	
Bahan Bangunan	Berat (kg/m³)
Beton	2200
Beton Bertulang	2400

Tabel 1. Beban mati struktural

Beban Non-Struktural	
Bahan Bangunan	Berat (kg/m²)
Spesi dari semen, per cm tebal	21
Dinding bata merah ½ batu	250
Langit-langit	11
Penggantung langit-langit	7
Penutup lantai, per cm tebal	24
MEP	25

Tabel 2. Beban mati Non-Struktural

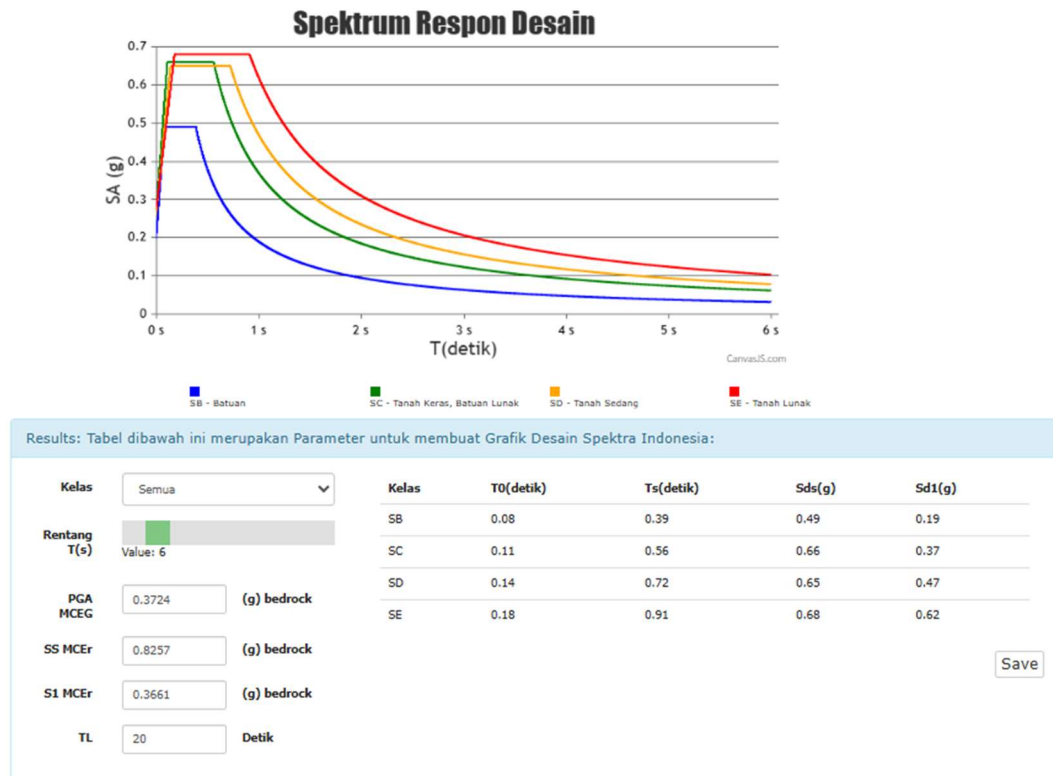
2. Beban Hidup

Hunian atau Penggunaan	Beban KN/m ²
Ruang operasi, laboratorium	2,87
Ruang pasien	1,92
Koridor diatas lantai pertama	3,83

Tabel 3. Beban Hidup Rumah Sakit

3. Beban Gempa

Beban gempa diambil dari website resmi pemerintah yaitu Desain Spektra Indonesia, dengan menyesuaikan data pada kota Jombang, Jawa Timur.



Gambar 2. Respon Spektrum Desain Kota Jombang

4. Beban Angin

Beban angin diperoleh dari berdasarkan sumber BPS provinsi Jawa Timur kecepatan rata-rata angin tahun 2015-2017 yaitu 7,2 Knots.

D. Analisa Struktur

1. Data bangunan
 - a. Lokasi : Kota Jombang, Jawa Timur
 - b. Fungsi Bangunan : Rumah Sakit
 - c. Jumlah Lantai : 5 Lantai
 - d. Luas Bangunan : 968 m²
 - e. Jenis Tanah : Tanah Sedang
2. Data Material
 - a. Mutu baja profil (fy) : 240 Mpa
 - b. Mutu beton (fc') : 41,78 Mpa
 - c. Mutu baja ulir (fy) : 420 Mpa
 - d. Mutu baja polos (fy) : 240 Mpa
3. Input Data Pembebanan

Penginputan data pembebanan sebelum dilakukan pengecekan kekuatan struktur menggunakan software SAP2000 dan disesuaikan dengan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020 dan PPIUG 1987.

Gambar 3. Input Beban Ruang Operasi

Gambar 4. Input Beban Ruang Pasien

Gambar 5. Input Beban Ruang Diatas Lantai Pertama

Gambar 6. Input Beban Mati Tambahan

Gambar 7. Input Beban Angin

Gambar 1. Input Respon Spektrum

4. Data Perencanaan Kolom

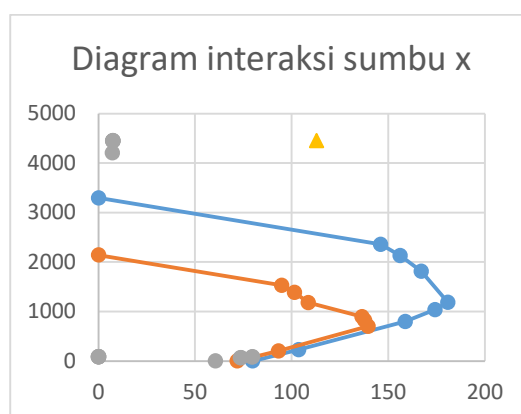
a. Kolom

Lebar (b)	: 400 mm
Tinggi (h)	: 400 mm
Panjang kolom	: 4450 mm
Diameter tulangan pokok	: 16 mm
Diameter tulangan geser	: 10 mm

$$\begin{aligned}
&\text{Jarak Sengkang} && : 100 \text{ mm} \\
&\text{Tebal selimut} && : 30 \text{ mm} \\
&\text{Jumlah tulangan (n)} && : 16 \text{ buah} \\
&\text{Perhitungan tulangan :} \\
&\text{Luas penampang kolom (A)} \\
&A &= b \cdot h \\
&&= 400 \cdot 400 \\
&&= 160000 \text{ mm}^2 \\
&\text{Luas total penampang tulangan (As)} \\
&As &= n \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) \\
&&= 16 \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 \right) \\
&&= 3215,36 \text{ mm}^2 \\
&\text{Hitung Kapasitas Nominal (Pn,max)} \\
&Pn \text{ max} &= 0,85 \cdot f_c' (A_g - A_s) + f_y \cdot A_s \\
&&= 0,85 \cdot 41 (160000 - 3217) + 400 \cdot 3217 \\
&&= 0,85 \cdot 41 \cdot 156783 + 1,286,800 \\
&&= 5,466,344 + 1,286,800 \\
&&= 6,753,144 \text{ N} \\
&\text{Kapasitas Tekan Izin (\phi Pn,max)} \\
&\phi = 0,65 \rightarrow \text{untuk momen cukup besar} \\
&\phi Pn, \text{max} &= 0,65 \cdot 6,753,144 \\
&&= 4,389,544 \text{ N} \\
&&= 4573,5 \text{ Kn} \\
&Pu < Pn \text{ max} &= 4453,73 < 4573,5 \quad \text{OK (Aman)} \\
&\text{Rasio tulangan} \\
&\rho &= As : A \\
&&= 3215,36 : 160000 \\
&&= 0,02009 \cdot 100 \\
&&= 2,009\% \\
&\text{Syarat rasio tulangan rencana} \\
&\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\
&1\% < 2,009\% < 8\% \quad \text{OK} \\
&\text{Jarak tulangan ke serat terdekat (x)} \\
&dx' &= ts + p + d/2 \\
&&= 30 + 10 + 16/2 \\
&&= 48 \text{ mm} \\
&\text{Tinggi efektif (x)} \\
&dx &= h - dx' \\
&&= 400 - 46 \\
&&= 354 \text{ mm} \\
&\text{Jarak tulangan ke serat terdekat (y)} \\
&dy' &= ts + p + d/2 \\
&&= 30 + 10 + 16/2 \\
&&= 48 \text{ mm} \\
&\text{Tinggi efektif (y)} \\
&dy &= b - dy' \\
&&= 400 - 48 \\
&&= 352 \text{ mm}
\end{aligned}$$

c	$\emptyset$	P_n	$\emptyset P_n$	M_n	$\emptyset M_n$
mm	mm ²	kN	kN	kNm	kNm
	0,90	0	0	79,73034	71,7573
48,00	0,90	227,6488	204,884	103,6113	93,25014
100,00	0,88	800,8284	703,13	158,9061	139,5195
130,00	0,79	1041,077	823,2516	174,1804	137,7365
148,24	0,76	1187,11	896,2683	180,818	136,5176
200,00	0,65	1813,871	1179,016	167,1108	108,622
230,00	0,65	2133,385	1386,7	156,2454	101,5595
252,00	0,65	2355,7	1531,205	146,0583	94,93793
	0,65	3299,27	2144,526	0	0

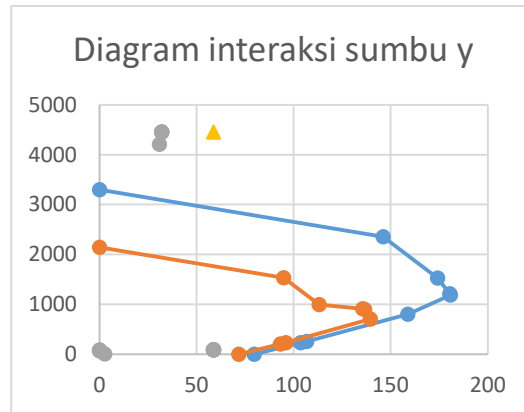
Tabel 4. Diagram interaksi sumbu x



Gambar 2. Diagram interaksi sumbu x

c	$\emptyset$	P_n	$\emptyset P_n$	M_n	$\emptyset M_n$
mm	mm ²	kN	kN	kNm	kNm
0,00	0,90	0	0	79,73034	71,7573
48,00	0,90	227,6488	204,884	103,6113	93,25014
50,00	0,90	255,723	230,1507	106,6538	95,98845
100,00	0,88	800,8284	703,1273	158,9061	139,5195
148,24	0,76	1187,11	896,2683	180,818	136,5176
150,00	0,75	1210,889	910,5883	180,3703	135,6384
175,00	0,65	1526,849	992,4517	174,1454	113,1945
252,00	0,65	2355,7	1531,205	146,0583	94,93793
0,00	0,65	3299,27	2144,526	0	0

Tabel 5. Diagram interaksi sumbu y



Gambar 3 Diagram interaksi sumbu y

Kontrol kelangsingan dan perbesaran momen

Parameter kolom dan balok

Inersia kolom

$$\begin{aligned}
 I_k &= (1/12) b \cdot h^3 \\
 &= (1/12) 400 \cdot 400^3 \\
 &= 2.133.333.333,33 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Inersia balok

$$\begin{aligned}
 I_b &= (1/12) b \cdot h^3 \\
 &= (1/12) 250 \cdot 350^3 \\
 &= 893229166,66 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Panjang bersih kolom

$$\begin{aligned}
 L_u &= L_k - 0,5h_b - 0,5h_b \\
 &= 4425 - 0,5 \cdot 350 - 0,5 \cdot 350 \\
 &= 4075 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai kekakuan kolom

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai } E I/L \text{ kolom} &= (E_c \cdot I_k) : L_k \\
 &= (30383,12 \cdot 2.133.333.333,33) : 4425 \\
 &= 14.647.924.670,41 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

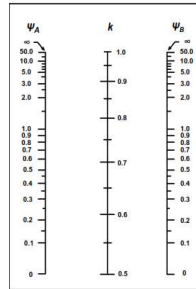
$$\begin{aligned}
 \text{Nilai } E I/L \text{ balok} &= (E_c \cdot I_b) : L_b \\
 &= (30383,12 \cdot 893229166,66) : 3200 \\
 &= 8.480.965.299,41 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Parameter bagian atas

$$\begin{aligned}
 \Psi \text{ atas} &= \frac{\sum \left(\frac{E I_k}{L_k} \right)}{\sum \left(\frac{E I_b}{L_b} \right)} \\
 &= \frac{\left(\frac{4634713220,338}{4425} \right)}{\left(\frac{8.480.965.299,41}{3200} \right)} \\
 &= 0,39519758
 \end{aligned}$$

Parameter bagian bawah

$$\begin{aligned}
 \Psi \text{ bawah} &= \frac{\sum \left(\frac{E I_k}{L_k} \right)}{\sum \left(\frac{E I_b}{L_b} \right)} \\
 &= \frac{\left(\frac{4634713220,338}{4425} \right)}{\left(\frac{8.480.965.299,41}{3200} \right)} \\
 &= 0,39519758
 \end{aligned}$$



Maka nilai k = 0,65

Jari-jari girasi $= \sqrt{(Ik : A)}$

$$= \sqrt{(2.133.333.333,33 : 160000)}$$

$$= 115,47 \text{ mm}$$

Kontrol kelangsingan kolom bergoyang

$$\frac{k \cdot Lu}{r} = \frac{0,65 \cdot 4075}{115,47} = 22,93$$

Sesuai syarat kelangsingan maka

$$\frac{k \cdot Lu}{r} = 22,93 > 22 \rightarrow \text{maka termasuk kolom panjang}$$

Kapasitas kolom sumbu x

Aksial murni

- Beban sentris

$$P_0 = A (0,85 \cdot f_c' + p (f_y - 0,85 \cdot f_c'))$$

$$= 160000 (0,85 \cdot 41,78 + 2 (420 - 0,85 \cdot 41,78))$$

$$= 4106,38 \text{ KN}$$

- Kapasitas aksial murni

$$P_n = 0,8 \cdot P_0$$

$$= 0,8 \cdot 4106,38$$

$$= 3285,109 \text{ KN}$$

Lentur murni

- Tinggi balok tegangan

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$= \frac{2411,52 \cdot 420}{0,85 \cdot 41,78 \cdot 300}$$

$$= 95,06 \text{ mm}$$

- Kapasitas momen murni

$$M_n = A_s \cdot f_y (d_y - (a/2))$$

$$= 2411,52 \cdot 420 (254 - (95,06/2))$$

$$= 209,12 \text{ KNm}$$

Kapasitas geser

- Kapasitas geser beton

$$V_c = 0,17 (1 + (P_u/14 \cdot A)) \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot dx$$

$$= 0,17 (1 + (4453,73/14 \cdot 90000)) 1 \sqrt{41,78} \cdot 300 \cdot 254$$

$$= 379,69 \text{ KN}$$

- Syarat penampang

$$V_u (\text{KN}) \leq \emptyset (V_c + 0,66 \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot dx)$$

$$116,168 \leq 0,75 (379,69 + 0,66 \sqrt{41,78} \cdot 300 \cdot 254)$$

$$116,168 \leq 244,09 \quad \text{OK}$$

Kapasitas kolom sumbu y

Aksial murni

- Beban sentris

$$P_0 = A (0,85 \cdot f_c' + p (f_y - 0,85 \cdot f_c'))$$

$$= 160000 (0,85 \cdot 41,78 + 2,68 (420 - 0,85 \cdot 41,78))$$

$$= 4106,38 \text{ KN}$$

- Kapasitas aksial murni

$$\begin{aligned}
 P_n &= 0,8 \cdot P_0 \\
 &= 0,8 \cdot 4106,38 \\
 &= 3285,109 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Lentur murni

- Tinggi balok tegangan

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\
 &= \frac{2411,52 \cdot 420}{0,85 \cdot 41,78 \cdot 300} \\
 &= 95,06 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas momen murni

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \cdot f_y (d_y - (a/2)) \\
 &= 2411,52 \cdot 420 (254 - (95,06/2)) \\
 &= 209,12 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Kapasitas geser

- Kapasitas geser beton

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 (1 + (P_u/14 \cdot A)) \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d_x \\
 &= 0,17 (1 + (4453,73/14 \cdot 160000)) 1 \sqrt{41,78} \cdot 300 \cdot 254 \\
 &= 379,69 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

- Syarat penampang

$$\begin{aligned}
 V_u (\text{KN}) &\leq \phi (V_c + 0,66 \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d_x) \\
 116,168 &\leq 0,75 (379,69 + 0,66 \sqrt{41,78} \cdot 300 \cdot 254) \\
 116,168 &\leq 244,09 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas Aksial Nominal (tanpa faktor)

$$\begin{aligned}
 P_n &= 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_s) + f_y \cdot A_s \\
 P_n &= 0,85 \cdot 41 \cdot (160000 - 3216,96) + 400 \cdot 3216,96 \\
 P_n &= 34,85 \cdot 156783,04 + 1,286,784 \\
 &\approx 5,466,130 + 1,286,784 \\
 &= 6,752,914 \text{ N} \approx 6,75 \text{ MN}
 \end{aligned}$$

Jika $P_u < 0,6 \cdot \phi P_n = 2,63 \text{ MN}$ OK (struktur lentur terpenuhi)

Berarti kolom masuk dalam kriteria lentur dominan.

Gaya yang didapat dari SAP2000 :

P	M3	M2	V2	V3
-4453,73	4,1489	-14,6226	7,422	-32,089
82,733	112,9242	0,1817	-79,84	-0,094
84,969	0,038	-107,418	-0,031	58,787
38,377	-62,683	-11,1083	-116,618	-11,773
254,162	0,1429	-41,8798	-0,053	113,391

Tabel 6. Gaya yang didapat dari SAP2000

Gaya aksial maksimum : 4453 KN

Momen x maksimum : 112,9242 KN/m

Momen y maksimum : 107,418 KN/m

Gaya geser x maksimum : 116,618 KN

Gaya geser y maksimum : 113,391 KN

5. Data Perencanaan Balok

- Balok (B1)

Lebar (b)	: 250 mm
Tinggi (h)	: 350 mm
Tebal plat (tp)	: 120 mm
Diameter tulangan pokok (D)	: 16 mm
Diameter tulangan geser (p)	: 10 mm
Diameter tulangan sengkang (ø)	: 10 mm
Diameter tulangan badan (ø)	: 16 mm

Tebal selimut (ts)	: 30 mm
Panjang balok (Lb)	: 3600 mm
Jarak antar balok (Sw)	: 6000 mm
Jarak sengkang tumpuan	: 100 mm
Jarak sengkang lapangan	: 100 mm

Tumpuan			
M_u^+ (kNm)	M_u^- (kNm)	V_u (kN)	T_u (kNm)
42,8378	85,6756	61,342	0,2425
Lapangan			
M_u^+ (kNm)	M_u^- (kNm)	V_u (kN)	T_u (kNm)
37,263	18,6315	86,522	0,2913

Tabel 7. Gaya yang didapat dari SAP2000

Perhitungan Tulangan Tumpuan

Tinggi efektif

$$\begin{aligned}
 d &= h - ts - p - 0,5D \\
 &= 350 - 30 - 10 - 8 \\
 &= 302 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak tulangan ke serat tepi

$$\begin{aligned}
 ds &= ts + p + 0,5D \\
 &= 30 + 10 + 8 \\
 &= 48 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan balance

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \left(\frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \left(\frac{0,75 \cdot 0,85 \cdot 41,78}{420} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 4} \right) \\
 &= 0,0373
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,0373 \\
 &= 0,0279
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c'}}{f_y} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \sqrt{41,78}}{420} \\
 &= 0,0038
 \end{aligned}$$

Jumlah maksimal tulangan

$$\begin{aligned}
 n_s &= \frac{b - 2ds}{\frac{25 + D}{250 - 2 \cdot 48}} + 1 \\
 &= \frac{25 + 1}{4,756} + 1
 \end{aligned}$$

Maka jumlah maksimal tulangan dalam satu baris adalah 4 buah

Jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 y &= 25 + D \\
 &= 25 + 16 \\
 &= 41 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Rasio tegangan baja dan kuat tekan beton

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$= \frac{420}{0,85 \cdot 41,78}$$

$$= 11,82$$

Tulangan momen negatif

Momen nominal minimal

$$M_n = M_u / \phi$$

$$= 85,6756 / 0,85$$

$$= 100,79 \text{ KNm}$$

Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

$$= \frac{100,79 \cdot 1000000}{250 \cdot 302^2}$$

$$= 4,4204$$

Rasio tulangan perlu

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot m \cdot R_n)}{420}}\right)$$

$$= \frac{1}{11,82} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot 11,82 \cdot 4,4204)}{420}}\right)$$

$$= 0,0113$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0038 < 0,0113 < 0,0279$$

OK

Luas tulangan diperlukan

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0113 \cdot 250 \cdot 302$$

$$= 853,15 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s}{\frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2}{4}}$$

$$= \frac{853,15}{\frac{0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2}{4}}$$

$$= 4,245$$

Maka jumlah tulangan yang diperlukan 5 buah

Tulangan momen positif

Momen nominal minimal

$$M_n = M_u / \phi$$

$$= 42,8378 / 0,85$$

$$= 50,39 \text{ KNm}$$

Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

$$= \frac{50,39 \cdot 1000000}{250 \cdot 302^2}$$

$$= 2,209$$

Rasio tulangan perlu

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot m \cdot R_n)}{420}}\right)$$

$$= \frac{1}{11,82} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot 11,82 \cdot 2,209)}{420}}\right)$$

$$= 0,0054$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0038 < 0,0054 < 0,0279$$

OK

Luas tulangan diperlukan

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0054 \cdot 250 \cdot 302$$

$$= 407,7 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_s}{\frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2}{4}}$$

$$= \frac{407,7}{0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2}$$

$$= 2,029$$

Maka jumlah tulangan yang diperlukan 3 buah

Perhitungan Tulangan Lapangan

Tinggi efektif

$$d = h - t_s - p - 0,5D$$

$$= 350 - 30 - 10 - 8$$

$$= 302 \text{ mm}$$

Jarak tulangan ke serat tepi

$$d_s = t_s + p + 0,5D$$

$$= 30 + 10 + 8$$

$$= 48 \text{ mm}$$

Lebar efektif balok

$$b_f = l_b / 8 + b$$

$$= 3600 / 8 + 250$$

$$= 700 \text{ mm}$$

Rasio tulangan balance

$$\rho_b = \left(\frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \left(\frac{0,75 \cdot 0,85 \cdot 41,78}{420} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right)$$

$$= 0,0373$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$= 0,75 \cdot 0,0373$$

$$= 0,0279$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c'}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \cdot \sqrt{41,78}}{420}$$

$$= 0,0038$$

Jumlah maksimal tulangan

$$n_s = \frac{b - 2d_s}{\frac{25 + D}{250 - 2 \cdot 48}} + 1$$

$$= \frac{25 + 16}{250 - 2 \cdot 48} + 1$$

$$= 4,756$$

Maka jumlah maksimal tulangan dalam satu baris adalah 4 buah

Jarak antar tulangan

$$y = 25 + D$$

$$= 25 + 16$$

$$= 41 \text{ mm}$$

Rasio tegangan baja dan kuat tekan beton

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$= \frac{420}{0,85 \cdot 41,78}$$

$$= 11,82$$

Tulangan momen negatif

Momen nominal minimal

$$M_n = M_u / \phi$$

$$= 18,6315 / 0,85$$

$$= 21,91 \text{ KNm}$$

Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

$$= \frac{21,91 \cdot 1000000}{250 \cdot 302^2}$$

$$= 0,96$$

Rasio tulangan perlu

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot m \cdot Rn)}{420}}\right) \\ &= \frac{1}{11,82} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot 11,82 \cdot 0,96)}{420}}\right) \\ &= 0,0023\end{aligned}$$

$$\begin{array}{lcl}\text{Syarat : } \rho_{\min} & < \rho & < \rho_{\max} \\ 0,0038 & < 0,0023 & < 0,0279\end{array}$$

Luas tulangan diperlukan

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0038 \cdot 250 \cdot 302 \\ &= 286,9 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_s}{\frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2}{4}} \\ &= \frac{286,9}{0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2} \\ &= 1,427\end{aligned}$$

Maka jumlah tulangan yang diperlukan 2 buah

Tulangan momen positif

Momen nominal minimal

$$\begin{aligned}M_n &= M_u / \phi \\ &= 37,263 / 0,85 \\ &= 43,83 \text{ KNm}\end{aligned}$$

Faktor tahanan momen

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{43,83 \cdot 1000000}{250 \cdot 302^2} \\ &= 1,922\end{aligned}$$

Rasio tulangan perlu

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot m \cdot Rn)}{420}}\right) \\ &= \frac{1}{11,82} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2 \cdot 11,82 \cdot 1,922)}{420}}\right) \\ &= 0,0047\end{aligned}$$

$$\begin{array}{lcl}\text{Syarat : } \rho_{\min} & < \rho & < \rho_{\max} \\ 0,0038 & < 0,0047 & < 0,0279\end{array}$$

OK

Luas tulangan diperlukan

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0047 \cdot 250 \cdot 302 \\ &= 354,85 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_s}{\frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2}{4}} \\ &= \frac{354,85}{0,25 \cdot 3,14 \cdot 16^2} \\ &= 1,765\end{aligned}$$

Maka jumlah tulangan yang diperlukan 2 buah

6. Data Perencanaan Plat

a. Plat 120mm

$$\begin{array}{lcl}\text{Tebal pelat (h)} & &= 120 \text{ mm} \\ f_c' \text{ (kuat tekan beton)} & &= 25 \text{ MPa} \\ f_y \text{ (kuat leleh baja)} & &= 400 \text{ MPa} \\ \text{Selimut beton} & &= 20 \text{ mm}\end{array}$$

Pelat dua arah (2700 mm × 6000 mm) → rasio bentang panjang terhadap pendek
= 6000/2700 ≈ 2,22 → bisa diasumsikan pelat satu arah

1. Analisis Momen Plat Satu Arah

$$M_u = \alpha \cdot w_u \cdot L^2$$

$$\alpha = 1/10$$

$$\begin{aligned} Mu &= 0.1 \cdot 12.576 \cdot (2.7)^2 \\ &= 0.1 \cdot 12.576 \cdot 7.29 \\ &= 9.17 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2. Analisis Lentur (Pelat Satu Arah)

$$\Phi = 0.9$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut} - \frac{1}{2} \text{ dia tulangan} = 120 - 20 - 5 = 95 \text{ mm} \\ &= 0.095 \text{ m} \end{aligned}$$

$$z = 0.9 d = 0.0855 \text{ m}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$A_s = \frac{Mu}{\phi f_y}$$

$$A_s = \frac{9.17 \times 10^6}{0.9 \cdot 400 \cdot 0.0855}$$

$$A_s = \frac{9.17 \times 10^6}{30.78} = 298 \text{ mm}^2$$

3. Cek Tulangan Minimum

$$\begin{aligned} A_{s,\min} &= 0.0018 \cdot b \cdot h \\ &= 0.0018 \cdot 1000 \cdot 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan desain (**298 mm²/m**) sudah > **minimum** → **OK**

4. Penulangan Praktis

Menggunakan tulangan Ø10 mm (luas 78.5 mm²)

$$s = \frac{1000}{A_s/A_\phi}$$

$$s = \frac{1000}{298 : 78.5} = 263 \text{ mm}$$

menggunakan tulangan Ø10-250 mm

7. Data Perencanaan Atap

Profil Balok	: WF 250x125x6x9
Profil Kolom	: WF 250x125x6x9
Bentang Balok	: 6 m
Tinggi Kolom	: 3.75 m
Mutu Baja (Fy)	: 250 MPa
Modulus Elastisitas (E)	: 200,000 MPa

Beban Terfaktor (Ultimate)

$$\text{DL (beban mati)} = 3.75 + \text{berat sendiri} = \sim 4.03 \text{ kN/m}$$

$$\text{LL (beban hidup)} = 2.25 \text{ kN/m}$$

Ultimate Load :

$$W_u = 1.2 \cdot 4.03 + 1.6 \cdot 2.25 = 8.436 \text{ kN/m}$$

1. Momen Lentur Maksimum Balok

$$Mu = \frac{wu \cdot L^2}{8}$$

$$Mu = \frac{8.436 \cdot 6^2}{8} = 37.96 \text{ KNm}$$

2. Cek Balok

a. Kapasitas Lentur

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0.9 \cdot F_y \cdot S_x \\ &= 0.9 \cdot 250 \cdot 256 \cdot 10^{-6} \\ &= 57.6 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$Mu = 37.96 \text{ kNm} < \phi M_n = 57.6 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK}$$

3. Kapasitas tekan nominal

$$A = 3770 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \Phi P_n &= 0.9 \cdot F_y \cdot A \\ &= 0.9 \cdot 250 \cdot 3770 \\ &= 848.25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_u = 50.62 \text{ kN} < \phi P_n = 848.25 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perencanaan struktur beton bertulang dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), diperoleh bahwa dimensi balok tipe B1 adalah 250 x 350 mm dengan tulangan 5D16 atas dan 3D16 bawah di tumpuan, serta 2D16 atas dan bawah di lapangan, dengan sengkang Ø10-100. Kolom tipe K1 berukuran 400 x 400 mm dengan tulangan pokok 16D16 dan sengkang Ø10-100. Pelat lantai direncanakan setebal 120 mm. Hubungan antara balok dan kolom memenuhi prinsip strong column–weak beam, di mana total momen lentur kolom lebih besar dari 1,2 kali momen lentur balok, sehingga risiko leleh pada kolom dapat diminimalkan. Selain itu, elemen struktur juga aman terhadap gaya geser karena kapasitas geser nominal lebih besar dari gaya geser yang bekerja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan rasa terima kasih yang mendalam kepada dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan arahan, bimbingan, serta dukungan selama proses penyusunan karya tulis ilmiah ini. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada seluruh dosen di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, atas ilmu, semangat, dan dedikasi yang telah diberikan sepanjang masa perkuliahan. Semoga seluruh ilmu dan kebaikan yang telah diajarkan menjadi amal jariyah dan mendapatkan balasan terbaik dari Allah SWT.

REFERENSI

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Article History:

Received: 26 June 2018 | Accepted: 08 August 2018 | Published: 30 August 2018