

Desain Elemen Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (Srpmk)

Ari Endra Nasution¹, Ayu Sri Rejki², Sucitra Wijaya³

*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Muara Bungo*

E-mail: ayusrirejki25@gmail.com, ari.endra83@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu daerah rawan gempa, hampir setiap wilayah di Indonesia berpotensi terjadinya gempa. Kabupaten Kerinci, merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jambi yang rawan terhadap gempa. Potensi gempa bukan hanya karena aktivitas vulkanik Gunung Kerinci, namun juga terdapat patahan kerak bumi (sesar) jalur sesar Sumatera. Salah satu titik yang dilalui yakni di wilayah Kecamatan Siulak. Berdasarkan peta gempa di Indonesia, daerah Kecamatan Siulak berada di posisi ke 12 dari 295 jalur sesar aktif di Indonesia. Oleh karena itu bangunan yang dibuat di daerah ini harus direncanakan kuat terhadap gempa. Beton bertulang sangat umum digunakan sebagai elemen struktur pada bangunan. Oleh karena itu pemerintah Indonesia telah menetapkan peraturan yang harus dipenuhi untuk perencanaan bangunan gedung dari beton bertulang khususnya pada daerah gempa yang tertuang di dalam SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain elemen struktur beton bertulang tahan gempa dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan membandingkan kebutuhan baja tulangan untuk desain elemen struktur dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dengan struktur yang dianalisa tanpa menggunakan beban gempa. Bangunan direncanakan sebagai gedung perkantoran 4 lantai dengan denah 20 x 16 m², tinggi setiap lantai bangunan adalah 4 m, pada lokasi gempa di kabupaten Kerinci dengan kondisi tanah sedang. Material yang digunakan adalah beton dengan f'_c 25 Mpa, baja tulangan dengan f_y 400 Mpa. Pembebanan yang digunakan meliputi beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) sesuai PPIUG 1983 dan SNI 1727:2013 serta beban gempa dinamik respons spektrum sesuai SNI 1726:2012. Perencanaan elemen struktur yang dilakukan meliputi kolom, balok, lantai, dan hubungan balok kolom. Pemodelan dan analisis gaya dalam dilakukan dengan bantuan *software* SAP 2000, dimana yang diambil adalah output dari luas tulangan perlu, hasil dari analisis struktur menggunakan SAP 2000, dan selanjutnya dilakukan kontrol terhadap syarat-syarat SRPMK, hasil dari output ini berupa model dari penulangan balok, kolom, dan hubungan balok kolom, namun untuk perhitungan tulangan pelat lantai momen-momennya dihitung dengan mengacu kepada tabel PBI 1971. Selain dari pada itu dilakukan pula analisis struktur dengan hanya memperhitungkan beban mati dan beban hidup saja (tanpa beban gempa), jumlah tulangan yang akan digunakan dari kedua jenis elemen struktur inilah yang akan dibandingkan. Adapun hasil analisa yang didapatkan adalah, bahwa kebutuhan tulangan untuk struktur sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) harus dinaikkan 66,9% dari kebutuhan tulangan struktur yang dianalisa tanpa menggunakan beban gempa.

Kata kunci: Struktur Beton Bertulang, SRPMK, SNI 1726:2012, SNI 2847:2013

DESIGN ELEMENT OF EARTHQUAKE RESISTENT REINFORCED CONCRETE STRUCTURE WITH THE SYSTEM OF SPESIFIC MOMEN BEARERS

*Ayu Sri Rejki¹, Ari Endra Nasution², Sucitra Wijaya³
Departement of civil engineering, Faculty of Engineering
University of Muara Bungo
E-mail: ayusrirejki25@gmail.com, ari.endra83@gmail.com*

ABSTRACT

Indonesia is one of the most earthquake prone areas, almost every region in Indonesia has a potential earthquake. Kerinci Country is one of the areas in the province of Jambi that is prone to earthquakes. The earthquake potential was not just due to the volcanic activity of mount kerinci, but there is also fracture of the earth's crust, the sumatera fault line. One of the passing points is siulak sub district area. According to the eartgquake map in Indonesia, Siulak is on the 12th of the 295 activite fault lines of Indonesia. Reinforced concrete is very common in use as a structural element in buildings. The Indonesia governmant has set rules to folow for building plans of reinforced concrete especially in prone areas of quakes poured inside SNI 1726:2012 and SNI 2847:2013. The purpose of this study is to design element of earthquake resistant reinforced concrete structure using the frame system of specific momen bearers and compare the need for metal structures using the frame system of specific momen bearers with structure analyzed without using the earthquake load. The building was planned as a four story office building with the 20 x 16 m² plan, high each floor of the building is 4 m, at the Kerinci country earthquake site and medium soil. The material used is concrete with f'c 25 Mpa, metal with fy 400 Mpa. The Load that was being used is load gravity (dead load and live load) according to PPIUG 1983 and SNI 1727:2013, the dynamical load of spectrum response according to SNI 1726:2012. The planning of element structural is columns, beams, plate and joint. Modelling and analysis internal energy used the software of SAP 2000. Taken is the result of output from the metal area results from using SAP 2000, and then control of the SRPMK terms, the output is a model of the metal beam, column and joint, but the calculations of the plate moment are calculated by reference to the PBI 1971 table. Apart from that, structural analysis involves calculating dead load and live load expenses only (without earthquake load), the amount of metal to be used from both types of structural elements is what will be compared, as for the result of analysis is, that the need metal for structure using the frame system of specific momen bearers it must be increased 66.9% need for metal of structures analyzed without using the earthquake load.

Key word: Reinforced concrete structure, SRPMK, SNI 1726:2012, SNI 2847:2013

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. LatarBelakang

Indonesia merupakan salah satu daerah rawan gempa, hampir setiap wilayah di Indonesia berpotensi terjadinya gempa. Hal ini dikarenakan Indonesia terletak di tengah cincin api Pasifik yang mana merupakan daerah yang memiliki banyak sesar atau zona rekahan, juga merupakan jalur gempa sabuk alpide yang merupakan jalur gempa paling aktif nomor dua di dunia, serta ada tumbukan tiga lempeng benua yaitu lempeng Indo-Australia dari selatan, Eurasia dari utara, dan Pasifik dari timur, dan termasuk punya banyak gunung berapi, Indonesia adalah wilayah paling aktif secara seismik di muka bumi. (Anonymous, 2018)

Beton bertulang sangat umum digunakan sebagai elemen struktur pada bangunan. Oleh karena itu pemerintah Indonesia telah menetapkan peraturan yang harus dipenuhi untuk perencanaan bangunan gedung dari beton bertulang khususnya pada daerah gempa yang tertuang dalam Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI-03-1726-2012) dan Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI-03-2847-2013).

1.2. Rumusan Masalah

1. Sejauh mana aplikasi SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013 dalam perencanaan gedung beton bertulang sehingga menjadi lebih mudah dipahami ?
2. Bagaimanakah cara analisis struktur dengan beban gempa menggunakan respon spektrum dengan *software* SAP 2000 ?

1.3. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk :

1. Merencanakan elemen struktur gedung beton bertulang tahan gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berdasarkan peraturan SNI-03-1726-2012 dan SNI-03-2847-2013.

2. Menghasilkan suatu ringkasan perhitungan yang memuat poin-poin pokok perancangan struktur dengan Sistem Rangka Pemikul Khusus (SRPMK) berdasarkan SNI tersebut di atas.
3. Untuk membandingkan kebutuhan tulangan pada struktur yang memperhitungkan beban gempa dengan struktur yang dianalisis tanpa menggunakan beban gempa (bukan konsep SRPMK).

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan penulis dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat menjadi contoh perencanaan bangunan gedung tahan gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
2. Memberikan pemahaman tentang perencanaan struktur beton bertulang menggunakan bantuan *software*.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Struktur bangunan berupa beton bertulang dengan bentuk dan dimensi yang dimisalkan sendiri serta saran dari dosen pembimbing.
2. Bangunan terletak di Kabupaten Kerinci.
3. Peraturan pembebanan berdasarkan Peraturan Pembebanan Untuk Gedung Indonesia 1983 dan SNI-1727-2013 tentang Beban Minimum Untuk Perancangan Gedung.
4. Elemen struktur yang direncanakan tidak termasuk pondasi melainkan hanya balok, kolom, dan pelat lantai (*slab*).
5. Perencanaan struktur mengikuti Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2012) dan Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013).
6. Analisa struktur menggunakan program *software* SAP 2000.

7. Gedung direncanakan berada pada kondisi tanah sedang.
8. Perhitungan kebutuhan tulangan tidak memperhitungkan kebutuhan untuk sambungan tulangan.

BAB 2. DASAR TEORI

2.1. Struktur Beton Bertulang

Sifat utama dari beton, yaitu sangat kuat terhadap beban tekan, tetapi juga bersifat getas/mudah patah atau rusak terhadap beban tarik. Sifat utama dari baja tulangan, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik. Dari sifat utama tersebut, maka jika kedua bahan (beton dan baja tulangan) dipadukan menjadi satu-kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang yang mempunyai sifat sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan.

2.2. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem rangka pemikul momen khusus merupakan sistem rangka dimana komponen strukturnya direncanakan mampu memikul lentur akibat gaya dari beban gempa. Sistem ini memiliki tingkat daktilitas penuh dan harus digunakan untuk bangunan yang dikenakan kategori desain seismik D, E, atau F. (SNI-2847:2013, 2013)

Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) mengambil konsep *strong column weak beam*, dimana perilaku struktur yang ingin dicapai dalam desain kapasitas SRPMK adalah perilaku struktur yang daktil, sendi-sendi plastis hanya boleh terjadi pada ujung-ujung sendi balok dan kaki kolom saja.

2.3. Peraturan dalam Perencanaan Pembebanan

Perencanaan pembebebanan tugas akhir ini mengacu kepada beberapa standar berikut:

1. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013).
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012).

3. Beban Minimal Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktural Lain (SNI 1727:2013).
4. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983).

2.4. Pembebanan Gedung

Beban yang bekerja pada suatu struktur tergantung pada jenis struktur tersebut.

2.4.1 Beban Mati (Dead Load/DL)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. (SNI-1727:2013, 2013).

2.4.2 Beban Hidup (Live Load/LL)

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati. (SNI-1727:2013, 2013).

2.4.3 Beban Gempa (Earthquake Load)

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerak tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur pada gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah gaya-gaya dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa. (PPIUG-1983, 1981).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Data Penelitian

Akan didesain elemen struktur gedung beton bertulang yang terdiri dari balok, kolom dan pelat lantai, menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai dengan SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012.

3.1.1 Data Bangunan

1. Fungsi bangunan : Perkantoran
2. Jenis struktur : Struktur beton bertulang
3. Jumlah lantai : 4 lantai
4. Tinggi lantai : 4 meter
5. Penutup atap : Dak beton
6. Lokasi bangunan : Kabupaten Kerinci
7. Jenis tanah : Tanah Sedang

3.1.2 Data Spesifikasi Material-material

f'_c : 25 Mpa

E_c : $4700 \times \sqrt{f'_c}$

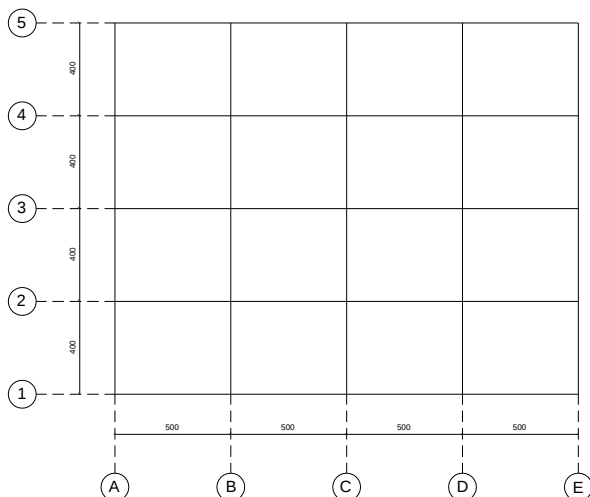
f_y : 400 Mpa

E_s : 200.000 Mpa

Berat jenis beton : 24 kN/mm²

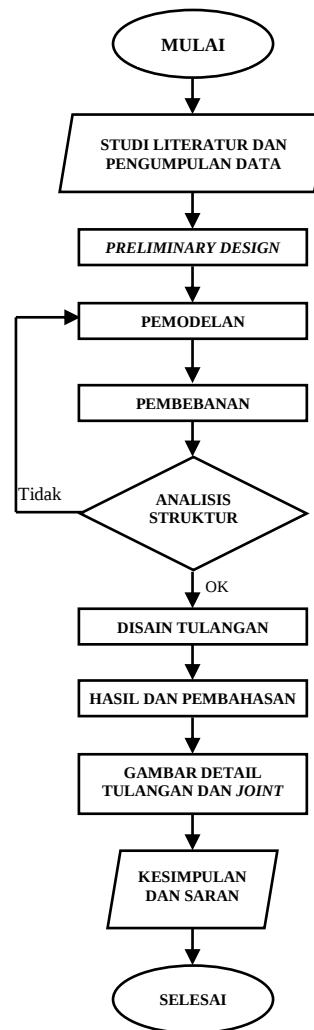
Poisson rasio : 0,2

3.2. Layout Bangunan



Gambar 3.1 Layout Bangunan

3.3. Bagan Alir Langkah Kerja



BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Jenis Struktur

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 4.1.2 tabel 1 gedung perkantoran termasuk kategori risiko II dengan faktor keutamaan gedung = 1.

Dari situs puskim PU untuk wilayah rencana yaitu kabupaten kerinci dengan koordinat 01° 56' 09,9" LS (Lintang Selatan) dan 101° 20' 33,1" BT (Butur Timur), Provinsi Jambi dengan kondisi tanah sedang didapatkan nilai $S_s = 1,682$ g dan $S_1 = 0,635$ g.

Kedua parameter S_s dan S_1 tidak dapat digunakan langsung untuk setiap situs tanah. Masih diperlukan faktor amplifikasi seismik berdasarkan tabel 4 dan tabel 5 (SNI 1726:2012), dan diperoleh nilai $F_a = 1,0$ dan $F_v = 1,5$ dengan menggunakan nilai-nilai

tersebut, parameter respon spektral dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S_{MS} &= S_s F_a \\ &= 1,682 \times 1 \\ &= 1,682 \\ S_{M1} &= S_1 F_v \\ &= 0,635 \times F_v \\ &= 0,953 \end{aligned}$$

Parameter spektral desain untuk desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1,0 detik (S_{D1}) ditentukan seperti di bawah ini:

$$\begin{aligned} S_{DS} &= 2/3 S_{MS} \\ &= 2/3 \times 1,682 \\ &= 1,121 \\ S_{D1} &= 2/3 S_{M1} \\ &= 2/3 \times 0,953 \\ &= 0,635 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 6.3 tabel 6, $S_{ds} = 1,121$ ($0,50 \leq S_{DS}$) dan kategori II maka masuk dalam kategori D. Dan $S_{D1} = 0,635$ ($0,20 \leq S_{D1}$) dan kategori risiko II maka masuk dalam kategori D.

Dan dari tabel 9 SNI 2847:2013 gedung dengan KDS D maka tipe struktur termasuk Sistem Rangka Pemikul momen khusus (SRPMK).

Menentukan nilai T_0 dan T_s :

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \times (S_{D1} \times S_{DS}) \\ &= 0,2 \times (0,635 \times 1,121) \\ &= 0,113 \\ T_s &= S_{D1}/S_{DS} \\ &= 0,635/1,121 \\ &= 0,566 \end{aligned}$$

Menentukan spektral percepaan S_a (g)

1. Jika $T < T_0$, maka $S_{DS} = [0,4 + 0,6 \times (T/T_0)]$
2. Jika $T_0 \leq T \leq T_s$, maka $S_a = S_{DS}$
3. Jika $T \geq T_s$, maka $S_a = S_{D1}/T$

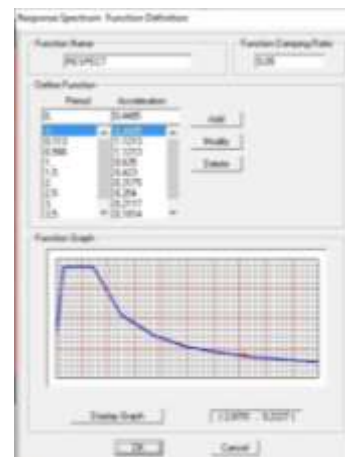
Hubungan periode dan percepatan respons spektral diperoleh sebagai berikut:

Tabel 4.1 Nilai Peroda dan percepatan Spektral

T (detik)		Sa (g)
0	0	0,4485
T_0	0,113	1,1213
T_s	0,566	1,1213
T_s	1	0,635

T_s	1,5	0,423
T_s	2	0,3175
T_s	2,5	0,254
T_s	3	0,2117
T_s	3,5	0,1814
T_s	4	0,1588

Data ini diinput kedalam pemodelan SAP 2000.



Gambar 4.1 Kurva spektrum respon desain

4.1.2 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 4.2.2 yang dikombinasikan dengan pasal 7.4.2 dan dipengaruhi oleh arah gempa sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.5.3 diperoleh 18 kombinasi sebagai berikut:

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L
3. 1,42 D + L + F_x + 0,3 F_y
4. 1,42 D + L + F_x - 0,3 F_y
5. 1,42 D + L - F_x + 0,3 F_y
6. 1,42 D + L - F_x - 0,3 F_y
7. 0,68 D + F_x + 0,3 F_y
8. 0,68 D + F_x - 0,3 F_y
9. 0,68 D - F_x + 0,3 F_y
10. 0,68 D - F_x - 0,3 F_y
11. 1,42 D + L + 0,3 F_x + F_y
12. 1,42 D + L + 0,3 F_x - F_y
13. 1,42 D + L - 0,3 F_x + F_y
14. 1,42 D + L - 0,3 F_x - F_y
15. 0,68 D + 0,3 F_x + F_y
16. 0,68 D + 0,3 F_x - F_y
17. 0,68 D - 0,3 F_x + F_y
18. 0,68 D - 0,3 F_x - F_y

Kombinasi inilah yang akan diinput ke dalam pemodelan SAP 2000.

4.2. Preliminary Design

Elemen struktur yang akan didesain pada bangunan ini meliputi balok, kolom dan pelat lantai, dan akan direncanakan terlebih dahulu dimensi awal dari komponen struktur bangunan (Pra Perencanaan).

Berikut adalah adalah hasil perhitungan *preliminary* struktur:

Tabel 4.2 Dimensi Elemen Struktur

Lantai	Tinggi Lantai (cm)	Dimensi kolom (cm)	Dimensi balok (cm)	Dimensi Tebal pelat (cm)
Lt. 4 (Atap)	400	60x60	40x25	12
Lt. 3	400	50x50	40x25	12
Lt. 2	400	45x45	40x25	12
Lt. 1	400	40x40	40x25	12

Setelah didapatkan dimensi elemen struktur, selanjutnya akan input ke pemodelan SAP 2000.

4.3. Pemodelan Struktur

Data hasil *preliminary design* serta kombinasi pembebanan diinput ke pemodelan SAP 2000.

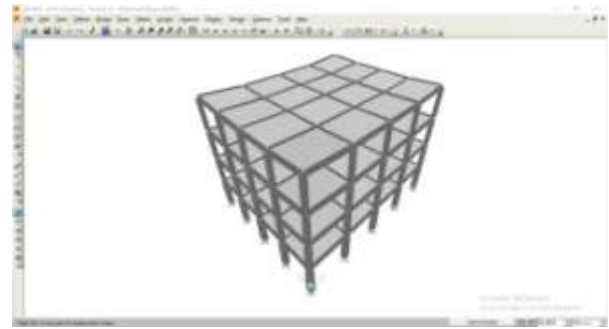
Tabel 4.3 Simpangan Antar Lantai Arah X

No	Lantai	Tinggi Lantai (mm)	Defleksi/ lantai (mm)	□ (mm)	Δ (mm)	Δa (mm)
1	Dasar	0	0	0	0	0
2	1	4000	6,94	6,94	38,18	100
11	2	4000	20,77	13,83	76,04	100
16	3	4000	34,34	13,58	74,67	100
21	Atap	4000	42,85	8,51	46,80	100

Tabel 4.4 Simpangan Antar Lantai Arah Y

No	Lantai	Tinggi Lantai (mm)	Defleksi/ lantai (mm)	□ (mm)	Δ (mm)	Δa (mm)
1	Dasar	0	0	0	0	0
2	1	4000	5,88	5,88	32,35	100
11	2	4000	17,19	11,31	62,22	100
16	3	4000	28,00	10,81	59,44	100
21	Atap	4000	34,55	6,54	35,99	100

Selanjutnya dilakukan Running program.



Gambar 4.7 pemodelan Setelah di Running

Selanjutnya akan dilakukan kontrol terhadap analisis SAP 2000. Berupa pemeriksaan berat struktur, pemeriksaan time period, Analisis ragam da partisipasi rasio, perbandingan geser dasar statis dan geser dasar dinamis, dan pemeriksaan simpangan antar lantai.

Batasan simpangan antar lantai diatur dalam SNI 1726:2012 pasal 7.8.6,

$$\Delta = \frac{\delta \times C_d}{I}$$

$$\Delta_a = 0,025h_x$$

Berdasarkan SNI 1726:201 tabel 9 faktor Cd dalam sistem penahan gempa untuk sistem rangka pemikul momen khusus adalah 5,5. Untuk defleksi antar lantai diperoleh dari output joint dari hasil analisis SAP 2000. Dan diperoleh nilai simpangan sebagai berikut:

4.4. Perencanaan tulangan balok

Dalam perencanaan tulangan balok, akan dipakai output dari luas tulangan hasil analisis program SAP 2000. Dan dengan melakukan

kontrol-kontrol terhadap syarat SRPMK yang sesuai dengan SNI 2847:2013. Maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.5 Penulangan Lentur Balok SRPMK

No Lantai	Jenis Balok	Jenis Tulangan	Jumlah Tulangan	As (mm ²)	d (mm)	a (mm)	Mn (kN.mm)
1, 2, 3	Arah X,Y	Tumpuan Atas	3D16+3D13	1002	314	75,44	110732,08
		Tumpuan Bawah	4D13	532	343,5	40,06	68834,79
		Lapangan Atas	2D16	402	342	30,27	52560,03
		Lapangan Bawah	4D13	532	343,5	40,06	68834,79
4 (Atap)	X, Y	Atas	3D13	399	343,5	30,04	52425,22
		Bawah	2D13+1D10	345	343,5	25,98	45610,62

4.4.1 Perencanaan tulangan geser

Analisis geser untuk mendapatkan tulangan sengkang dilakukan berdasarkan momen nominal di kedua ujung balok. Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.1, dengan mengasumsikan sendi plastis terbentuk di ujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur sampai $1,25f_y$ dan faktor reduksi kuat lentur $\phi = 1$.

Dimana:

$$a_{pr} = \frac{A_s 1,25 f_y}{0,85 f'_c b}$$

$$M_{pr} = A_s 1,25 f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

1. Sengkang Untuk Gaya Geser

Untuk menentukan diagram gaya geser, diperlukan reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok akibat gaya gravitasi yang bekerja pada struktur, menggunakan persamaan berikut:

$$V_g = \frac{w_u l_n}{2}$$

Dan untuk gaya gempa akan dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{sway} = \frac{M_{pr-1} + M_{pr-2}}{l_n}$$

Dan akan diperoleh total hasil geser di ujung-ujung balok dengan penjumlahan gaya geser akibat gaya gravitasi dengan gaya geser akibat gaya gempa, atau dengan persamaan:

$$V_e = V_g \pm V_{s-way}$$

Setelah gaya geser didapatkan, maka kita perlu melakukan kontrol terhadap syarat SRPMK terhadap gaya geser yang terjadi akibat beban-beban yang ada.

2. Sengkang untuk gaya geser

Perhitungan kekuatan geser yang disediakan beton untuk komponen non prategang sesuai dengan SNI 2847:2013. Dari hasil analisa diperoleh data tulangan sebagai berikut:

Tabel 4.6 Tulangan Geser Pada Sendi Plastis

No Lantai	Jenis Balok	Tulangan Geser Digunakan
1, 2, 3	Arah X	2 kaki D10 – 90 mm
	Arah Y	2 kaki D10 – 90 mm
4 (Atap)	Arah X	2 kaki D10 – 75 mm
	Arah Y	2 kaki D10 – 75 mm

Tabel 4.7 Tulangan Geser Ujung Sendi Plastis

No Lantai	Jenis Balok	Tulangan Geser Digunakan
1, 2, 3	Arah X	2 kaki D10 – 120 mm
	Arah Y	2 kaki D10 – 120 mm
4 (Atap)	Arah X	2 kaki D10 – 150 mm
	Arah Y	2 kaki D10 – 150 mm

TYPE	BALOK LANTAI 1, 2, DAN 3 250 mm x 400 mm		BALOK LANTAI 4, 250 mm x 400 mm	
POSISI	TUMPUAN, L = 800 mm	LAPANGAN	TUMPUAN, L = 800 mm	LAPANGAN
POTONGAN				
TULANGAN ATAS	3D16 + 3D13	2D16	3D13	3D13
TULANGAN BAWAH	4D13	4D13	2D13 + 1D10	2D13 + 1D10
SENGKANG	D10 - 50 mm (Senggang pertama)		D10 - 50 mm (Senggang pertama)	2D10 - 120 mm
	D10 - 90 mm	2D10 - 120 mm	D10 - 75 mm	

Gambar 4.8 Penampang Balok SRPMK

4.4.2 Perencanaan Tulangan Lentur Kolom

Perhitungan keperluan tulangan kolom diambil dari hasil output analisis SAP 2000, dan setelah didapatkan hasil dilakukan kontrol terhadap syarat SRPMK.

Maka diperoleh hasil tulangan lentur sebagai berikut:

Tabel 4.8 Kontrol Luas Tulangan Hasil Analisis SAP 2000

No Kolom	Tulangan Digunakan	(1) Asp (mm ²)	(2) Ast (mm ²)	Kontrol (1) ≤ (2)
1	12D22	3600	3800	OK
2	12D19	2500	3408	OK
3	12D16	2025	2412	OK
4	12D16	1600	2412	OK

Selanjutnya dilakukan kontrol terhadap syarat-syarat SRPMK.

4.4.3 Tulangan Transversal Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4, total tulangan *hoops* tidak kurang dari salah satu yang terbesar antara:

$$\frac{A_{sh}}{S} = 0,3 \frac{b f_c}{f_y} \left[\left(\frac{A}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

$$\frac{A_g}{S} = 0,09 \frac{b_c f'_c}{f_y}$$

Spasi tulangan transversal di sepanjang Lodiatur berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.3 sedang untuk daerah diluar daerah Lodiatur dalam pasal 21.6.4.1 pada SNI 2847:2013.

Untuk gaya geser yang berhubungan dengan sendi plastis di ujung kolom Nilai Permeabilitas Momen lenturnya (M_{pr}) ditentukan dengan kuat tarik tulangan mencapai 1,25 f_y dan faktor reduksi $\phi = 1$.

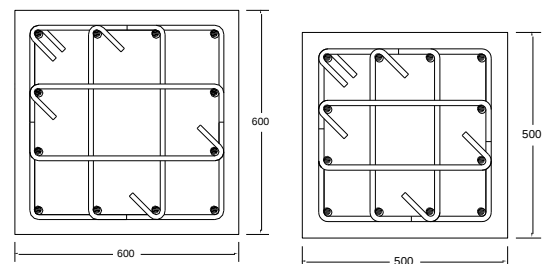
Maka diperoleh hasil penulangan transversal kolom sebagai berikut:

Tabel 4.9 Tulangan transversal kolom untuk daerah L₀

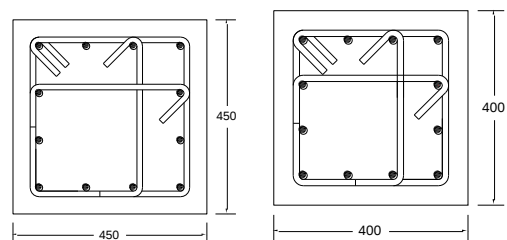
No Kolom	Tulangan Transversal Digunakan
1	4 kaki D13 – 110 mm
2	4 kaki D13 – 120 mm
3	4 kaki D13 – 90 mm
4	4 kaki D13 – 90 mm

Tabel 4.10 Tulangan transversal kolom untuk di luar daerah L₀

No Kolom	Tulangan Transversal Digunakan
1	4 kaki D13 – 150 mm
2	4 kaki D13 – 150 mm
3	4 kaki D13 – 150 mm
4	4 kaki D13 – 150 mm



Gambar 4.11 Penampang Kolom 1 dan 2 Struktur SRPMK



Gambar 4.11 Penampang Kolom 3 dan 4 SRPMK

4.4.4 Kolom Kuat

Sesuai dengan SNI 21.6.2.2 Kuat kolom ϕM_n harus memenuhi persamaan berikut:

$$\sum M_{nc} \geq \frac{6}{5} \sum M_{nb}$$

kuat lentur nominal dari ujung balok (tumpuan) pada titik atas kolom 1, diperoleh dari nilai ϕM_n yang telah dihitung pada perhitungan M_n balok dan momen M_n kolom diperoleh dari diagram interaksi kolom. Hasil yang didapatkan kolom kuat telah memenuhi syarat.

4.5. Desain Hubungan Balok Kolom

Dimensi joint dinyatakan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.7.4.1 dan pasal 21.7.2.3.

Sedangkan untuk tulangan sengkang pada daerah joint diatur dalam SNI 2847:2013 pasal 21.7.3.1 dan pasal 21.7.3.2. selanjutnya dilakukan peninjauan gaya geser kolom, gaya tarik dan tekan yang bekerja pada tulangan baja, dan dari perhitungan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 11. Tulangan Sengkang Pada Joint

No Kolom	Tulangan Tranversal Digunakan
1	3 kaki D13 – 150 mm
2	3 kaki D13 – 150 mm
3	3 kaki D13 – 150 mm
4	3 kaki D13 – 150 mm

4.6. Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

Beban pada pelat lantai adalah:

1. Lantai 1, 2 dan 3

Beban Mati = 3,76 kN/m²

Beban Hidup = 4,79 kN/m²

Beban Ultimate = 1,2DL + 1,6LL

= 12,176 kN/m²

2. Lantai 4

Beban Mati = 3,57 kN/m²

Beban Hidup = 1,2 kN/m²

Beban Ultimate = 1,2DL + 1,6LL

= 6,204 kN/m²

Adapun momen yang terjadi pada pelat lantai dianalisa dengan mengacu kepada PBI 1971.

Sehingga diperoleh hasil penulangan sebagai berikut:

Tabel 12. Penulangan Pelat Lantai

No Lantai	Jumlah Tulangan	Tulangan Digunakan
1, 2 dan 3	5	D10 – 250 mm
	5	D10 – 250 mm
	5	D10 – 250 mm
	4	D10 – 300 mm
4	4	D10 – 300 mm
	4	D10 – 300 mm
	4	D10 – 300 mm
	4	D10 – 300 mm

4.7. Perhitungan Tulangan Struktur Tanpa Beban Gempa

Struktur tanpa menggunakan beban gempa ini dianalisa hanya memperhitungkan kombinasi beban hidup dan beban mati saja, dan kebutuhan luas tulangan diambil dari hasil output hasil analisa program SAP 2000. Dan diperoleh hasil penulangannya sebagai berikut:

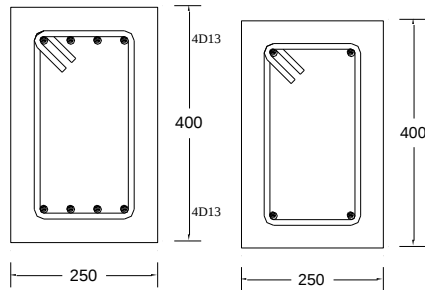
Tabel 4.13 Penulangan Balok Non Gempa

No	Elemen Struktur	Lokasi	Penulangan	Tulangan Sengkang
1.	Balok Lt. 1, 2, 3	Tulangan Atas	4D13	2 kaki D10 - 170 mm
		Tulangan Bawah	4D13	
2.	Balok Lt. 4	Tulangan Atas	2D13	2 kaki D10 - 300 mm
		Tulangan Bawah	2D13	

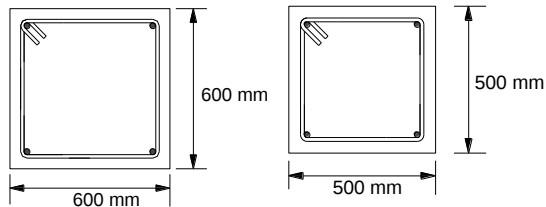
Tabel 4.14 Penulangan Kolom Non Gempa

No	Elemen Struktur	Penulangan Lentur	Tulangan Sengkang
----	-----------------	-------------------	-------------------

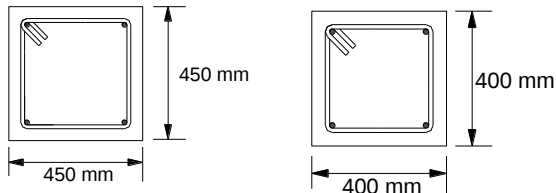
1.	Kolom 1	12D22	2 kaki D10 - 300 mm
2	Kolom 2	12D19	2 kaki D10 - 300 mm
3	Kolom 3	12D16	2 kaki D10 - 250 mm
4	Kolom 4	12D16	2 kaki D10 - 250 mm



Gambar 4.12 Penampang Kolom 1 dan 2 Struktur Non Gempa



Gambar 4.13 Penampang Kolom 1 dan 2 Struktur Non Gempa



Gambar 4.14 Penampang Kolom 3 dan 4 Struktur Non Gempa

4.8. Perbandingan Kebutuhan Tulangan Untuk Kedua Metode

Setelah dilakukan penggambaran penampang elemen lalu dihitung kebutuhan berat tulangan untuk struktur dengan Sistem rangka pemikul Momen Khusus dan struktur tanpa beban gempa, dengan mengacu kepada SNI 2052:2017 untuk berat per meter tulangan maka diperoleh kebutuhan berat tulangan untuk kedua metode diatas sebagai berikut:

Tabel 4.16 Untuk Tulangan Struktur SRPMK

No	Elemenn struktur	Nomor Lantai	Jumlah Elemen	Berat 1 elemen (kg/m)	Total Berat (kg/m)
1	Kolom	1	25	272,867	6821,681
		2	25	215,018	5375,451
		3	25	170,115	4252,870
		4	25	159,539	3988,463
2	Balok	1	20	355,864	7117,282
	Arah X	2	20	355,864	7117,282
		3	20	355,864	7117,282
		4	20	234,095	4681,897
3	Balok	1	20	300,635	6012,710
	Arah Y	2	20	300,635	6012,710
		3	20	300,635	6012,710
		4	20	210,787	4215,737
Total kebutuhan tulangan SRPMK					68726,072

Tabel 4.17 Untuk Tulangan Tanpa Beban Gempa

No	Elemenn struktur	Nomor Lantai	Jumlah Elemen	Berat 1 elemen (kg/m)	Total Berat (kg/m)
1	Kolom	1	25	160,750	4018,747
		2	25	121,157	3028,937
		3	25	91,381	2284,531
		4	25	89,407	2235,171
2	Balok	1	20	233,956	4679,118
	Arah X	2	20	233,956	4679,118
		3	20	233,956	4679,118
		4	20	123,518	2470,363
3	Balok	1	20	184,915	3698,309
	Arah Y	2	20	184,915	3698,309
		3	20	184,915	3698,309
		4	20	99,832	1996,630
Total kebutuhan tulangan tanpa beban gempa					41166,661

Perbandingan penggunaan tulangan struktur dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dan struktur tanpa beban gempa adalah sebagai berikut:

$$\frac{\text{Berat Struktur SRPMK}}{\text{Berat struktur non gempa}} \times 100\%$$

$$= \frac{68726,072 \text{ kg}}{41166,661 \text{ kg}}$$

$$= 166,9\%$$

Artinya, untuk kebutuhan tulangan struktur SRPMK harus dinaikkan sekitar 66,9% dari kebutuhan tulangan untuk struktur tanpa menggunakan beban gempa.

BAB 5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil desain yang telah diperoleh dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perencanaan elemen struktur dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) adalah sangat kompleks, karena terkait dengan pasal-pasal yang cukup banyak yang diatur di dalam SNI-1726:2012 dan SNI-2847:2013 dan saling berkaitan satu sama lain. Dalam pembahasan bab IV pada tugas akhir ini mencantumkan ringkasan-ringkasan perhitungan serta pasal-pasal yang berkaitan dengan masing-masing analisis yang dilakukan penulis.
2. Untuk struktur SRPMK kebutuhan tulangan harus dinaikkan 66,9% dari kebutuhan tulangan tulangan untuk struktur tanpa beban gempa.

5.2. Saran

Berdasarkan pengerjaan tugas akhir ini, saran-saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian lebih lanjut antara lain:

1. Sebaiknya desain penampang elemen balok dan kolom dilakukan berulang-ulang sampai mendapatkan penampang elemen yang optimal.
2. Penelitian lebih lanjut dapat menggunakan data bangunan asli dan data investigasi tanah.
3. Penelitian lebih lanjut dapat menggunakan *software* pendukung analisis struktur yang lebih canggih.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi. (2018, oktober 05). *BMKG Sebut Siulak Daerah Paling Rawan Gempa di Kerinci*. Retrieved Maret 16, 2019, from Jpnn.com: <https://m.jpnn.com/amp/news/bmkg-sebut-siulak-daerah-paling-rawan-gempa-di-kerinci>
- Anonimous. (2018, Oktober 01). *Mengapa di Indonesia Sering Terjadi Gempa ?* Retrieved Maret 16, 2019, from Kumparan: <https://m.kumparan.com/amp/@kumparansains/mengapa-di-indonesia-sering-terjadi-gempa-1538383191480141053>
- Asroni, A. (2010). *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Dipohusodo, I. (1993). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Imran, I., & Hendrik, F. (2016). *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*. Bandung: ITB Press.
- Imran, I., & Zulkifli, E. (2014). *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*. Bandung: ITB Press.
- McCormac, J. C. (2004). *Desain Beton Bertulang Edisi Kelima Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Nawy, E. G. (1998). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT Refika Aditama.
- PPIUG-1983. (1981). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- SNI-1726:2012. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-1727:2013. (2013). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

SNI-2847:2013. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*.

Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.