

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS

Patrisko Hirel Karisoh

Servie O. Dapas, Ronny Pandaleke

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: patrisko.karisoh@gmail.com

ABSTRAK

Dalam merencanakan gedung bertingkat selalu sangat dituntut perencanaan yang aman dan efisien, dimana struktur diharapkan mampu menahan beban-beban yang ada, tidak terkecuali beban gempa, karena beban gempa selalu sangat mempengaruhi perilaku gedung tersebut dan selalu menjadi prioritas utama dalam perencanaan, salah satu metode yang digunakan untuk menahan beban gempa adalah metode perencanaan struktur sistem rangka pemikul momen, yang terbagi dalam 3 bagian yaitu: sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB), sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM), sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). struktur yang menjadi prioritas perencanaan adalah struktur yang mampu menahan kondisi dimana beban gempa ekstrim atau dalam hal ini adalah struktur SRPMK dimana akan dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menahan respon inelastic akibat beban gempa tersebut dengan kata lain struktur diharuskan daktail (fleksibel) agar dapat dikategorikan aman jika digunakan.

Lokasi perencanaan ini akan dilakukan di Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik, Manado, Indonesia, struktur gedung yang direncanakan adalah gedung fasilitas laboratorium Fakultas Teknik, memiliki 3 lantai dengan ketinggian 17 m dan luas gedung 1345 m², beban gempa desain menggunakan metode response spectrum, untuk analisis struktur dan pemodelan menggunakan program ETABS 2016.

Berdasarkan hasil analisis dan desain pada gedung laboratorium Fakultas Teknik, Unsrat penampang balok dengan dimensi 400 x 600 mm dan kolom 700 x 600 mm telah memenuhi kriteria penampang untuk sistem rangka pemikul momen khusus, karena secara teori telah memenuhi syarat-syarat yaitu: Strong Column Weak Beam, tahan terhadap geser dan telah memenuhi syara-syarat pendetailan setiap komponen-komponen rangka.

Kata kunci : *Daktail, SRPMK, Strong Column Weak Beam.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Berdasarkan data terbaru yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional Indonesia (SNI 1726 - 2012) tentang kegempaan terlihat bahwa Indonesia termasuk dalam Negara yang rawan akan gempa yang berkekuatan tinggi, ditunjukkan dari kondisi pergerakan batuan dasar atau *Peak Ground Acceleration* dari banyak tempat di Indonesia yang kalau diklasifikasikan dapat termasuk ke dalam kategori desain seismik D, E, atau F, hal ini dapat sangat berpengaruh pada perilaku struktur teknik sipil atau dalam hal ini struktur sebuah gedung, dan dapat sangat beresiko terjadinya keruntuhan dan membahayakan jiwa manusia. Untuk itu perlu adanya perencanaan struktur tahan gempa yang dapat meminimalisasi terjadinya kerusakan akibat bencana gempa berkekuatan tinggi tersebut.

Untuk merencanakan struktur gedung bertingkat yang aman terhadap bencana gempa setidaknya struktur harus memiliki kekuatan dan perilaku yang baik akibat beberapa tahapan pembebanan termasuk yang paling kritis yaitu beban gempa. Akibat gempa bumi yang terjadi struktur akan berespon terhadap gaya yang bekerja padanya sesuai tingkat kekakuan struktur tersebut hingga mencapai keruntuhannya.

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa ini diharapkan struktur dapat berespon dengan baik terhadap beban gempa yang bekerja pada struktur tersebut sehingga dapat menjamin bangunan tersebut tidak rusak karena gempa-gempa kecil, sedang dan tidak runtuh akibat gempa yang besar.

Peraturan gempa terbaru yaitu SNI 03-1726-2012 bertujuan untuk revisi peraturan sebelumnya, yaitu SNI 03-1726-2002. Peraturan ini mempertimbangkan terjadinya fenomena

gempa di Indonesia dengan tingkat kerusakan infrastruktur yang cukup besar. Zona gempa tidak lagi dibagi menjadi 6 wilayah gempa, namun menjadi lebih detail dari sebelumnya dimana respons spektral, percepatan batuan dasar di wilayah dengan resiko gempa rendah adalah antara 0 hingga 0,15 g, wilayah dengan resiko gempa menengah antara 0,15 g hingga 0,5 g dan wilayah dengan resiko gempa tinggi diatas 0,5 g.

Berdasarkan SNI 03-1726-2012, sistem struktur penahan beban lateral, aksial dan momen yang di akibatkan oleh gempa dapat di pikul oleh suatu sistem yaitu sistem rangka pemikul momen. Sistem ini adalah sistem rangka dimana komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja.

Sistem ini terbagi atas 3 bagian yaitu sebagai berikut :

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), sistem ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok digunakan di daerah dengan resiko gempa yang rendah, keuntungan dari sistem ini adalah arsitekturalnya yang sederhana dan biaya yang murah sedangkan kerugian dari sistem ini yaitu struktur sangat beresiko jika sewaktu-waktu terjadi perubahan alam dan mempengaruhi kondisi tanah yang ada.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), sistem ini memiliki tingkat daktilitas sedang dan digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa sedang, SRPMM diharapkan dapat menahan gaya-gaya yang ada lebih khususnya untuk kolom agar dapat menahan geser, pendetailan harus sesuai dengan yang disyaratkan oleh Badan Standarisasi Nasional (SNI) untuk perencanaan struktur tahan gempa. keuntungan dari sistem ini adalah arsitektural yang sederhana, dan tidak memerlukan banyak perkuatan sedangkan kerugiannya yaitu struktur sangat beresiko jika sewaktu-waktu terjadi perubahan alam dan mempengaruhi kondisi tanah yang ada.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), sistem ini memiliki tingkat daktilitas penuh, sistem ini harus digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa tinggi, prinsip dari sistem ini yaitu strong kolom weak beam, tahan terhadap geser dan memiliki pendetailan yang khusus, keuntungan dari sistem ini adalah dari arsitekturalnya yang sederhana sedangkan kerugiannya yaitu pendetailan yang complex sehingga dapat mempersulit pengerjaan.

Untuk pemilihan sistem ini dapat berdasarkan kategori desain seismic (KDS) dimana untuk SRPMB (KDS A-B), SRPMM (KDS B-C), SRPMK (KDS D-E-F) – (SNI 1726-2012 tabel 9).

Rumusan Masalah

Mengacu pada uraian sebelumnya, maka dapat diambil rumusan masalah, yaitu bagaimana merencanakan elemen-elemen struktur gedung beton bertulang tersebut sesuai dengan konsep sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

Batasan Masalah

Dalam penelitian ini akan diambil beberapa batasan masalah seperti :

1. Analisa Model Struktur gedung beton bertulang untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus :
2. Aspek-aspek yang ditinjau :
 - Balok dan Kolom
 - Pelat Lantai dan Atap
 - Pondasi
3. Hubungan balok dan kolom merupakan sambungan kaku (*Rigid*).
4. Perhitungan gempa menggunakan analisis *Response Spectrum*.
5. Data tanah merupakan hasil pengujian N-SPT.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah untuk merencanakan komponen-komponen struktur gedung beton bertulang agar berperilaku struktur yang daktil, dan diharapkan dapat menahan kondisi bencana gempa yang ekstrim sesuai dengan prinsip Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 2847-2013.

Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah agar penulis dapat menuangkan setiap pengetahuan yang didapat selama perkuliahan ke dalam perencanaan gedung dengan konsep sistem rangka pemikul momen khusus agar dapat berguna kedepannya jika menemui kasus atau kondisi-kondisi yang sama dalam lingkungan pekerjaan.

LANDASAN TEORI

Prinsip Desain SRPMK

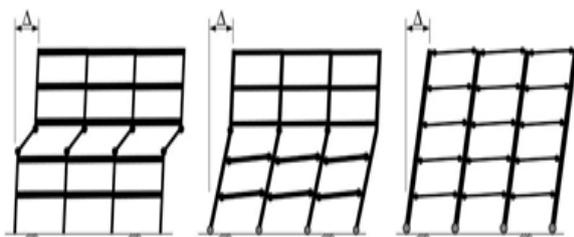
Struktur SPRMK diharapkan memiliki tingkat daktilitas yang tinggi, yaitu mampu

menahan siklus respon inelastis pada saat menerima beban gempa rencana.

Pendetailan dalam ketentuan SRPMK adalah untuk memastikan bahwa respon inelastis dari struktur bersifat duktail. Prinsip ini terdiri dari tiga yaitu: *Strong-Column/weak-beam* yang bekerja menyebar di sebagian besar lantai, menghindari kegagalan geser pada balok, kolom dan joint serta menyediakan detail yang memungkinkan perilaku duktail.

Kolom Kuat Balok Lemah

Pada saat struktur mengalami gaya lateral gempa, distribusi kerusakan sepanjang ketinggian bangunan bergantung pada distribusi lateral story drift (simpangan antar lantai). Jika struktur memiliki kolom yang lemah, simpangan antar lantai akan cenderung terpusat pada satu lantai (gambar 1a). Sebaliknya jika kolom sangat kuat, maka drift akan tersebar merata, dan keruntuhan lokal di satu lantai dapat diminimalkan (gambar 1c dan 1b).



Gambar 1. Kolom Kuat Balok Lemah (Sumber : NEHRP)

Menghindari Keruntuhan Geser

Respon yang bersifat duktail diharapkan terjadi pada balok, dan pada saat yang sama tidak boleh terjadi keruntuhan geser. Keruntuhan geser khususnya pada kolom sangat fatal bagi struktur karena kolom pada satu lantai menumpu semua lantai di atasnya (Gambar 2).

Dalam ketentuan SRPMK, keruntuhan geser dihindari dengan pendekatan desain kapasitas. Gaya geser yang diperhitungkan bukan hanya berasal dari gaya geser akibat beban gravitasi (beban hidup, beban mati) tapi juga mempertimbangkan beban geser yang berasal dari kapasitas momen maksimum balok pada saat balok mengalami yielding.

Pendetailan

Pendetailan dalam SRPMK bertujuan untuk mendapatkan struktur yang bersifat duktail



Gambar 2 : Kegagalan geser kolom (Sumber : NEHRP).

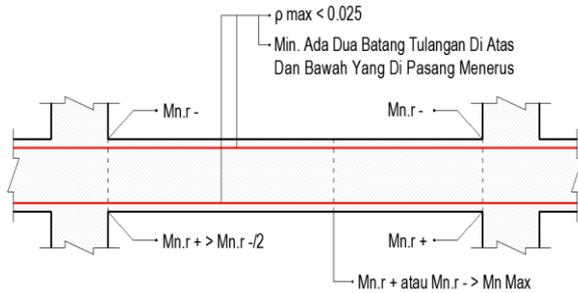
Berikut beberapa ketentuan pendetailan SRPMK :

- Tulangan sengkang dipasang dengan rapat pada bagian struktur yang mengalami kelelahan terutama pada hubungan balok-kolom.
- Pada analisa kekuatan geser pada balok atau kolom, kekuatan geser dari beton (V_c) diabaikan terutama pada balok yang mengalami gaya aksial kecil, sehingga hanya tulangan saja yang menahan gaya geser.
- Pendetailan sambungan dilakukan untuk mencegah keruntuhan pada bagian sambungan itu sendiri.

Persyaratan Balok Pemikul Lentur SRPMK (SNI 2847-2013 Pasal 21.5.2).

1. Luas tulangan A_s , Tidak boleh kurang dari $1,4 bw.d/F_y$
2. Rasio tulangan maksimum ρ tidak boleh melebihi 0,025.
3. Minimal harus ada dua batang menerus pada kedua sisi atas dan bawah.
4. Kekuatan $Mn.r +$ pada muka *joint* $> 1/2$ kuat lentur negatif pada muka *joint* tersebut. Baik kekuatan $Mn.r +$ atau $Mn.r -$ pada penampang $> Mn_{max}$ pada muka salah satu *joint* tersebut.
5. Harus ada sengkang pada daerah sambungan tulangan longitudinal.
6. Sambungan tulangan tidak boleh digunakan dalam *joint* dan dalam dua kali tinggi balok di muka *joint*.

7. Sambungan tulangan tidak boleh digunakan apabila analisis menunjukkan pelelehan lentur di akibatkan oleh perpindahan lateral inelastik rangka.



Gambar 3. Persyaratan Tulangan Longitudinal Balok SRPMK
(Sumber : SNI 2847-2013)

4. Sengkang tertutup pertama harus di pasang tidak melebihi 50 mm dari muka komponen struktur penumpu.
5. Spasi sengkang (S) tidak boleh melebihi yang terkecil dari $d/4$, 8 kali diameter tulangan lentur utama, 24 kali tulangan sengkang dan 300 mm.
6. Spasi tulangan lentur yang tertumpu secara transversal tidak boleh melebihi 350 mm.
7. Spasi sengkang lapangan (S) harus dipasang tidak melebihi $d/2$.
8. Kait gempap dipasang sebesar 6 kali diameter sengkang.
9. Pada daerah sambungan tulangan longitudinal diharuskan memasang sengkang dengan spasi tidak lebih dari $d/4$ dan 100 mm.

Persyaratan Balok Pemikul Geser SRPMK (SNI 2847-2013 Pasal 21.5.3-21.5.4).

1. Gaya Desain

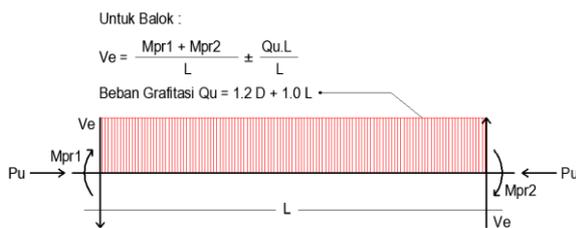
Gaya geser desain, V_e di tinjau dari gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, M_{pr} bekerja pada muka-muka joint, dan komponen struktur tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor disepanjang bentangnya, dapat dilihat pada gambar 2.8.

2. Gaya Geser Rencana

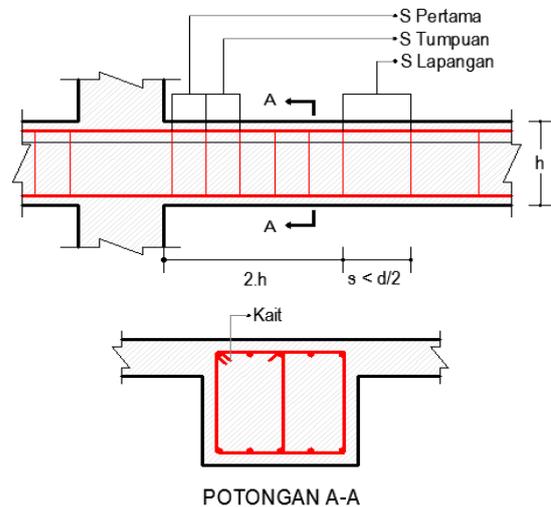
Tulangan transversal sepanjang daerah yang ditentukan harus dirancang untuk menahan geser gempa dengan menganggap $V_c = 0$, bila:

- Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai dengan gaya rencana mewakili setengah atau lebih daripada kuat geser perlu maksimum
- Gaya aksial tekan terfaktor, P_u termasuk akibat gempa harus lebih kecil dari $A_g F_c / 20$.

3. Sepanjang dua kali tinggi balok struktur di kedua sisi penampang dimana pelelehan lentur terjadi.



Gambar 4. Gaya Geser Rencana Balok
(Sumber : SNI 2847-2013)



Gambar 5. Persyaratan Tulangan Transversal Balok SRPMK
(Sumber : SNI 2847-2013)

Persyaratan Kolom Pemikul Lentur SRPMK (SNI 2847-2013 Pasal 21.6.2-21.6.3)

1. Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm.
2. Lebar penampang kolom b berbanding $h \geq 0,4$.
3. Ketentuan lentur kolom harus memenuhi:

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2) \Sigma M_{nb} \dots\dots\dots (1)$$

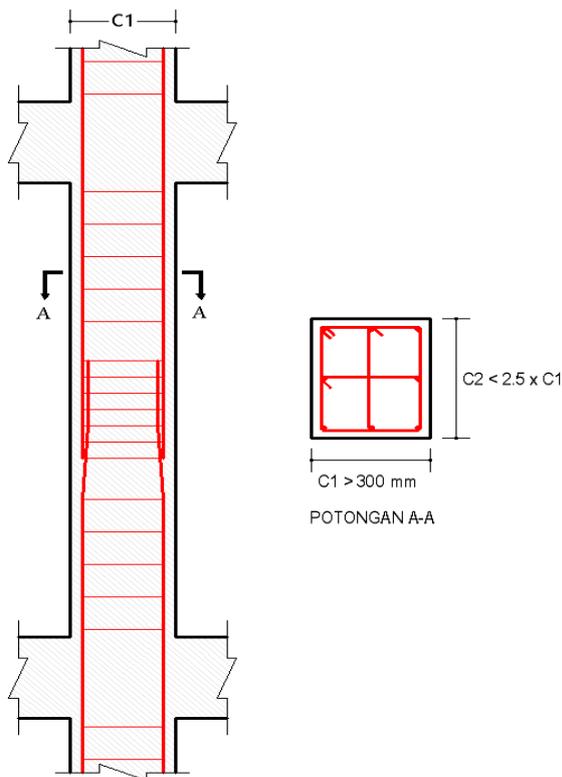
dengan

ΣM_{nc} : Jumlah kuat lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Kuat lentur kolom dihitung untuk gaya aksial terfaktor, dengan

arah gaya-gaya lateral yang ditinjau.

ΣMnb : Jumlah kekuatan nominal balok yang merangka ke dalam *joint* yang dievaluasi di muka-muka *joint*.

4. Jika persamaan tersebut tidak dipenuhi pada hubungan balok-kolom di pasang tulangan transversal disepanjang tinggi kolom.
5. Luas tulangan memanjang, $0,01 A_g \leq A_{st} \leq 0,06 A_g$ atau rasio penulangan A_s/A_g tidak boleh kurang dari 0,01 dan tidak boleh melebihi 0,06.
6. Sambungan lewatan hanya diizinkan dilokasi setengah panjang elemen struktur yang berada di tengah, direncanakan sebagai sambungan lewatan tarik dan harus diikat dengan tulangan transversal.



Gambar 6. Persyaratan Umum Kolom SRPMK
(Sumber : SNI 2847-2013)

Persyaratan Kolom Pemikul Geser SRPMK (SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4-21.6.5)

1. Gaya Desain

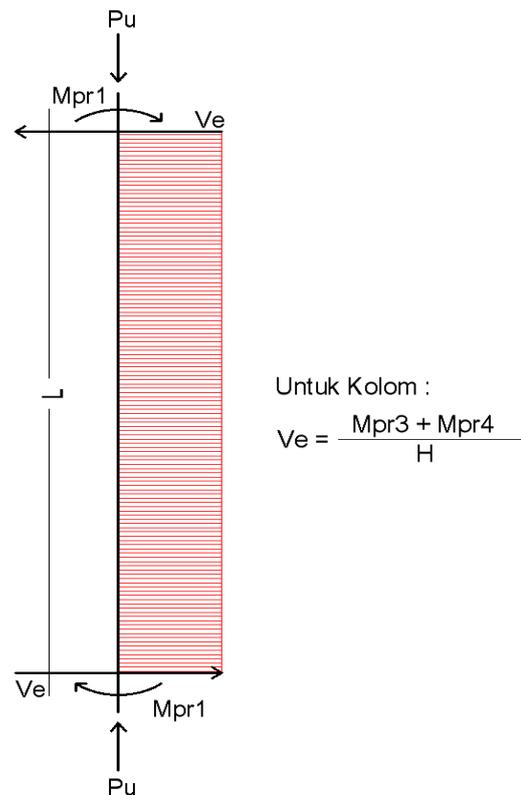
Gaya geser rencana V_e , harus ditentukan dari peninjauan gaya-gaya maksimum di muka-muka pertemuan (*joint*) di setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya pada *joint* tersebut harus ditentukan menggunakan kuat

momen maksimum, M_{pr} , dari komponen struktur tersebut yang terkait dengan rentang beban-beban aksial terfaktor P_u yang bekerja pada komponen struktur. Gaya geser rencana V_e , tidak boleh lebih kecil dari pada geser terfaktor hasil perhitungan analisis struktur.

2. Gaya Geser Rencana

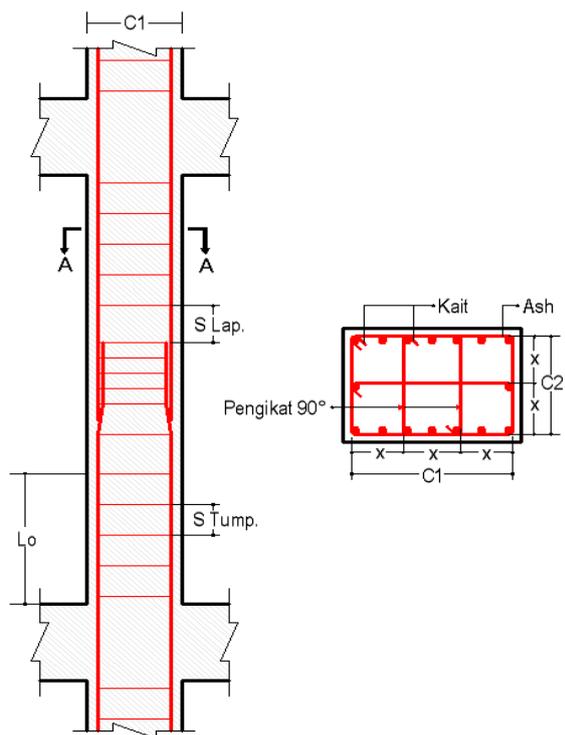
Tulangan transversal sepanjang L , harus direncanakan untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$, bila

- Gaya geser akibat gempa mewakili 50 persen dari kuat geser maksimum.
- Gaya tekan aksial terfaktor P_u tidak melampaui $A_g.F_c'/10$.



Gambar 7. Gaya Geser Rencana Kolom SRPMK
(Sumber: SNI 2847-2013)

3. Spasi tulangan transversal (S) tidak boleh melebihi yang terkecil dari $1/4$ kali C_1 atau C_2 .
4. Jarak antara pengikat 90° (x) tidak boleh melebihi 350 mm
5. Luas total sengkang A_{sh} harus lebih besar dari $0.3.S((A_g/A_{ch})-1).(F_c'/F_{yh})$ dan A_{sh} harus lebih besar dari $0.09.S.F_c'/F_{yh}$.
6. Kait gempa dipasang sebesar 6.diameter sengkang.



Gambar 8 : Persyaratan Tulangan Transversal Kolom SRPMK
 Sumber : SNI 2847-2013

Respons Spektrum Desain

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 < 0,04g$ dan $S_s < 0,15g$, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A, dan cukup memenuhi persyaratan dalam kategori desain seismik A.

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasi sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, atau SF. Bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situs-nya, maka kelas situs SE dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs SF.

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan

faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

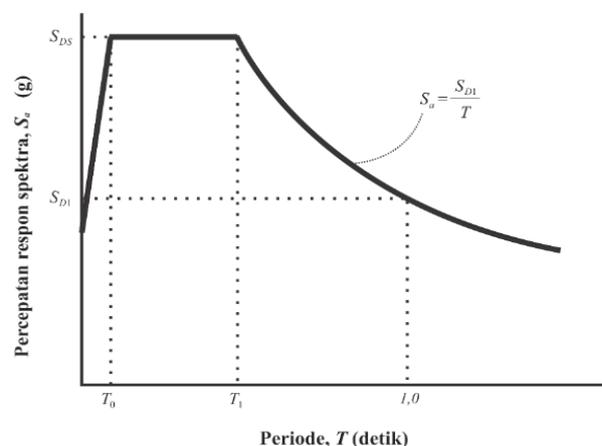
$$S_{MS} = F_a S_s \tag{2}$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \tag{3}$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek;

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.



Gambar 9 Spektrum Respons Desain
 (Sumber : SNI 1726:2012)

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 9, dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \tag{4}$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ;
3. Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \tag{5}$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain perioda pendek.

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik;

T = perioda getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik berdasarkan kategori resiko dan parameter respons spektral percepatan. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Tabel 1 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber : SNI 1726:2012)

Tabel 2. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber : SNI 1726:2012)

Perioda Fundamental Struktur

SNI 1726:2012 pasal 7.8.2 menyatakan bahwa perioda fundamental pendekatan T_a , harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (6)$$

Keterangan:

h_n = ketinggian total struktur, dari dasar hingga tingkat tertinggi (m)

Tabel 3. Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber : SNI 1726:2012)

Tabel 4. Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x

Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:	C_t	x
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,76
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,77

(Sumber : SNI 1726:2012)

Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.9.1. Partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal orthogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

Batasan Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.8.6. Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa ditingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi didasar tingkat berdasarkan proyeksi vertical dari pusat massa tingkat diatasnya.

Maka simpangan harus memenuhi :

$$\Delta_i \leq \Delta_a$$

Dimana :

Δ_i = Simpangan yang terjadi

Δ_a = Simpangan ijin

Ketidakteraturan Torsi

Berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 10. Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, disebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata dikedua ujung struktur. Persyaratan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.

METODOLOGI PERENCANAAN

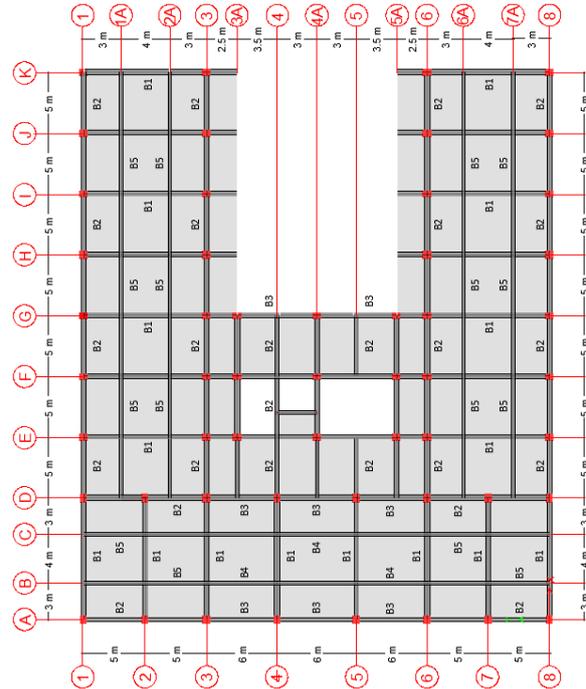
Data Perencanaan

1. Fungsi gedung : Laboratorium
2. Lokasi gedung : Manado, Sulut
3. Beban hidup : 400 kg/m²
4. Beban mati : 2400 kg/m³
5. Beban mati tambahan :
 - Keramik + spesi : 45 kg/m²
 - Plumbing : 10 kg/m²
 - Plafond : 18 kg/m²
 - Dinding 1/2 bata : 250 kg/m²
6. Mutu beton : 30 Mpa
7. (BJTS 40) Lentur : 390 Mpa
8. (BJTP 24) Geser : 240 Mpa

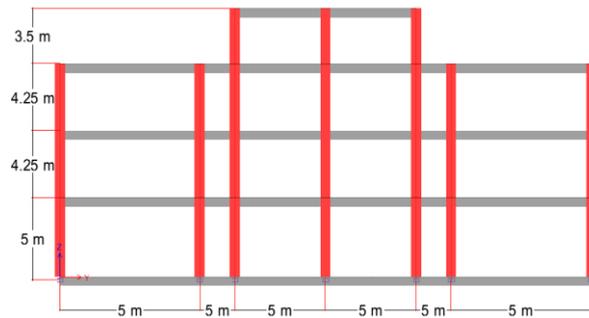
Metode untuk Analisa Gempa

1. Pembebanan gempa menggunakan respons spektrum.
2. Kombinasi Pembebanan
 - 1,4 D
 - 1,2 D + 1,6 L
 - 1,2 D + 1,0 L + 1,0 E
 - 0,9 D + 1,0 E

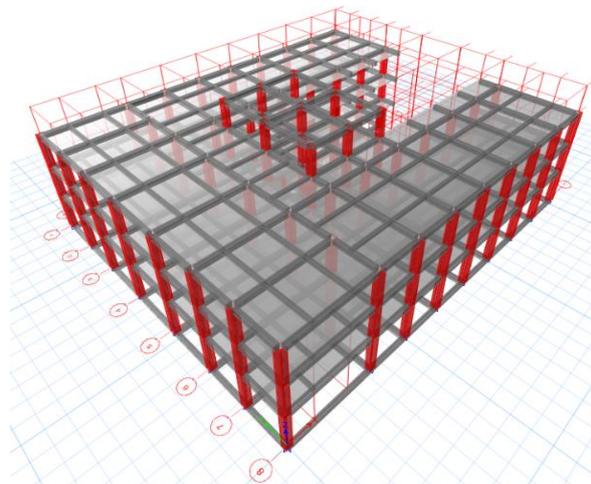
Model Struktur



Gambar 10. Denah



Gambar 11. Portal Struktur



Gambar 12. Model 3D Struktur

Data Tanah

Data tanah hasil pengujian Standar Penetrasi (SPT) diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Tanah hasil SPT

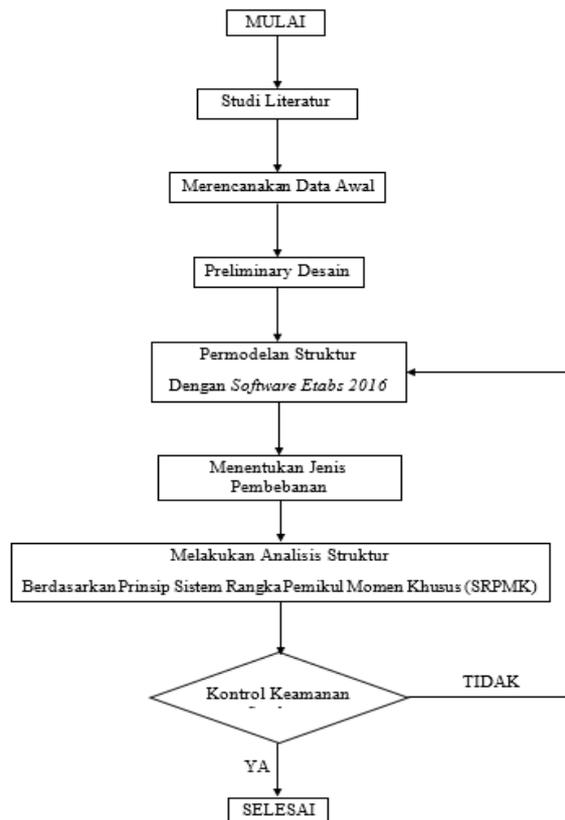
No	DATA HASIL PENGUJIAN		(DESKRIPSI)	SPT
	KEDALAMAN		JENIS TANAH	
	z ₁ (m)	z ₂ (m)		N
1	0.00	1.00	Sandy Clay, Black	10
2	1.00	1.50	Sandy Clay, Black	10
3	1.50	2.00	Sandy Clay, Black	21
4	2.00	3.00	Silty Clay, Light Brown	24
5	3.00	3.50	Silty Clay, Light Brown	24
6	3.50	4.00	Silty Clay, Brown	26
7	4.00	4.50	Silty Clay, Brown	26
8	4.50	5.00	Silty Clay, Brown	27
9	5.00	6.00	Silty Clay, Brown	30
10	6.00	6.50	Silty Clay, Brown	30
11	6.50	7.00	Silty Clay, Brown	28
12	7.00	7.50	Silty Clay, Brown	28
13	7.50	8.00	Silty Clay, Brown	43

Preliminary Desain

- Balok Utama : 400/600 mm
- Balok Anak : 300/400 mm
- Kolom : 600/700 mm
- Sloof : 400/600 mm
- Pelat : 120 mm

Langkah-Langkah Perencanaan

1. Melakukan study literatur untuk mempelajari secara keseluruhan mengenai prinsip sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).
2. Merencanakan data awal struktur berupa geometri struktur (denah struktur), letak struktur, kondisi tanah, fungsi struktur dll.
3. Melakukan preliminary desain dengan tujuan untuk mendapatkan geometri awal penampang balok, kolom dan pelat agar mempermudah permodelan di software ETABS 2016 nantinya.
4. Memodelkan struktur dengan bantuan software ETABS 2016.
5. Menentukan jenis pembebanan struktur berupa beban hidup (*Live Load*), beban mati (*Dead Load*), beban mati tambahan (*Superdead Load*) dan beban gempa (*Earthquake Load*).
6. Melakukan analisis struktur berdasarkan prinsip sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).
7. Melakukan kontrol keamanan struktur.



Gambar 13. Diagram Alir Proses Perencanaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kontrol Analisis Struktur

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantuan ETABS, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol sebagai berikut :

- Kontrol periode fundamental struktur
- Kontrol partisipasi massa
- Kontrol Base Shear
- Kontrol Simpangan Antar Tingkat
- Kontrol Ketidakberaturan Torsi

Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur (T), tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (Cu) dari tabel 2.9 dan periode fundamental pendekatan, (Ta). Sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, (T) diijinkan secara langsung menggunakan periode

bangunan pendekatan (Ta). Periode fundamental pendekatan (Ta) dalam detik.

Batas Bawah :

$$Ta \text{ (min)} = 0,0466 \times (h \text{ Gedung})^{0,9}$$

$$= 0,0466 \times 17^{0,9}$$

$$= 0,5967 \text{ detik}$$

Batas Atas :

$$Ta \text{ (max)} = Cu.Ta \text{ (min)}$$

$$= 1,4 \times 0,5967$$

$$= 0,83538 \text{ detik}$$

T berdasarkan analisis struktur, $T_c = 0,689$ dt
 $T_c > Ta \text{ (min)}$ maka digunakan, $T = 0,689$ dt

Kontrol Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.9.1 perhitungan respon dinamis struktur harus dibuat hingga menghasilkan partisipasi massa lebih besar dari 90 % massa total struktur. Dibawah ini merupakan hasil dari partisipasi massa dari hasil analisis menggunakan ETABS.

Tabel 6. Partisi Massa Struktur

CASE	MODE	T	UX	UY
Modal	1	0.689	4%	48%
Modal	2	0.688	89%	50%
Modal	3	0.651	89%	87%
Modal	4	0.212	98%	87%
Modal	5	0.203	98%	93%
Modal	6	0.199	98%	98%
Modal	7	0.161	98%	98%
Modal	8	0.119	99%	98%
Modal	9	0.111	100%	98%
Modal	10	0.107	100%	99%
Modal	11	0.091	100%	100%
Modal	12	0.045	100%	100%

Dari hasil diatas dapat diketahui partisipasi massa sudah memenuhi ketentuan yaitu melebihi 90 % diatas mode ke 6.

Kontrol Base Shear

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.94 kombinasi respons untuk geser dasar ragam (Vt) harus lebih besar dari 85 persen dari geser dasar (V) yang dihitung. Tabel 7 berikut merupakan hasil analisis geser dasar.

Kontrol Simpangan Antar Tingkat

Berdasarkan SNI 1726 2012 Pasal 7.9.3 simpangan yang terjadi harus lebih kecil dari simpangan yang diijinkan. Tabel 8 adalah hasil analisis simpangan antar tingkat yang diperoleh menggunakan program ETABS.

Tabel 7. Kontrol Base Shear

Arah	Base shear (kg)			Kontrol
	Statis (V)	0,85 . V	Dinamis (Vt)	
X	206220	175287	232739	OK
Y	61866	52586	65798	OK

Tabel 8. Kontrol Simpangan Antar Lantai

LT.	hsx	ΔX Max	ΔY Max	Δa	Kontrol
	mm	mm	mm	0.020 hsx	$\Delta i < \Delta a$
Top	17000	12.380	3.715	262	OK
Lt 3	13500	11.448	3.749	208	OK
Lt 2	9250	8.7700	2.645	142	OK
Lt 1	5000	4.5200	1.234	77	OK
Base	0	0	0	0	

Kontrol Ketidakberaturan Torsi

Berdasarkan tabel 9. dapat disimpulkan bahwa ketidakberaturan torsi tidak terjadi artinya struktur gedung tersebut masih terbilang aman.

Tabel 9. Kontrol Ketidakberaturan Torsi

LT	Drift maks	1.2 Drata-rata	Drift Max < 1.2 Drift Rata-Rata
		Arah X	Arah X
3	2.647	3.1764	OK
2	4.231	5.0766	OK
1	4.517	5.3982	OK
LT	Drift maks	1.2 Drata-rata	Drift Max < 1.2 Drift Rata-Rata
		Arah Y	Arah Y
3	1.106	1.1448	OK
2	1.463	1.5546	OK
1	1.231	1.4454	OK

Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Rekapitulasi perhitungan tulangan lentur balok diperlihatkan pada Tabel 10. Sedang perhitungan tulangan geser dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 10. Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Posisi	Elemen	Jenis Tulangan	Tul. Pakai
LT.1	B1	Tumpuan	10 D 19
		Lapangan	7 D 19
LT.2	B1	Tumpuan	10 D 19
		Lapangan	7 D 19
LT.3	B1	Tumpuan	7 D 19

		Lapangan	3 D 19
LT.1	B2	Tumpuan	3 D 19
		Lapangan	3 D 19
LT.2	B2	Tumpuan	3 D 19
		Lapangan	3 D 19
LT.3	B2	Tumpuan	3 D 19
		Lapangan	3 D 19
LT.1	B3	Tumpuan	3 D 19
		Lapangan	3 D 19
LT.2	B3	Tumpuan	3 D 19
		Lapangan	3 D 19
LT.3	B3	Tumpuan	3 D 19
		Lapangan	3 D 19
LT.1	B4	Tumpuan	3 D 19
		Lapangan	3 D 19
LT.2	B4	Tumpuan	3 D 19
		Lapangan	3 D 19
LT.3	B4	Tumpuan	3 D 19
		Lapangan	3 D 19
LT.1	B5	Tumpuan	3 D 19
		Lapangan	3 D 19
LT.2	B5	Tumpuan	3 D 19
		Lapangan	3 D 19
LT.3	B5	Tumpuan	3 D 19
		Lapangan	3 D 19
Base	B6	Tumpuan	3 D 19
		Lapangan	3 D 19
Base	B7	Tumpuan	3 D 19
		Lapangan	3 D 19

Tabel 11. Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Geser Balok

Posisi	Elemen	Jenis Tulangan	Tul. Pakai
LT.1	B1	Tumpuan	Ø 12 - 80 mm
		Lapangan	Ø 12 - 100 mm
LT.2	B1	Tumpuan	Ø 12 - 80 mm
		Lapangan	Ø 12 - 100 mm
LT.3	B1	Tumpuan	Ø 12 - 80 mm
		Lapangan	Ø 12 - 100 mm
LT.1	B2	Tumpuan	Ø 12 - 100 mm
		Lapangan	Ø 12 - 200 mm
LT.2	B2	Tumpuan	Ø 12 - 100 mm
		Lapangan	Ø 12 - 200 mm
LT.3	B2	Tumpuan	Ø 12 - 100 mm
		Lapangan	Ø 12 - 200 mm
LT.1	B3	Tumpuan	Ø 12 - 100 mm
		Lapangan	Ø 12 - 200 mm
LT.2	B3	Tumpuan	Ø 12 - 100 mm
		Lapangan	Ø 12 - 200 mm
LT.3	B3	Tumpuan	Ø 12 - 100 mm
		Lapangan	Ø 12 - 200 mm
LT.1	B4	Tumpuan	Ø 12 - 100 mm
		Lapangan	Ø 12 - 200 mm
LT.2	B4	Tumpuan	Ø 12 - 100 mm
		Lapangan	Ø 12 - 200 mm

LT.3	B4	Tumpuan	Ø 12 - 100 mm
		Lapangan	Ø 12 - 200 mm
LT.1	B5	Tumpuan	Ø 12 - 100 mm
		Lapangan	Ø 12 - 200 mm
LT.2	B5	Tumpuan	Ø 12 - 100 mm
		Lapangan	Ø 12 - 200 mm
LT.3	B5	Tumpuan	Ø 12 - 100 mm
		Lapangan	Ø 12 - 200 mm
Base	B6	Tumpuan	Ø 12 - 200 mm
		Lapangan	Ø 12 - 200 mm
Base	B7	Tumpuan	Ø 12 - 200 mm
		Lapangan	Ø 12 - 200 mm

Rekapitulasi perhitungan tulangan kolom dan perhitungan tulangan pelat dan pondasi masing-masing ditunjukkan pada Tabel 12 dan Tabel 13 berikut.

Tabel 12. Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Kolom

Posisi	Elemen	Jenis Tulangan	Tul. Pakai
LT.1	C1	Lentur	14 D 19
	C2	Geser	Ø 12 - 150 mm
LT.2	C1	Lentur	14 D 19
	C2	Geser	Ø 12 - 150 mm
LT.3	C1	Lentur	14 D 19
	C2	Geser	Ø 12 - 150 mm

Tabel 13. Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Pelat dan Pondasi

Posisi	Kode	Komponen	Tul. Pakai
LT. 1	F35	Pelat	Ø10 - 100 mm
Base	P1	Lentur Tiang	8 D 19
Base	P2	Lentur Tiang	8 D 19
Base	P42	Geser Tiang	Ø10 - 150 mm
Base	P42	Pile Cap	D 19 - 150 mm

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan struktur gedung beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus maka penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Persyaratan “*Strong Column Weak Beam*” atau kolom kuat dan balok lemah telah terpenuhi karena beberapa kondisi yaitu: Komponen balok dengan dimensi yang ada, ternyata tulangan tekan sudah mengalami kelelahan

yang artinya material tulangan yang dipasang mampu mengembangkan regangannya dari pertama kali leleh hingga mencapai tulangan itu putus atau dapat dikatakan komponen balok tersebut bersifat daktail.

Kondisi balok dan kolom telah memenuhi kondisi $\Sigma M_{nc} \geq 1.2 \Sigma M_{nb}$ atau kondisi dimana jumlah kuat lentur nominal kolom lebih besar dari jumlah kuat lentur nominal balok

2. Komponen balok dan kolom dengan mekanisme penulangan yang ada, mampu menahan gaya geser yang terjadi akibat gempa atau balok dan kolom dapat dikatakan sudah memenuhi syarat-syarat untuk desain kapasitas geser dimana kapasitas geser nominal (V_n) masih lebih besar dari gaya yang bekerja pada balok dan kolom itu sendiri (V_u).
3. Dimensi komponen struktur dalam perencanaan ini sudah termasuk yang paling efisien (ukuran balok 400/600 mm, kolom 500/700 mm dan pelat tebal 120 mm) karena nilai periode fundamental struktur sudah termasuk yang paling maksimum dimana $T = 0,689$ detik dan tidak melewati batas bawah $T_a (\text{min}) = 0,5967$ detik dan batas atas $T_a (\text{max}) = 0,8353$ detik. Jika komponen struktur diperkecil lebih dari ini, maka periode fundamental struktur akan semakin membesar dan sangat tidak menguntungkan saat terjadinya gempa,

sedangkan jika komponen struktur diperbesar periode fundamental struktur tidak akan melewati batas maksimum namun struktur akan menjadi sangat boros.

Saran

Berdasarkan hasil perencanaan penulis dapat memberikan beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Sebaiknya sambungan tulangan baja tidak dipasang di daerah joint atau hubungan antara balok dan kolom karena pada daerah joint gaya-gaya yang bekerja cukup besar dan ada kemungkinan sambungan terlepas saat gempa ekstrim terjadi sehingga mengakibatkan keruntuhan terjadi.
2. Tidak dianjurkan memasang sambungan tulangan pada daerah sendi plastis karena ketika sewaktu-waktu terjadi kesalahan yang tidak disengaja dan beton retak sebelum tulangan maka kemungkinan sambungan akan terlepas sangat besar, sehingga mengakibatkan keruntuhan terjadi.
3. Untuk perencanaan lanjutan jika menggunakan prinsip yang sama, perlu dicoba perencanaan struktur SRPMK dengan bentuk kolom yang berbeda, apakah itu kolom bulat, pipih ataupun kolom yang bervariasi ukurannya

DAFTAR PUSTAKA

- BSNI 2012. SNI 1726-2012 : *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung.*
- BSNI 2013. SNI 1727-2013 : *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.*
- BSNI 2013. SNI 2847-2013 : *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.*
- Nawy, Edward G. *Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Awal.*
- Finley Charney, Adrian Tola Tola, and Ozgur Atlayan, “*Structural Analysis*”
- Finley Charney, James Malley, “*Linear Analysis Procedures Design Example*”
- Gideon Kusuma, Takim Andriyono, “*Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa.*”
- Himawan Indarto, Hanggoro Tri Cahyo A dan Kukuh C. Adi Putra 2013. *Aplikasi SNI Gempa 1726-2012.*
- NEHRP. *Seismic Design Technical Brief No.2.*