

PERENCANAAN KONSTRUKSI BETON BERTULANG UNTUK GEDUNG PARKIR

Rollan Satrio Pratama Jonas Missi

Banu Dwi Handono, Marthin D. J. Sumajouw

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

email: rollanmissi19@gmail.com

ABSTRAK

Dalam merencanakan suatu struktur bertingkat di wilayah rawan gempa, diwajibkan untuk menggunakan sistem struktur yang tepat agar struktur tersebut mampu menahan beban – beban yang bekerja terhadapnya dan beban gempa. Sistem struktur yang digunakan dalam merencanakan struktur tahan gempa adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Oleh sebab itu, dalam merencanakan suatu gedung parkir perlu menggunakan SRPMK dimana struktur akan dirancang agar bersifat daktail atau fleksibel sehingga bisa merespon beban yang diakibatkan oleh gempa.

Struktur gedung yang direncanakan memiliki 4 lantai, dengan ukuran bangunan 62.01 x 32.26 x 12.8 m dan direncanakan dibangun di kota Manado. Komponen struktur yang direncanakan adalah komponen struktur atas yang terdiri dari balok, kolom dan pelat serta komponen struktur bawah yang merupakan pondasi. Peraturan perencanaan mengacu pada SNI 1726:2012 (Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung), SNI 1727:2013 (Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain) dan SNI 2847:2013 (Persyaratan beton structural untuk bangunan gedung). Struktur dianalisis menggunakan program ETABS 2016, hasil analisis kemudian dihitung untuk memenuhi syarat SRPMK.

Berdasarkan hasil analisis dan desain terhadap struktur gedung parkir tersebut, komponen struktur yang telah didesain penulungannya telah memenuhi syarat SRPMK. Untuk variasi ukuran balok 600 mm x 300 mm, 500 mm x 250 mm dan 400 mm x 250 mm. Untuk variasi ukuran kolom dipakai 600 mm x 600 mm untuk struktur gedung parkir utama dan kolom bulat dengan diameter 600 mm untuk penopang struktur ramp. Untuk variasi pelat dipakai tebal 150 mm untuk struktur gedung parkir utama, sedangkan tangga, bordes dan pelat ramp menggunakan pelat dengan tebal 120 mm. Untuk struktur bawah, dipakai pondasi bored pile dengan diameter 600 mm dengan Pile Cap ukuran 1600 mm x 1600 mm x 1000 mm. Elemen struktur yang didesain mampu menahan gaya lentur dan gaya geser yang bekerja pada struktur sehingga menghasilkan struktur yang daktail.

Kata Kunci: *Perencanaan Gedung, Gedung Parkir, SRPMK, Daktail*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dewasa ini ketersediaan lahan untuk pembangunan merupakan hal yang patut diperhitungkan, melihat pertumbuhan manusia yang terus bertambah, sedangkan ketersediaan lahan untuk pembangunan yang terbatas. Salah satu solusi yang diciptakan untuk dapat menjawab permasalahan ini adalah pembangunan secara vertikal, dalam hal adalah pembangunan gedung bertingkat. Pembangunan gedung bertingkat dimaksudkan untuk dapat memenuhi kebutuhan ruang aktifitas manusia, oleh sebab itu kekuatan struktur untuk menahan beban agar dapat menjaga keselamatan dan kenyamanan dalam beraktifitas pada gedung

tersebut sangatlah diperlukan. Gedung bertingkat memiliki resiko keruntuhan yang besar akibat dari gempa, mengingat bahwa Indonesia merupakan wilayah yang rawan gempa.

Salah satu permasalahan di Indonesia adalah keterbatasan lahan parkir sedangkan pertumbuhan kendaraan semakin meningkat, oleh sebab itu alternatif yang dapat digunakan adalah membangun gedung parkir untuk dapat menampung kapasitas kendaraan. Dalam merencanakan pembangunan gedung parkir tentunya diperlukan perhitungan yang akurat dan efisien serta pemilihan material konstruksi yang tepat untuk dapat menjawab kebutuhan struktur yang kuat juga tahan terhadap gempa serta dapat menahan beban-beban yang direncanakan pada struktur tersebut. Beton bertulang merupakan

material yang umum digunakan untuk membangun konstruksi gedung bertingkat, dengan kombinasi antar beton yang memiliki sifat kuat terhadap gaya tekan dan besi tulangan memiliki kuat tarik yang besar.

Berdasarkan hal ini, penulis akan membuat sebuah perencanaan pembangunan stuktur gedung bertingkat yang menggunakan beton bertulang dimulai dari menganalisa kemudian merencanakan setiap elemen dari struktur gedung bertingkat tersebut dengan mempertimbangkan efisiensi dan syarat-syarat yang ditetapkan dalam SNI juga persyaratan pengadaan fasilitas parkir. Dalam penelitian ini, stuktur yang direncanakan adalah Gedung Parkir.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian ini dimaksudkan untuk merencanakan Konstruksi Beton Bertulang untuk Gedung Parkir dengan memperhatikan kondisi pembangunan di wilayah yang rawan gempa. Perencanaan dilakukan dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan prinsip untuk menciptakan gedung bertingkat yang memiliki daktilitas tinggi sehingga tahan terhadap gempa.

Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Struktur yang direncanakan adalah Gedung Parkir 4 Lantai dengan konstruksi Beton Bertulang.
2. Analisa Struktur dengan bantuan software ETABS 2016.
3. Beban yang diaplikasikan adalah Beban Mati, Beban Hidup dan Beban Gempa.
4. Perhitungan akibat gaya gempa menggunakan metode statik ekuivalen berdasarkan SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.
5. Perencanaan elemen struktur bangunan menggunakan analisis berdasarkan pada SNI 2847:2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
6. Peraturan pembebanan yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
7. Perencanaan geometrik fasilitas parkir mengacu pada Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor: 272/HK.105/DRJD/96 tentang Pedoman

Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir Direktur Jenderal Perhubungan Darat dan Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir Direktorat Bina Sistem Lalu Lintas Angkutan Kota Direktorat Jenderal Perhubungan Darat.

8. Perencanaan tidak meliputi analisa kebutuhan parkir dan sistem operasional parkir.
9. Gedung parkir dikhususkan hanya untuk memarkir kendaraan berupa mobil penumpang golongan II berdasarkan Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir Direktur Jenderal Perhubungan Darat. Tidak dikhususkan untuk kendaraan beroda dua dan bus/truk.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah merencanakan elemen struktur beton bertulang tahan gempa khususnya untuk perencanaan gedung parkir.

Manfaat Penelitian

Sebagai referensi untuk merencanakan struktur tahan gempa khususnya untuk perencanaan gedung parkir.

LANDASAN TEORI

Standar Perencanaan Struktur Beton Bertulang

Perencanaan struktur beton bertulang di Indonesia mengacu pada SNI 2847:2013 dengan berbasis kekuatan atau yang lebih sering dikenal dengan metode LRFD (Load and Resistance Factor Design). Syarat dasar LRFD adalah:

- Kuat Rencana \geq Kuat Perlu
- ϕ (Kuat Nominal) \geq U

Analisis Beban Gempa

Periode Alami Struktur

Periode alami struktur, T, dalam arah yang ditinjau tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung. Batasan yang masih diizinkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus: $T_a = C_t h_n^x$ dan $T_{max} = C_u T_a$

Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik adalah gaya geser dasar akibat gempa bumi. Sesuai dengan SNI 1726:2012 dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V = C_s W$$

Simpangan Antar Lantai

Gaya gempa lateral menyebabkan struktur mengalami simpangan dalam arah lateral. Penentuan simpangan antar lantai, Δ , harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah. Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) dapat dihitung dengan persamaan berikut:
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Definisi SRPMK

SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) adalah desain struktur beton bertulang dengan fleksibilitas yang tinggi dikarenakan sifat daktilitasnya yang tinggi dan pendetailan yang diatur untuk mendapatkan kondisi tersebut. Dengan pendetailan mengikuti ketentuan SRPMK, maka faktor reduksi gaya gempa R dapat diambil sebesar 8, yang artinya bahwa gaya gempa rencana hanya 1/8 dari gaya gempa untuk elastis desain (Pengambilan nilai $R > 1$ artinya mempertimbangkan post-elastic desain, yaitu struktur mengalami kelelahan tanpa kegagalan fungsi). Ketentuan SRPMK dijelaskan dalam SNI 2847:2013.

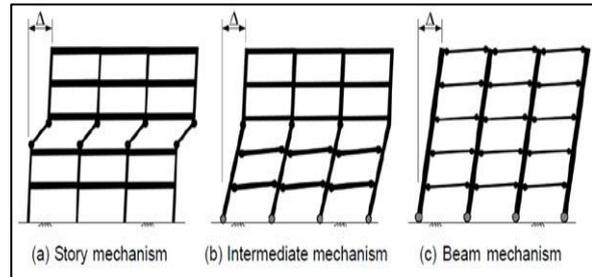
Saat ini, SRPMK wajib digunakan untuk wilayah dengan resiko gempa tinggi (kategori desain sesimik D, E dan F dalam SNI 1726:2012 atau ASCE-7). SRPMK dapat digunakan juga dalam kategori desain seismik A, B dan C, namun perlu diperhatikan jika tidak ekonomis. Berdasarkan pengalaman para praktisi, untuk desain yang ekonomis dengan SRPMK, bentang balok yang proporsional adalah 6 sampai 9 m. Untuk jarak antar lantai disarankan tidak lebih dari 6 m. Untuk jarak antar lantai yang tinggi, perlu diperhatikan kemungkinan soft story.

Prinsip SRPMK

Struktur SRPMK diharapkan memiliki tingkat daktilitas yang tinggi, yaitu mampu menerima mengalami siklus respon inelastis pada saat menerima beban gempa rencana. Pendetailan dalam ketentuan SRPMK adalah untuk memastikan bahwa respon inelastis dari struktur bersifat daktil. Prinsip ini terdiri dari tiga:

1. Strong-Column/Weak-Beam yang bekerja menyebar di sebagian besar lantai.
2. Tidak terjadi kegagalan geser pada balok, kolom dan joint.

3. Menyediakan detail yang memungkinkan perilaku daktil.



Gambar 1: Desain SRPMK mencegah terjadinya mekanisme soft story (a) dengan membuat kolom kuat sehingga drift tersebar merata sepanjang lantai (a) atau sebagian besar lantai (b)

Syarat Balok untuk SRPMK (SNI 2847:2013)

Syarat Umum

1. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur, P_u , tidak boleh melebihi dari $A_g f'_c / 10$. ($P_u \leq A_g f'_c / 10$)
2. Panjang bentang bersih untuk komponen struktur, l_n , harus lebih besar empat kali tinggi efektifnya, ($l_n \geq 4d$)
3. Lebar komponen, b_w tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari 0.3h dan 250 mm. ($b_w \geq 0,3h$ atau 250 mm)
4. Lebar komponen struktur, b_w , tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu, ditambah suatu jarak pada masing-masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan yang lebih kecil dari (a) dan (b):
 - a) Lebar komponen struktur penumpu, dan
 - b) 3/4 kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu.

Syarat Tulangan Longitudinal (Tulangan Lentur)

1. Untuk luas tulangan atas maupun bawah, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari yang diberikan oleh Pers. (10-3) dalam SNI 2847:2013 tetapi tidak kurang dari $1,4b_w d / f_y$, dan rasio tulangan, ρ , tidak boleh melebihi 0,025. Paling sedikit dua batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah.
2. Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu dari joint tersebut.

3. Sambungan lewatan pada tulangan lentur diizinkan hanya jika ada tulangan sengkang atau spiral disediakan sepanjang panjang sambungan. Spasi tulangan transversal yang mengikat batang tulangan yang disambung lewatan tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari $d/4$ dan 100 mm.

Syarat Tulangan Transversal (Tulangan Geser)

1. Sengkang tertutup harus disediakan pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari tumpuan pada kedua ujung komponen struktur lentur. Selain itu, sengkang tertutup juga harus dipasang disepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang, pada tempat yang diharapkan dapat terjadi leleh lentur.
2. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Jarak antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b) dan (c):
 - a) $d/4$
 - b) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 - c) 150 mm
3. Bila sengkang tertutup tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang komponen struktur.

Syarat Kuat Geser Balok

Gaya geser desain, V_e , harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, M_{pr} , bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya.

Syarat Tulangan Torsi Minimum

1. Diameter tulangan torsi harus paling sedikit 0,042 kali spasi sengkang, tetapi tidak kurang dari batang D-10 (Diameter 10 mm),
2. Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari $Ph/8$ atau 300 mm,
3. Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk torsi harus didistribusikan di sekeliling perimeter sengkang tertutup dengan spasi sebesar 300 mm.

Syarat Kolom untuk SRPMK (SNI 2847:2013)

Syarat Umum

1. Komponen struktur yang memikul lentur dan gaya aksial (kolom) yang diakibatkan oleh beban gempa bumi, serta beban aksial terfaktor yang bekerja melebihi $A_g f_c / 10$ harus memenuhi persyaratan ukuran penampang sebagai berikut.
2. Ukuran penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui titik pusat geometris penampang tidak kurang dari 300 mm.
3. Perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurus tidak kurang dari 0,4.

Syarat Tulangan Longitudinal (Tulangan Lentur)

Kuat lentur dari suatu kolom harus memenuhi persamaan berikut: $\Sigma M_{nc} \geq 6/5 \Sigma M_{nb}$

Syarat Tulangan Transversal (Tulangan Geser)

Pada daerah sendi plastis kolom harus disediakan tulangan transversal yang mencukupi. Panjang daerah sendi plastis kolom (l_o) diambil tidak kurang dari:

1. Tinggi penampang komponen struktur pada muka hubungan balok-kolom atau pada segmen yang memiliki potensi terjadi leleh lentur.
2. $1/6$ dari bentang bersih komponen struktur.
3. 450 mm.

Spasi tulangan transversal sepanjang l_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

1. Seperempat dimensi komponen struktur terkecil
2. Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil, dan
3. $s_o = 100 + (350 + h_x) / 3$, nilai s_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.
4. Diluar daerah sepanjang l_o dari hubungan balok kolom jarak sengkang tertutup diambil tidak melebihi nilai terkecil antara 6 kali diameter tulangan longitudinal atau 150 mm.

Syarat Hubungan Balok-Kolom pada SRPMK (SNI 2847:2013)

Syarat Tulangan Longitudinal (Tulangan Lentur)

1. Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka HBK harus ditentukan dengan menganggap bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,25f_y$.

2. Tulangan longitudinal balok yang berhenti pada suatu kolom harus memiliki panjang penyaluran yang cukup hingga mencapai sisi jauh dari inti kolom terkekang.
3. Jika tulangan longitudinal balok diteruskan hingga melewati HBK, maka dimensi kolom dalam arah parallel terhadap tulangan longitudinal balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok.

Syarat Tulangan Transversal (Tulangan Geser)

1. Tulangan transversal berbentuk sengkang tertutup harus disediakan pada daerah HBK.
2. Pada suatu HBK yang memiliki balok dengan lebar sekurangnya ¾ lebar kolom dan merangka pada keempat sisi kolom tersebut, maka dapat dipasang tulangan transversal setidaknya sejumlah ½ dari kebutuhan di daerah sendi plastis kolom. Tulangan transversal ini dipasang di daerah HBK pada setinggi balok terendah yang merangka ke HBK. Pada daerah ini, jarak tulangan transversal boleh diperbesar menjadi 150 mm.
3. Pada HBK dengan lebar balok lebih besar daripada lebar kolom, tulangan transversal seperti pada daerah sendi plastis kolom harus disediakan untuk memberikan kekekangan terhadap tulangan longitudinal balok yang terletak diluar inti kolom.

Syarat Kuat Geser

Kuat geser nominal HBK untuk beton normal diambil tidak melebihi:

1. Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada semua empat muka
 $1,7 \sqrt{f'c'} A_j$
2. Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga muka atau pada dua muka yang berlawanan
 $1,2 \sqrt{f'c'} A_j$
3. Untuk kasus-kasus lainnya.
 $1,0 \sqrt{f'c'} A_j$

Syarat Panjang Penyaluran Tulangan

Panjang penyaluran tulangan l_{dh} untuk tulangan tarik berdiameter 10 – 36 mm, yang memiliki kait standar 90°, diambil dari nilai terbesar antara:

- a) $8d_b$
- b) 150 mm, atau
- c) $F_y d_b / (5.4 \sqrt{f'c'})$

Untuk tanpa kait, l_{d} tidak boleh diambil lebih kecil daripada:

- a) $2,5l_{dh}$, jika tebal pengecoran beton dibawah tulangan tersebut kurang dari 300 mm.
- b) $3,25l_{dh}$, jika tebal pengecoran beton dibawah tulangan tersebut lebih dari 300 mm.

Satuan Ruang Parkir (SRP)

Satuan Ruang Parkir (SRP) adalah ukuran luas efektif untuk meletakkan kendaraan, yang juga memperhitungkan ruang bebas untuk bukaan pintu juga jarak antar kendaraan. Kebutuhan jumlah satuan parkir ditentukan oleh penggunaan gedung parkir tersebut dan dalam perencanaan ini kebutuhan jumlah SRP dianggap sudah memenuhi dan menyesuaikan dengan struktur dari gedung parkir yang direncanakan. Satuan Ruang Parkir ditentukan berdasarkan dimensi kendaraan dan dalam perencanaan gedung parkir ini, dibatasi untuk gedung parkir hanya untuk memarkir kendaraan mobil penumpang golongan I, II, dan III.

Tabel 1: Lebar Bukaan Pintu Kendaraan

Jenis Bukaan Pintu	Penggunaan dan/atau Peruntukan Fasilitas Parkir	Gol.
Pintu depan/belakang terbuka tahap awal 55 cm	<ul style="list-style-type: none"> • Karyawan/pekerja kantor • Tamu/pengunjung pusat kegiatan perkantoran, perdagangan, pemerintahan, universitas 	I
Pintu depan/belakang terbuka penuh 75 cm	<ul style="list-style-type: none"> • Pengunjung tempat olahrag, pusat hiburan/rekreasi, hotel, pusat perdagangan eceran/swalayan, rumah sakit, bioskop 	II
Pintu depan terbuka penuh dan ditambah untuk pergerakan kursi roda	Orang cacat	III

Tabel 2: Penentuan Satuan Ruang Parkir

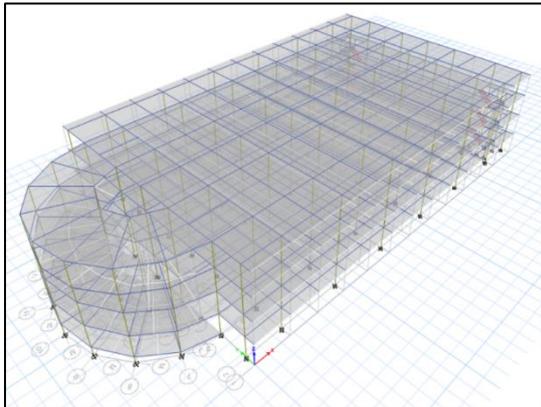
Jenis Kendaraan	Satuan Ruang Parkir (m ²)
Mobil penumpang untuk Golongan I	2.3 x 5
Mobil penumpang untuk Golongan II	2.5 x 5
Mobil penumpang untuk Golongan III	3 x 5
Bus/truk	3.4 x 12.5
Sepeda motor	0.75 x 2

KRITERIA PERENCANAAN

Objek Perencanaan

Objek perencanaan dari tugas akhir ini adalah tentang merencanakan sebuah gedung parkir setinggi 4 lantai melalui sebuah pemodelan struktur. Gedung parkir yang akan direncanakan terlebih dahulu dimodelkan dengan menggunakan aplikasi ETABS dengan geometrik gedung parkir mengacu pada Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat.

Gedung Parkir memiliki ukuran 62,01 m x 32,26 m dengan tinggi 12,8 m. Jarak antar lantai 3,2 m. Ramp yang didesain berdasarkan Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat dengan lebar ramp 6,5 m (2 arah). Per lantai mampu menampung 60 kendaraan tipe mobil penumpang golongan II. Gedung parkir yang direncanakan diasumsikan sudah memenuhi kebutuhan jumlah satuan ruang parkir.



Gambar 2: Pemodelan Struktur 3D

Lokasi Perencanaan

Lokasi perencanaan untuk model gedung parkir yang menjadi objek perencanaan adalah di kota Manado.

Data Model Struktur

1. Ukuran bangunan : 62,01 x 32,26 m
2. Tinggi bangunan : 12,8 m
3. Jarak antar lantai : 3,2 m
4. Jumlah lantai : 4 lantai
5. Struktur bangunan : Beton Bertulang
6. Fungsi bangunan : Gedung Parkir Mobil

Data Geometrik Fasilitas Parkir

1. Tipe Gedung Parkir : External Ram
2. Jenis Ramp : Lingkaran Helikal (2 arah)
3. Jenis Kendaraan : Mobil Golongan II (2,50 x 5,00 m)
4. Daya Tampung : 60 per lantai

Dalam perencanaan gedung parkir yang dimodelkan, jumlah kebutuhan parkir dianggap telah memenuhi kebutuhan.

Data Material

Untuk mutu material yang digunakan menyesuaikan dengan ketersediaan mutu material yang berada di pasaran Kota Manado.

1. Mutu Beton : K350 ($f^c = 31.2 \text{ MPa}$)
2. Mutu Baja:
 - BjTS 280 ($f_y = 280 \text{ Mpa}$), untuk tulangan memanjang
 - BjTP 280 ($f_y = 280 \text{ Mpa}$), untuk tulangan sengkang

Data Tanah

Data tanah diperoleh dengan uji sondir pada lima titik, dengan hasil:

- Lapisan tanah keras (q_c) $\geq 150 \text{ kg/cm}^2$ pada titik S1, S2, S3 berada pada kedalaman rata-rata 3,46 m sedangkan pada titik S4, S5 berada pada kedalaman rata-rata 5,3 m,
- Muka air tanah berada pada kedalaman $\pm 5 \text{ m}$,
- Jenis tanah adalah sands, silt mixtures dan sand mixtures.

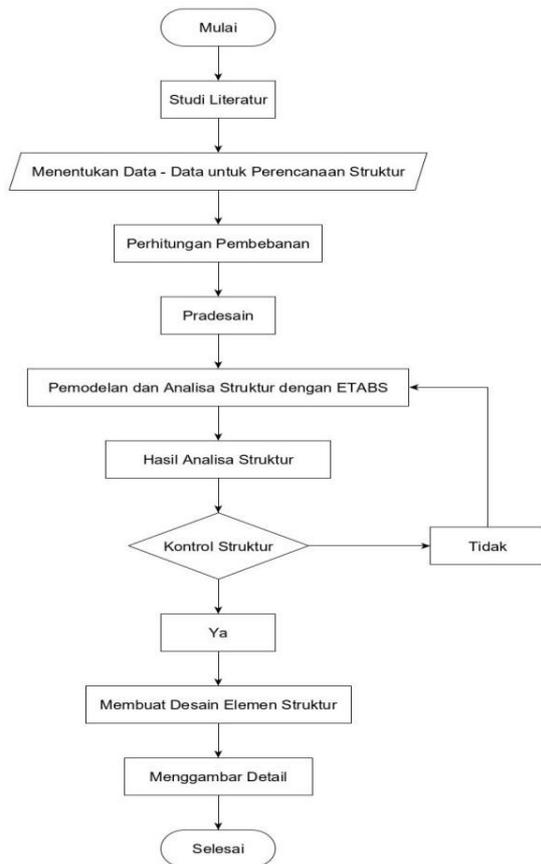
Metode Analisis Data

Metode yang digunakan untuk menganalisis struktur, adalah pertama menentukan kombinasi pembebanan yang bekerja pada struktur dan menganalisa beban gempa yang bekerja pada struktur. Selanjutnya menentukan material dan dimensi dari elemen stuktur seperti balok, kolom dan pelat. Tahap terakhir adalah melakukan Run pada program untuk melakukan analisis data. Hasil output yang dikeluarkan digunakan sebagai data untuk perencanaan tulangan elemen struktur secara manual.

Analisis data untuk beban gempa statik ekuivalen sesuai ASCE 7-10 yaitu dengan meninjau beban-beban gempa statik ekuivalen, sehubungan dengan sifat struktur gedung beraturan yang praktis berperilaku sebagai struktur 3 dimensi, sehingga respons dinamiknyanya praktis hanya ditentukan oleh respons ragamnya yang pertama dan dapat ditampilkan sebagai akibat dari beban gempa statik ekuivalen.

Output dari ETABS dengan kombinasi beban yang digunakan hanya untuk mencari analisis mekaniknya saja. Nilai momen terbesar pada elemen struktur tertentu yang sama dimensinya, sedangkan elemen lain dengan momen yang lebih kecil dianggap telah terwakili. Untuk desain tulangan dikerjakan dengan cara perhitungan manual dengan menggunakan bantuan Microsoft Excel. Desain elemen struktur mengacu pada persyaratan elemen struktur SRPMK (SNI 2847:2013).

Bagan Alur Perencanaan



Gambar 3: Diagram Alur Perencanaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pradesain Elemen Struktur

- Dimensi awal balok diperoleh:
 - Balok Utama : 600 mm x 300 mm
 - Balok Anak 1 : 500 mm x 250 mm
 - Balok Anak 2 : 400 mm x 200 mm
- Dimensi awal kolom diperoleh:
 - Kolom Persegi : 600 mm x 600 mm
 - Kolom Bulat : Diameter 600 mm
- Dimensi awal pelat diperoleh 150 mm

Perhitungan Pembebanan

Perhitungan Beban Mati

Beban mati yang berasal dari berat sendiri elemen struktur yaitu balok, pelat dan kolom yang juga dipengaruhi oleh material pembentuk elemen tersebut.

Beban mati yang digunakan pada perhitungan:

- Beton Bertulang : 2400 kg/m³
- Beban Tambahan : 120 kg/m²

Perhitungan Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang bekerja pada satuan luas berdasarkan fungsi bangunan. Beban hidup yang digunakan mengacu pada SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Adapun beban hidup yang digunakan adalah:

- Beban Mobil Penumpang = 192 kg/m² (distribusi beban secara merata)
Untuk beban hidup mobil penumpang tidak diizinkan untuk direduksi sesuai dengan peraturan SNI 1727:2013
- Beban Rooftop = 96 kg/m² (distribusi beban secara merata)
- Beban Tangga = 133 kg (distribusi beban secara terpusat)

Perhitungan Beban Gempa

Perhitungan beban gempa mengacu pada SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung dengan langkah sebagai berikut:

- Menentukan Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Struktur Bangunan
- Bangunan digunakan sebagai Gedung Parkir sehingga berdasarkan Tabel 2.1, bangunan termasuk pada kategori resiko III. Faktor keutamaan struktur (I_e) untuk struktur dengan kategori resiko III adalah sebesar 1.25.
- Kelas Situs berdasarkan lapisan tanah tempat direncanakan pembangunan Gedung, diklasifikasikan sebagai SD (Tanah Sedang) berdasarkan Tabel 2.3.
- Kategori Desain Seismik (KDS) untuk perhitungan beban gempa berdasarkan parameter yang telah dihitung dan diketahui adalah "D".
- Menentukan Parameter Percepatan Gempa
- Berdasarkan SNI 1726 : 2012, nilai S_s dan S_1 untuk kota Manado adalah:
 - $S_s = 1.036$
 - $S_1 = 0.442$

7. Untuk analisis perhitungan gempa, menggunakan bantuan aplikasi ETABS dengan menggunakan Metode Static Ekuivalen.

Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu:

- 1.4DL
- 1.2DL + 1.6LL
- 1.2DL + 1.0LL + 1.0EQX + 0.3EQY
- 1.2DL + 1.0LL + 1.0EQY + 0.3EQX
- 0,9DL + 1,0EQX
- 0,9DL + 1,0EQY

Kontrol Periode Fundamental Struktur (T)

1. Periode Fundamental Struktur arah-X:

- Berdasarkan hasil analisis dari Etabs, didapat $T_c = 0.64$ detik pada Mode 1
- $T_a = 0.0466 \times (\text{Tinggi Gedung})^{0.9} = 0.0466 \times (12.8)^{0.9} = 0.462$ detik
- Kontrol:
 - $T_c = 0.64$
 - $T_a = 0.462$
- $C_U \cdot T_a = 0.647$

Maka, $T_a < T_c < C_U \cdot T_a$ sehingga nilai T yang digunakan adalah T_c .

2. Periode Fundamental Struktur arah-Y:

- Berdasarkan hasil analisis dari Etabs, didapat $T_c = 0.601$ detik pada Mode 2
- $T_a = 0.0466 \times (\text{Tinggi Gedung})^{0.9} = 0.0466 \times (12.8)^{0.9} = 0.462$ detik
- Kontrol:
 - $T_c = 0.601$
 - $T_a = 0.462$
- $C_U \cdot T_a = 0.647$

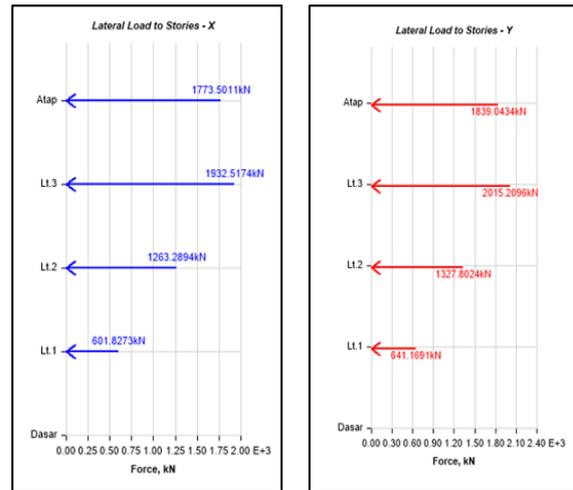
Maka, $T_a < T_c < C_U \cdot T_a$ sehingga nilai T yang digunakan adalah T_c .

Base Shear

Berdasarkan hasil analisis Base Shear gempa yang menggunakan Metode Statik Ekuivalen menggunakan bantuan software ETABS, diperoleh berat struktur $(W) = 62131.98$ kN

Tabel 3: Base Shear Gempa

Arah	Base Shear (Metode Statik Ekuivalen, kN)
X	5571.135
Y	5823.224



Gambar 4: Distribusi Gaya Lateral Gedung

Kontrol Simpangan

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.12.1, Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin ($\Delta\alpha$) = $0.020h_{sx}$.

Tabel 4: Kontrol Simpangan

ΔX						
Story	hi (mm)	Drift Δm antar tingkat (mm)	Cd	Drift Δm antar tingkat (mm)	Syarat Drift $\Delta\alpha$ (mm)	Kontrol
Atap	3200	0.372	5.5	2.046	64	OK
Lt.3	3200	0.793	5.5	4.361	64	OK
Lt.2	3200	0.826	5.5	4.543	64	OK
Lt.1	3200	0.328	5.5	1.804	64	OK
ΔY						
Story	hi (mm)	Drift Δm antar tingkat (mm)	Cd	Drift Δm antar tingkat (mm)	Syarat Drift $\Delta\alpha$ (mm)	Kontrol
Atap	3200	3.044	5.5	16.742	64	OK
Lt.3	3200	4.185	5.5	23.017	64	OK
Lt.2	3200	4.632	5.5	25.476	64	OK
Lt.1	3200	2.854	5.5	15.697	64	OK

Simpangan antar lantai (Δ) terbesar terjadi pada Lt.2 di arah Y dengan kombinasi pembebanan $1.2D+L+EQX+0.3EQY$ (hasil analisis dengan bantuan ETABS) yang sudah dikali dengan Faktor Pembesaran Defleksi (Cd) yaitu 25.476 mm, namun masih dalam keadaan aman karena tidak melebihi batas izin, yaitu 64 mm.

Kontrol Displacement

Untuk displacement, simpangan struktur (Δ) tidak boleh melebihi $L/240$ dimana L adalah tinggi total struktur. Hasil simpangan berdasarkan analisis program ETABS adalah sebagai berikut.

Tabel 5: Kontrol Displacement

ΔX				
Lantai	Elevasi Struktur (L) (mm)	Displacement δ (mm)	Syarat Displacement L/240 (mm)	Kontrol
Atap	12800	2.387	53.333	Ok
ΔY				
Lantai	Elevasi Struktur (L) (mm)	Displacement δ (mm)	Syarat Displacement L/240 (mm)	Kontrol
Atap	12800	14.716	53.333	Ok

Perencanaan Tulangan Balok

Tulangan Longitudinal (Tulangan Lentur)

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan tulangan lentur yang diperlukan, maka diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 6. Rekapitulasi Penulangan Lentur Balok

St.	Kode Balok	Dimensi (h x b)	Daerah	
			Tump.	Lap.
Atap	BU1	600 x 300	6D22	4D22
			6D22	4D22
	BU2	500 x 250	4D16	4D16
			4D16	4D16
	BU3	400 x 250	3D16	3D16
			3D16	3D16
	BR1	600 x 300	5D16	5D16
			5D16	5D16
	BR2	600 x 300	5D16	5D16
			5D16	5D16
	BR3	600 x 300	5D16	5D16
			5D16	5D16
BR4	600 x 300	5D16	5D16	
		5D16	5D16	
Lt.3	BU1	600 x 300	8D22	4D22
			6D22	4D22
	BU2	500 x 250	4D16	4D16
			4D16	4D16
	BU3	400 x 250	2D16	2D16
			2D16	2D16
	BR1	600 x 300	2D16	2D16
			2D16	2D16
	BR1 DIAG.	600 x 300	5D16	5D16
			5D16	5D16
	BR2	600 x 300	5D16	5D16
			5D16	5D16
BR2 DIAG.	600 x 300	5D16	5D16	
		5D16	5D16	
BR3	600 x 300	6D16	6D16	
		6D16	6D16	
BR4	600 x 300	5D16	5D16	
		5D16	5D16	
BB	400 x 250	6D16	3D16	
		6D16	3D16	
Lt.2	BU1	600 x 300	8D22	4D22
			6D22	4D22
BU2	500 x 250	4D16	4D16	
		4D16	4D16	

Lt.1	BU3	400 x 200	3D16	3D16
			3D16	3D16
	BR1 DIAG.	600 x 300	5D16	5D16
			5D16	5D16
	BR2 DIAG.	600 x 300	5D16	5D16
			5D16	5D16
	BR3	600 x 300	6D16	6D16
			6D16	6D16
	BR4	600 x 300	5D16	5D16
			5D16	5D16
	BB	400 x 250	6D16	3D16
			6D16	3D16
Lt.1	BU1	600 x 300	8D22	4D22
			6D22	4D22
	BU2	500 x 250	4D16	4D16
			4D16	4D16
	BU3	400 x 200	3D16	3D16
			3D16	3D16
	BR1 DIAG.	600 x 300	5D16	5D16
			5D16	5D16
	BR2 DIAG.	600 x 300	5D16	5D16
			5D16	5D16
	BR3	600 x 300	6D16	6D16
			6D16	6D16
BR4	600 x 300	5D16	5D16	
		5D16	5D16	
BB	400 x 250	6D16	3D16	
		6D16	3D16	

Tulangan Transversal (Tulangan Geser)

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan tulangan geser yang diperlukan, maka diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 7: Rekapitulasi Tulangan Geser Balok

St.	Kode Balok	Daerah	Tulangan Pakai
Atap	BU1	Tumpuan	φ 14 - 100 mm
		Lapangan	φ 14 - 200 mm
	BU2	Tumpuan	φ 10 - 90 mm
		Lapangan	φ 10 - 180 mm
	BU3	Tumpuan	φ 10 - 80 mm
		Lapangan	φ 10 - 160 mm
Atap	BR1	Tumpuan	φ 10 - 90 mm
		Lapangan	φ 10 - 180 mm
	BR2	Tumpuan	φ 10 - 90 mm
		Lapangan	φ 10 - 180 mm
	BR3	Tumpuan	φ 10 - 90 mm
		Lapangan	φ 10 - 180 mm
BR4	Tumpuan	φ 10 - 90 mm	
	Lapangan	φ 10 - 180 mm	
Lt.3	BU1	Tumpuan	φ 14 - 100 mm
		Lapangan	φ 14 - 200 mm
	BU2	Tumpuan	φ 10 - 90 mm
		Lapangan	φ 10 - 180 mm
	BU3	Tumpuan	φ 10 - 80 mm
		Lapangan	φ 10 - 160 mm
	BR1	Tumpuan	φ 10 - 90 mm
		Lapangan	φ 10 - 180 mm
	BR1 DIAG.	Tumpuan	φ 10 - 90 mm
		Lapangan	φ 10 - 180 mm
	BR2	Tumpuan	φ 10 - 90 mm
		Lapangan	φ 10 - 180 mm
BR2	Tumpuan	φ 10 - 90 mm	

	DIAG.	Lapangan	ϕ 10 - 180 mm
	BR3	Tumpuan	ϕ 10 - 90 mm
		Lapangan	ϕ 10 - 180 mm
	BR4	Tumpuan	ϕ 10 - 90 mm
Lapangan		ϕ 10 - 180 mm	
BB	Tumpuan	ϕ 10 - 80 mm	
	Lapangan	ϕ 10 - 160 mm	
Lt.2	BU1	Tumpuan	ϕ 14 - 100 mm
		Lapangan	ϕ 14 - 200 mm
	BU2	Tumpuan	ϕ 10 - 90 mm
		Lapangan	ϕ 10 - 180 mm
	BU3	Tumpuan	ϕ 10 - 80 mm
		Lapangan	ϕ 10 - 160 mm
	BR1	Tumpuan	ϕ 10 - 90 mm
		DIAG.	Lapangan
	BR2	Tumpuan	ϕ 10 - 90 mm
		DIAG.	Lapangan
	BR3	Tumpuan	ϕ 10 - 90 mm
		Lapangan	ϕ 10 - 180 mm
	BR4	Tumpuan	ϕ 10 - 90 mm
		Lapangan	ϕ 10 - 180 mm
BB	Tumpuan	ϕ 10 - 80 mm	
	Lapangan	ϕ 10 - 160 mm	
Lt.1	BU1	Tumpuan	ϕ 14 - 100 mm
		Lapangan	ϕ 14 - 200 mm
	BU2	Tumpuan	ϕ 10 - 90 mm
		Lapangan	ϕ 10 - 180 mm
	BU3	Tumpuan	ϕ 10 - 80 mm
		Lapangan	ϕ 10 - 160 mm
	BR1	Tumpuan	ϕ 10 - 90 mm
		DIAG.	Lapangan
	BR2	Tumpuan	ϕ 10 - 90 mm
		DIAG.	Lapangan
	BR3	Tumpuan	ϕ 10 - 90 mm
		Lapangan	ϕ 10 - 180 mm
	BR4	Tumpuan	ϕ 10 - 90 mm
		Lapangan	ϕ 10 - 180 mm
BB	Tumpuan	ϕ 10 - 80 mm	
	Lapangan	ϕ 10 - 160 mm	

- Tulangan geser dipakai ϕ 10 – 100 mm pada daerah tumpuan (l_0) dengan tipe sengkang persegi.
- Tulangan geser dipakai ϕ 10 – 150 mm pada daerah lapangan (diluar daerah l_0) dengan tipe sengkang persegi.
- Tulangan geser untuk l_0 dipasang sepanjang 650 mm atau $1/4l_n$ dari muka hubungan balok-kolom.

Kolom Bulat

- Dimensi kolom yang digunakan adalah diameter 600 mm dengan menggunakan tulangan 14D22.
- Tulangan geser dipakai ϕ 10 – 50 mm dengan tipe sengkang spiral.

Perencanaan Tulangan Pelat

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan tulangan yang diperlukan, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 8: Rekapitulasi Tulangan Pelat Gedung Parkir Arah-X

St.	No. Pelat	Dimensi (m)	Tul. Pakai (mm)
Atap	F118	4.15 x 6.5	D22 – 100
Lt.3	F271	2.7 x 6.5	D22 – 100
Lt.2	F271	2.7 x 6.5	D22 – 100
Lt.1	F271	2.7 x 6.5	D22 – 100

Tulangan Torsi (Tulangan Badan)

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan tulangan geser yang diperlukan, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

- Diameter tulangan torsi yang dipakai adalah 12 mm. Dipasang 1 buah tulangan di masing-masing sisi semua balok dalam variasi dimensi yang berbeda.
- Spasi tulangan badan maksimum untuk balok dimensi 600 mm x 300 mm adalah 179 mm
- Spasi tulangan badan maksimum untuk balok dimensi 500 mm x 250 mm adalah 141.5 mm
- Spasi tulangan badan maksimum untuk balok dimensi 400 mm x 250 mm adalah 116.5 mm

Perencanaan Tulangan Kolom

Kolom Persegi

- Dimensi kolom yang digunakan adalah 600 mm x 600 mm dengan menggunakan tulangan 20D22.

Tabel 9: Rekapitulasi Tulangan Pelat Gedung Parkir Arah-Y

St.	No. Pelat	Dimensi (m)	Tul. Pakai (mm)
Atap	F118	4.15 x 6.5	D22 – 100
Lt.3	F271	2.7 x 6.5	D22 – 100
Lt.2	F271	2.7 x 6.5	D22 – 100
Lt.1	F271	2.7 x 6.5	D22 – 100

Tabel 10: Rekapitulasi Tulangan Pelat Tangga, Bordes dan Ramp

Pelat	Daerah	Tul. Pakai (mm)	Tul. Bagi (mm)
Tangga	Tump.	D10 – 200	D10 – 200
	Lap.	D10 – 200	D10 – 200
Bordes	Tump.	D10 – 200	D10 – 200
	Lap.	D10 – 200	D10 – 200
Ramp	Tump.	D16 – 200	D10 – 200
	Lap.	D16 – 200	D10 – 200

Perencanaan Pondasi

Dalam perencanaan ini dipakai pondasi bored pile dan ditinjau dari 4 titik yaitu: tengah, tepi, sudut dan ramp.

Tabel 11: Kebutuhan Tulangan Pondasi Bored Pile

Titik	Uk. Pondasi Sumuran		Tul. Pondasi Sumuran	
	D (m)	H (m)	Tul. Utama	Tul. Geser
Tepi	0.6	5.4	12D13	φ10-50 mm
Tengah	0.6	5.4	12D13	φ10-50 mm
Sudut	0.6	5.4	12D13	φ10-50 mm
Ramp	0.6	5.4	12D13	φ10-50 mm

Tabel 12: Kebutuhan Tulangan Pile Cap

Titik	Ukuran Pile Cap			Tul. Pile Cap	
	B (m)	H (m)	Tebal (m)	Tul. Atas	Tul. Bawah
Tepi	1.6	1.6	1	8D16-186 mm	14D16-92.769 mm
Tengah	1.6	1.6	1	8D16-186 mm	14D16-92.769 mm
Sudut	1.6	1.6	1	8D16-186 mm	14D16-92.769 mm
Ramp	1.6	1.6	1	8D16-186 mm	14D16-92.769 mm

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan struktur, maka penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Dimensi balok yang digunakan adalah:

- Balok 600 x 300 (dalam mm), digunakan sebagai balok utama gedung parkir, balok pada ramp dan balok sloof.
- Balok 500 x 250 (dalam mm), digunakan sebagai balok anak dan balok penahan pelat bordes tangga.
- Balok 400 x 250 (dalam mm), digunakan sebagai balok anak.

2. Dimensi kolom yang digunakan adalah:

- Kolom persegi 600 x 600 (dalam mm), digunakan sebagai kolom gedung parkir.
- Kolom bulat diameter 600 mm, digunakan sebagai kolom ramp.

3. Dimensi pelat yang digunakan adalah:

- Pelat 150 mm, digunakan sebagai pelat lantai gedung parkir.
- Pelat 120 mm, digunakan sebagai pelat ramp, tangga dan bordes.

4. Diameter pondasi tiang bor yang digunakan adalah 60 cm dengan ukuran pile cap, 1200 mm x 1200 mm x 800 mm.

5. Ukuran elemen struktur yang direncanakan bisa dikatakan sudah efisien, hal ini ditandai dengan nilai periode fundamental yang dihitung menggunakan ETABS diperoleh 0.64 detik pada mode 1 (arah x) dan 0.601 detik pada mode 2 (arah y) tidak melewati batas bawah, $T_a = 0.462$ detik dan batas atas, $T_a = 0.647$ detik. Apabila dimensi komponen struktur diperkecil lebih dari ini, maka nilai periode fundamental akan semakin membesar dan kemampuan struktur untuk bertahan saat gempa akan sangat berkurang sedangkan apabila dimensi komponen struktur diperbesar maka struktur akan menjadi lebih kaku tetapi tidak menjadi efisien serta boros.

6. Penggunaan standar ASCE 7-10 dalam Software ETABS untuk analisis struktur dan penentuan kebutuhan jumlah tulangan untuk balok memberikan perbedaan sebesar 8 – 9 % dengan perhitungan manual dengan standar SNI. Berarti, hasil perhitungan manual dengan SNI memberikan jumlah tulangan lebih 1 buah dari hasil perhitungan ETABS dengan standar ASCE 7-10.

7. Kolom yang berada di wilayah joint antara struktur gedung parkir utama dan ramp memiliki gaya geser yang besar, hal tersebut diakibatkan dari adanya pemendekan tinggi kolom dikarenakan terdapat joint antara kolom dengan balok pada sumbu horisontal dan balok pada sumbu diagonal. Untuk balok dengan sumbu diagonal merupakan balok untuk menopang pelat dari ramp tempat mobil bergerak.

8. Komponen struktur yang direncanakan telah memenuhi syarat “Strong Column Weak Beam” dalam SRPMK yaitu hubungan balok kolom (joint) telah memenuhi kondisi $\Sigma M_{nc} \geq 1.2 \Sigma M_{nb}$ yang menandakan bahwa kuat lentur nominal kolom lebih besar dari kuat lentur nominal balok.

9. Komponen struktur yang direncanakan mampu untuk menahan gaya yang bekerja pada struktur dengan terpenuhinya syarat desain kekuatan dimana kapasitas momen nominal (M_n) lebih besar dari gaya yang bekerja pada komponen struktur (M_u).

10. Komponen struktur yang direncanakan mampu untuk menahan gaya yang bekerja pada struktur dengan terpenuhinya syarat desain kekuatan dimana kapasitas geser nominal (V_n) lebih besar dari gaya yang bekerja pada komponen struktur (V_u).

11. Pondasi yang direncanakan mampu untuk menahan gaya yang diberikan oleh struktur

atas dengan terpenuhinya syarat, $Q_{all} > P$ yang menandakan bahwa daya dukung dari pondasi yang direncanakan mampu menahan gaya aksial yang diberikan oleh struktur atasnya.

Saran

1. Diperlukan pemilihan sistem struktur yang tepat untuk dapat merencanakan sebuah struktur yang tahan akan gempa. Pemilihan sistem struktur yang tepat sesuai dengan kondisi dilapangan sangat mempengaruhi perilaku struktur terhadap gempa dengan efisien.
2. Dalam proses pemasangan tulangan dalam komponen struktur, tidak dianjurkan pemasangan sambungan baja pada area joint, dikarenakan gaya-gaya yang terjadi pada daerah joint cukup besar sehingga dapat memungkinkan sambungan terlepas pada saat gempa.
3. Perlu dilakukan studi lanjutan terhadap variasi penggunaan kolom persegi dengan sengkang persegi dan kolom bulat dengan sengkang spiral sebagai komponen struktur vertikal penyangga struktur ramp.
4. Perlu dilakukan studi lanjutan terhadap dampak pemendekan tinggi kolom akibat balok pada sumbu horisontal dan balok pada sumbu diagonal terhadap gaya-gaya dalam yang bekerja pada kolom tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726:2012. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727:2013. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, SNI 2847:2013. Jakarta.
- Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat. 1996. Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir. Jakarta.
- Direktorat Bina Sistem Lalu Lintas Angkutan Kota Direktorat Jenderal Perhubungan Darat. 1998. Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir. Jakarta.
- Setiawan, Agus., 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Erlangga, Jakarta.
- Kariso, Patrisko Hirel., Dapas, Servie O., Pandaleke, R., 2018. *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus*. Jurnal Sipil Statik, Vol.6, No.6 (361-372), Juni 2018, Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Honarto, Ricky Januar., Handono, B. D., Pandaleke, R., 2019. *Perencanaan Bangunan Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Kota Manado*. Jurnal Sipil Statik, Vol.7, No.2 (201-208), Februari 2019 Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Laily, Rivaldo., Sumajouw, M. D. J., Wallah, Steenie E., 2019. *Perencanaan Gedung Training Center Konstruksi Beton Bertulang 4 Lantai di Kota Manado*. Jurnal Sipil Statik, Vol.7, No.8 (1095-1106), Agustus 2019 Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Boyoh, Ezra Ronaldo., Windah, Reky S., Dapas, Servie O., 2019. *Perencanaan Gedung Training Center Konstruksi Beton Bertulang 4 Lantai di Kota Manado*. Jurnal Sipil Statik, Vol.7, No.8 (913-922), Agustus 2019 Universitas Sam Ratulangi. Manado.