

SKRIPSI

**REVIEW DESAIN RUMAH SAKIT KHUSUS OTAK DAN
JANTUNG ROYAL BIRINGKANAYA MAKASSAR**

Disusun dan diajukan oleh:

**MUSDALIFA
D011 19 1003**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

REVIEW DESAIN RUMAH SAKIT KHUSUS OTAK DAN JANTUNG ROYAL BIRINGKANAYA MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh

Musdalifa
D011 19 1003

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 26 September 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, M.T
NIP 197206192000122001

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, ST, M.Eng
NIP 197011081994121001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST
NIP 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Musdalifa
NIM : D011191003
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Review Desain Rumah Sakit Khusus Otak Dan Jantung Royal Biringkanaya
Makassar}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 26 September 2023

Yang Menyatakan


MUSDALIFA
Musdalifa

ABSTRAK

MUSDALIFA. *Review Desain Rumah Sakit Khusus Otak Dan Jantung Royal Biringkanaya Makassar* (dibimbing oleh Prof. Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T. dan Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng.)

Rumah Sakit Khusus Otak dan Jantung (RSKOJ) Royal Biringkanaya merupakan rumah sakit kekhususan otak dan jantung yang dilengkapi dengan berbagai fasilitas yang memadai. Rumah sakit memiliki faktor keamanan tinggi sehingga rumah sakit harus dirancang dan dibangun dengan keselamatan struktural yang mampu menahan gaya gempa untuk menjamin keamanan, keutuhan dan keselamatan penghuni bangunan. Perencanaan gedung RSKOJ Royal Biringkanaya Makassar ini dibuat sebelum diluncurkannya SNI terbaru di tahun 2019. Untuk itu perlu dilakukan *review* elemen-elemen struktur pada gedung RSKOJ Royal Biringkanaya berdasarkan standar perencanaan terbaru yaitu SNI 2847:2019 tentang perencanaan gedung beton bertulang dan SNI 1726:2019 tentang perencanaan gedung aman gempa. RSKOJ Royal Biringkanaya terdiri dari enam lantai bangunan utama dan didesain menggunakan beton bertulang. Analisis struktur gedung dilakukan dengan memperhitungkan beban mati, beban hidup dan beban gempa. Gedung rumah sakit ini termasuk dalam kategori desain seismik D dengan sistem struktur panahan gaya seismik yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Analisis desain dilakukan dengan bantuan software ETABS v19.1.0. Dari analisis ragam fundamental struktur gedung didapatkan partisipasi massa yang telah melampaui 90% dengan pola gerak ragam mode awal (mode pertama dan mode kedua) dominan translasi dan mode ketiga dominan rotasi. Simpangan antar tingkat dan kestabilan struktur akibat gempa diketahui berada pada kondisi aman dimana nilai keduanya tidak melampaui batasan yang ditetapkan pada SNI 1726:2019. Dari pengecekan struktur pada software ETABS, kolom dimensi 400×400 mm gagal dalam memikul beban sehingga dilakukan pembesaran dimensi menjadi 500×500 mm. Dari hasil desain tulangan yang dilakukan sesuai dengan SNI 2847:2019 terdapat perbedaan pendetailan tulangan dengan hasil perencana dimana kebutuhan tulangan pelat dan kolom lebih besar dari hasil perencana namun kebutuhan tulangan balok hasil *review* lebih kecil dari hasil perencana terdahulu.

Kata Kunci: ETABS, Elemen Struktur, Rumah Sakit, SNI, Review Desain

ABSTRACT

MUSDALIFA. *Design Review of The Royal Biringkanaya Brain and Heart Special Hospital Makassar* (supervised by Prof. Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T. and Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng.)

The Brain and Heart Special Hospital (RSKOJ) Royal Biringkanaya is a brain and heart specialty hospital equipped with adequate facilities. Hospitals have a high safety factor so that hospitals should be designed and built with structural safety that is able to withstand earthquake forces to ensure the security, integrity and safety of building occupants. The design for the RSKOJ Royal Biringkanaya Makassar building was completed before the launch of the latest SNI in 2019. For this reason, it is necessary to review the structural elements of the RSKOJ Royal Biringkanaya building based on the latest design standards, namely SNI 2847:2019 concerning design for reinforced concrete buildings and SNI 1726:2019 concerning design for earthquake resistance buildings. RSKOJ Royal Biringkanaya consists of six stories of the main building and is designed using reinforced concrete. Analysis of the building structure is carried out by taking into account the dead load, live load and earthquake load. This hospital building is included in the seismic design category D with structural system used is used is the Special Moment Resisting Frame (SMRF). Design analysis was carried out using ETABS v19.1.0 software. From the fundamental analysis of the building structure, it was found that mass participation has exceeded 90% with the initial mode (first mode and second mode) being dominant in translation and the third mode being dominant in rotation. The deviation between stories and the stability of the structure due to the earthquake is known to be in a safe condition where both values do not exceed the limits set in SNI 1726:2019. From checking the structure on the ETABS software, the 400×400 mm dimension column failed to carry the load so that the dimensions were enlarged to 500×500 mm. From the results of the reinforcement design carried out in accordance with SNI 2847:2019 there is a difference in the detail of the reinforcement with the planner's results where the plate and column reinforcement requirements are greater than the planner's results but the beam reinforcement requirements reviewed are smaller than the results of the previous planner.

Keywords: ETABS, Structural Elements, Hospitals, SNI, Design Review

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
KATA PENGANTAR	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pembebanan Struktur	4
2.1.1 Beban Mati	4
2.1.2 Beban Hidup	4
2.1.3 Beban Air Hujan	4
2.1.4 Beban Gempa	4
2.2 Perencanaan Struktur Tahan Gempa	5
2.2.1 Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa	5
2.2.2 Parameter Percepatan Spektral Desain	7
2.2.3 Kategori Desain Seismik	8
2.2.4 Sistem Struktur	9
2.2.5 Periode Fundamental	10
2.2.6 Gaya Dasar Seismik	11
2.2.7 Distribusi Gaya Seismik	12
2.2.8 Simpangan Antar Lantai	12
2.2.9 Pengaruh P-delta	13
2.3 Kombinasi Pembebanan	14
2.4 Perencanaan Elemen Struktur	14
2.4.1 Pelat	14
2.4.2 Balok	15
2.4.3 Kolom	18
BAB 3 METODE PERANCANGAN	20
3.1 Gambaran Umum	20
3.2 Gambar Struktur Gedung	20
3.3 Standart dan Rujukan yang Digunakan	23
3.4 Metode Desain Struktur	24
3.5 Spesifikasi Material	25
3.6 Beban-Beban yang Bekerja	25
3.6.1 Beban Mati	25

3.6.1 Beban Hidup	26
3.6.3 Beban Air Hujan	26
3.6.4 Beban Gempa	27
3.7 Pendefinisian Penampang Retak Beton.....	34
3.8 Pemodelan Struktur	36
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Run Analisis Awal	41
4.2 Analisis Mode Ragam	41
4.3 Analisis Statik Ekuivalen	42
4.3.1 Penentuan Periode Fundamental.....	43
4.3.2 Gaya Geser Dasar Seismik	45
4.3.3 Kontrol Skala Desain	46
4.3.4 Distribusi Gaya Gempa	47
4.4 Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai	50
4.5 Kontrol Kestabilan Bangunan / Efek P-Delta.....	52
4.6 Design/Check Struktur	54
4.7 Desain Penulangan.....	55
4.7.1 Pelat.....	55
4.7.2 Balok	62
4.7.3 Kolom.....	80
4.8 Perbandingan Perencanaan dan Review.....	90
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	94
5.1 Kesimpulan.....	94
5.2 Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Geser desain untuk balok	17
Gambar 2 Lokasi penelitian	20
Gambar 3 Denah struktur lantai gf	20
Gambar 4 Denah struktur lantai 1	21
Gambar 5 Denah struktur lantai 2	21
Gambar 6 Denah struktur lantai 3	21
Gambar 7 Denah struktur lantai 4	22
Gambar 8 Denah struktur dak atap	22
Gambar 9 Denah struktur atap lift	22
Gambar 10 Potongan struktur As-D	23
Gambar 11 Potongan struktur As-6	23
Gambar 12 Diagram alir	24
Gambar 13 Spektrum respon desain	29
Gambar 14 Parameter desain spektra	29
Gambar 15 <i>Property modifier</i> kolom	35
Gambar 16 <i>Property modifier</i> balok	35
Gambar 17 <i>Property modifier</i> pelat lantai	36
Gambar 18 Input data jumlah lantai dan ketinggian lantai	36
Gambar 19 Input data jarak grid bangunan	37
Gambar 20 Input data properti material	37
Gambar 21 Pendefinisian tumpuan sebagai jepit	38
Gambar 22 Pendefinisian penampang	38
Gambar 23 Pendefinisian beban	39
Gambar 24 Tampak depan	39
Gambar 25 Tampak samping	39
Gambar 26 Tampak perspektif	40
Gambar 27 Periode sumbu X mode pertama	43
Gambar 28 Periode sumbu Y mode kedua	44
Gambar 29 Periode sumbu Z mode ketiga	44
Gambar 30 Grafik gaya geser tingkat untuk statik ekuivalen	49
Gambar 31 <i>Displacement</i> terhadap respon spektrum arah X	50
Gambar 32 <i>Displacement</i> terhadap respon spektrum arah Y	50
Gambar 33 Grafik simpangan antar tingkat	51
Gambar 34 Beban <i>kumulatif gravity</i>	52
Gambar 35 Grafik P-delta gempa	54
Gambar 36 Verifikasi struktur bangunan	54
Gambar 39 Diagram interaksi	84
Gambar 40 <i>Result</i> SPColumn	84

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung Untuk Beban Gempa	6
Tabel 2. Klasifikasi Situs	7
Tabel 3 Koefisien situs F_a	8
Tabel 4 Koefisien situs F_v	8
Tabel 5 Kategori desain seismik berdasarkan S_{DS}	9
Tabel 6 Kategori desain seismik berdasarkan S_{D1}	9
Tabel 7 Sistem struktur panahan gaya seismik	10
Tabel 8 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x	10
Tabel 9 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	11
Tabel 10. Simpangan antar tingkat izin, Δ_a	13
Tabel 11 Beban dinding	26
Tabel 12 Beban hidup	26
Tabel 13 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa	27
Tabel 14 Faktor Keutamaan Gempa	28
Tabel 15 Koefisien situs F_a	30
Tabel 16 Koefisien situs F_v	30
Tabel 17 Kategori desain seismik berdasarkan S_{DS}	31
Tabel 18 Kategori desain seismik berdasarkan S_{D1}	31
Tabel 19 Sistem struktur panahan gaya seismik	31
Tabel 20 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x	32
Tabel 21 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	33
Tabel 22 Nilai S_{D1} dan tipe struktur yang digunakan	33
Tabel 23 Perioda pendekatan masing-masing gedung	33
Tabel 24 Simpangan antar tingkat izin, Δ_a	34
Tabel 25 Momen inersia dan luas penampang yang diizinkan untuk analisis elastis pada level beban terfaktor	35
Tabel 26 <i>Modal direction factors</i>	41
Tabel 27 <i>Modal load participation ratios</i>	42
Tabel 28 Parameter gempa	43
Tabel 29 Hasil periode getar	44
Tabel 30 Berat bangunan	46
Tabel 31 Kontrol skala desain awal	47
Tabel 32 Kontrol skala desain baru	47
Tabel 33 Gaya geser tiap tingkat (<i>story shear</i>)	47
Tabel 34 Nilai eksponen yang terkait dengan perioda struktur	48
Tabel 35 Distribusi arah X	48
Tabel 36 Distribusi arah Y	49
Tabel 37 Simpangan antar tingkat	51
Tabel 38 Cek kestabilan akibat gempa	53
Tabel 39 Nilai momen maksimum pelat hasil analisis ETABS	55
Tabel 40 Rekapitulasi Tulangan Pelat	62
Tabel 41 Rekapitulasi gaya dalam hasil analisis ETABS	62
Tabel 42 Rekapitulasi luas tulangan hasil analisis ETABS	63

Tabel 43 Rekapitulasi tulangan balok.....	79
Tabel 44 Rekapitulasi hasil analisa ETABS	80
Tabel 45 Kombinasi momen dan gaya aksial.....	84
Tabel 46 Rekapitulasi tulangan kolom	89
Tabel 47 Perbandingan pelat	90
Tabel 48 Perbandingan balok	90
Tabel 49 Perbandingan Kolom.....	92

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
a	Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen
a_{pr}	Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen
A_b	Luas setiap tulangan
A_{ch}	Luas penampang komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal
A_{cp}	Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton
A_g	Luas bruto penampang beton
A_l	Luas tulangan longitudinal untuk menahan torsi
A_o	Luas bruto yang dilingkupi oleh lintasan alir geser
A_{oh}	Luas yang dilingkupi oleh garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar
A_s	Luas tulangan tarik longitudinal
A_{sh}	Luas penampang total tulangan transversal (termasuk ikat silang)
A_t	Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi
A_v	Luas tulangan geser
b	Lebar komponen struktur
b_c	Dimensi penampang inti komponen struktur yang diukur ke tepi luar tulangan transversal pada arah sumbu lemah komponen struktur
c_1	Dimensi kolom yang diukur dalam arah bentang dimana momen ditentukan
c_2	Dimensi kolom yang diukur yang diukur dalam arah Tegak lurus terhadap c_1
C_d	Faktor pembesaran simpangan lateral
C_s	Koefisien respons seismik

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
C_u	Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung
C_{vx}	Faktor distribusi vertikal
d	Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal
D	Diameter tulangan deform/sirip
$f'c$	Kekuatan tekan beton
f_y	Kekuatan leleh tulangan
f_{yt}	Kekuatan leleh tulangan torsi
f_{yv}	Kekuatan leleh tulangan transversal
F_a	Koefisien situs untuk periode pendek yaitu pada periode 0,2 detik
F_i	Bagian dari gaya geser dasar, V , pada tingkat- i
F_v	Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik)
F_x	Gaya seismik lateral di level- x
g	Percepatan gravitasi
h	Tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur
h_c	Dimensi penampang inti komponen struktur yang diukur ke tepi luar tulangan transversal pada arah sumbu kuat komponen struktur
h_n	Batasan tinggi struktur
h_{sx}	Tinggi tingkat di bawah level- x
I_e	Faktor keutamaan gempa
l_0	Panjang penanaman tambahan melewati garis pusat tumpuan atau titik belok
L	Panjang komponen struktur
L_n	Bentang bersih komponen struktur
M_n	Kekuatan lentur nominal pada penampang

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
M_{nb}	Kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat bilamana tertarik, yang merangka ke dalam joint
M_{nc}	Kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint
M_u	Momen terfaktor pada penampang
M_{pr}	Kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit $1,25f_y$
n	Jumlah tulangan
N_u	Gaya tekan aksial terkecil
P_{cp}	Keliling luar penampang beton
P_h	Keliling garis tengah terluar sengkang tertutup
P_u	Gaya aksial terfaktor
R	Koefisien modifikasi respons
Rn	Faktor Tahanan Momen
s	Spasi tulangan transversal
sb	Selimut bersih tulangan
S	Spasi tulangan longitudinal
S_{DS}	Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek
S_{D1}	Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik
S_S	Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek
S_1	Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik
T	Periode

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
T_a	Periode fundamental pendekatan
T_{th}	Ambang batas torsi
T_n	Kekuatan momen torsi nominal
T_u	Momen torsi terfaktor pada penampang
V	Geser desain total di dasar struktur
V_c	Tahanan geser beton
V_e	Gaya geser desain untuk kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa
V_g	Gaya geser akibat beban gravitasi
V_s	Kekuatan geser nominal yang diberikan oleh penulangan geser
V_{sway}, V_{pr}	Gaya geser akibat goyangan struktur
V_u	Gaya geser terfaktor penampang
V_x	Geser seismik desain di tingkat x
W	Berat bangunan
β_l	Faktor bentuk distribusi tegangan beton
Δ	Simpangan antar tingkat desain
Δ_a	Simpangan antar tingkat yang diizinkan
δ_x	Defleksi pusat massa di tingkat x
λ	Faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan
θ	Koefisien stabilitas untuk pengaruh P-Delta
ρ	Faktor redundansi struktur
ρ	Rasio tulangan
ϕ	Faktor reduksi kekuatan
\emptyset	Diameter tulangan polos
Ω_0	Faktor kuat lebih

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Diagram Momen <i>Frame</i>	97
Lampiran 2 Gambar Momen Pada Pelat	99
Lampiran 3 Gambar Diagram Interaksi Kolom.....	99
Lampiran 4 Kontur tegangan beton bertulang pada balok G1-a dengan <i>software</i> LUSAS Modeler	102

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalamin, atas rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan oleh Allah Subhanahu wata'ala, maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu ayahanda **Syahrudin**, dan ibunda **Sahawia**, beserta seluruh keluarga, atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun materi.
2. **Bapak Prof Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT., IPM., ASEAN.Eng.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. **Bapak Dr. Eng. Bambang Bakri, ST., MT.**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
5. **Ibu Prof. Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
6. **Bapak Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
7. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

8. Saudara tercinta, **Bambang Nurhadi** yang selalu memberikan semangat dan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
9. **Ritha** dan **Feny** selaku teman yang memberikan warna yang begitu indah dalam menjalankan perkuliahan, serta dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. Rekan-rekan seperjuangan di **Laboratorium Riset Rekayasa dan Perkuatan Struktur**, terkhususnya **Adrian** dan **Afdal** yang menjadi patner bertukar pikiran dalam penyelesaian tugas akhir ini.
11. Saudara-saudari **PORTLAND 2020** yang memberikan begitu banyak warna dan pengalaman yang sangat berharga.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu dengan semua bantuan dan dukungan yang telah diberikan hingga terselesainya penyusunan tugas akhir ini

Tiada kata yang dapat mendeskripsikan rasa terimakasih penulis selain memohon kepada Tuhan Yang Maha Esa agar selalu melimpahkan berkatnya kepada kita semua. Akhir kata, penulis menyadari setiap karya manusia tiada yang sempurna. Oleh karena itu saran dan masukan yang membangun diharapkan penulis untuk pengembangan penelitian di masa mendatang. Semoga karya ini dapat bermanfaat.

Gowa, 26 September 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam mewujudkan perannya sebagai agen pembangunan, BUMN melalui Pertamina IHC menghadirkan Rumah Sakit Khusus Otak dan Jantung (RSKOJ) Royal Biringkanaya sebagai layanan kesehatan di Indonesia Timur yang berlokasi di Makassar. RSKOJ Royal Biringkanaya merupakan rumah sakit kekhususan otak dan jantung yang dilengkapi dengan berbagai fasilitas yang memadai. Rumah sakit ini terdiri dari bangunan utama lima tingkat dan satu bangunan pendukung.

Rumah sakit merupakan bangunan publik yang memiliki faktor keamanan tinggi sehingga rumah sakit harus dirancang dan dibangun dengan keselamatan struktural yang mampu menahan gaya gempa untuk menjamin keamanan, keutuhan dan keselamatan penghuni bangunan pasca terjadinya gempa. Perencanaan suatu bangunan haruslah berdasar pada SNI (Standard Nasional Indonesia). Perencanaan gedung RSKOJ Royal Biringkanaya Makassar dibuat sebelum diluncurkannya SNI terbaru di tahun 2019. Perubahan SNI ini tentunya memiliki perbedaan standar bangunan dengan SNI lama khususnya pada SNI 2847:2019 terkait beton struktural dan SNI 1726:2019 terkait perencanaan ketahanan gempa.

Atas pertimbangan diatas perlu dilakukan analisa struktur untuk mengevaluasi elemen struktur pada gedung RSKOJ Royal Biringkanaya Makassar. Maka penulis mengangkat Tugas Akhir dengan judul “**Review Desain Rumah Sakit Khusus Otak dan Jantung Royal Biringkanaya Makassar**”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah tugas akhir ini adalah bagaimana ketahanan dan kestabilan elemen-elemen struktur gedung RSKOJ Royal Biringkanaya Makassar sesuai SNI 2847:2019 tentang tata cara Perancangan Perhitungan Struktur Beton Bangunan Gedung dan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mereview elemen-elemen struktur gedung RSKOJ Royal Biringkanaya Makassar sesuai SNI 2847:2019 tentang tata cara Perancangan Perhitungan Struktur Beton Bangunan Gedung dan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berbentuk ilmu maupun informasi terhadap pembaca dalam mendesain atau merencanakan dan menganalisis kekuatan gedung dengan berdasarkan acuan SNI terbaru.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menghindari permasalahan yang semakin luas, maka penulis menetapkan batasan masalah yaitu sebagai berikut.

1. Perencanaan gedung hanya dilakukan pada bangunan utama RSKOJ Royal Biringkanaya Makassar dan hanya memperhitungkan segi struktural, tanpa memperhitungkan segi arsitektural.
2. Peraturan yang digunakan antara lain:
 - a. Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Bangunan Gedung Dan Struktur Lain (SNI 1727:2020).
 - b. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung (SNI 1726:2019).
 - c. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019).
3. Pada perencanaan gedung ini menggunakan *preliminary design* dari data perencanaan sebelumnya.
4. Pada perencanaan gedung berfokus pada struktur atas (*Upper Structure*) dan tidak melakukan perencanaan struktur bawah (*Sub Structure*) yang meliputi pondasi.
5. Pemodelan dan analisis struktur dilakukan dengan menggunakan *software* Csi ETABS v19.1.0

6. Desain penulangan kolom menggunakan program bantu SPColumn v7.00.
7. Penggambaran detail elemen struktur dilakukan dengan menggunakan *software* AutoCAD 2019.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembebanan Struktur

Dalam merencanakan sebuah bangunan, beban yang bekerja pada struktur harus diperhitungkan secara akurat untuk memastikan bahwa struktur bangunan dapat menahan beban dengan aman dan stabil. Beban yang bekerja pada struktur meliputi beban mati, beban hidup, dan beban lainnya seperti angin, gempa bumi, atau beban yang dihasilkan oleh cuaca seperti hujan atau salju.

2.1.1 Beban Mati

Menurut SNI 1727:2020, 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 derek dan sistem pengangkut material.

2.1.2 Beban Hidup

Menurut SNI 1727:2020, beban hidup merupakan 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.

2.1.3 Beban Air Hujan

Beban air hujan merupakan beban akibat akumulasi air hujan yang terjadi pada struktur atap. Genangan air yang terkumpul di atap datar atau rendah selama hujan dapat menimbulkan beban struktural. Oleh karena itu, hal tersebut harus diperhatikan saat mendesain sebuah bangunan.

2.1.4 Beban Gempa

Beban gempa menjadi salah satu faktor yang sangat penting dalam perencanaan struktur bangunan, terutama di daerah-daerah yang rawan akan gempa bumi. Gempa dapat datang dari arah manapun dan menyebabkan guncangan pada

tanah yang akan menambah beban pada unsur-unsur bangunan. Beban gempa cenderung berarah horizontal walaupun tetap ada komponen vertikal (Suharjanto, 2013). Dalam merencanakan beban gempa pada struktur gedung digunakan SNI 1726:2019 sebagai acuan yang mana peraturan ini membahas tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

2.2 Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Indonesia adalah negara yang terletak di wilayah Cincin Api Pasifik dan sering mengalami gempa bumi. Gempa bumi yang memberikan dampak yang besar pada bangunan, terutama jika gempa yang terjadi dalam skala yang tinggi. Menurut Suharjanto (2013), gempa kuat dapat mengakibatkan kerusakan bangunan, baik itu kerusakan pada elemen struktural dan non struktural. Oleh sebab itu, bangunan perlu direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu menahan beban yang ditimbulkan oleh pengaruh gempa bumi.

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, terdapat beberapa metode analisis yang dapat digunakan yaitu metode *static equivalent* (ST), metode *response spectrum* (RS), metode *time history analysis* (THA). Ketiga metode tersebut memiliki tingkat akurasi yang berbeda dalam memperkirakan perilaku struktur saat terjadi gempa. Perencanaan bangunan tahan gempa diatur di SNI 1726:2019 dan tergantung pada geografis wilayah, kategori risiko, parameter percepatan spektral desain, kategori desain seismik, dan sistem struktur yang digunakan.

2.2.1 Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko bangunan digunakan sebagai acuan dalam menentukan kemampuan suatu bangunan untuk menahan guncangan akibat gempa bumi. Dalam SNI 1726:2019 kategori risiko bangunan dikelompokkan menjadi empat kategori yang ditinjau berdasarkan jenis pemanfaatan gedung, seperti yang terlihat pada Tabel 1. Dari penentuan kategori risiko ini, dapat diketahui faktor keutamaan gempa (I_e) sesuai SNI 1726:2019.

Tabel 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	
<p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	III
<p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental 	IV

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan beroperasi pada saat keadaan darurat. 	

Sumber: SNI 1726:2019

2.2.2 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain terbagi atas dua yaitu parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan parameter percepatan spectral desain untuk periode 1 detik, S_{D1} . Nilai kedua parameter tersebut terlebih dahulu perlu ditentukan lokasi dan kelas situs tanah dari bangunan. Kelas situs ditentukan berdasarkan kondisi tanah yang telah diatur pada SNI 1726:2019 sesuai dengan Tabel 2 dibawah ini. Dari kelas situs tersebut dapat ditentukan koefisien situs (F_a dan F_v) berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 2. Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50

Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :

1. Indeks plastisitas, $PI > 20$,
2. Kadar air, $w > 40\%$,
3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SF (tanah khusus, yang Membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:		
	- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah		
	- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		
	- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$)		
	- Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 3 Koefisien situs F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF				SS		

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 4 Koefisien situs F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF				SS		

Sumber: SNI 1726:2019

Adapun parameter percepatan gempa di batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan pada perioda 1 detik (S_1) diperoleh dari peta Gambar 15 dan Gambar 16 pada SNI 1726:2019 atau dari situs <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>.

2.2.3 Kategori Desain Seismik

Setiap struktur ditetapkan ke dalam kategori desain seismiknya (KDS) yang dibagi kedalam enam kategori yaitu A, B, C, D, E dan F. Struktur dengan risiko

seismik terendah diklasifikasikan sebagai KDS A, dan risiko seismik tinggi diklasifikasikan sebagai KDS F. Penentuan kategori desain seismik didasarkan dari nilai S_{DS} , S_{D1} , dan kategori risiko bangunan yang dapat ditentukan dengan melihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 yang diambil dari SNI 1726:2019.

Tabel 5 Kategori desain seismik berdasarkan S_{DS}

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	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 1726:2019

Tabel 6 Kategori desain seismik berdasarkan S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

2.2.4 Sistem Struktur

Sistem struktur dalam menahan gaya gempa horizontal dan vertikal ditentukan dari KDS dan tinggi struktur. Dari sistem struktur, dapat diketahui parameter-parameter seismik bangunan yang terdiri atas koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω), dan faktor pembesaran defleksi (C_d), serta dapat diketahui pula batasan tinggi struktur untuk tiap-tiap kategori desain seismik. Berdasarkan SNI 1726:2019 sistem struktur pemikul gaya seismik terbagi kedalam beberapa tipe sistem struktur. Pada tugas akhir ini digunakan sistem struktur rangka beton bertulang pemikul momen, sehingga terdapat tiga pilihan sistem struktur yang dapat digunakan dengan parameter-parameter yang telah ditentukan, seperti disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7 Sistem struktur panahan gaya seismik

Sistem Penahan Gaya Seismik	R	Ω_0	C_d	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
Sistem rangka pemikul momen								
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber: SNI 1726:2019

Keterangan

TB : Tidak dibatasi

TI : Tidak diijinkan

2.2.5 Periode Fundamental

Berdasarkan SNI 1726:2019, periode fundamental struktur T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental pendekatan (T_a), harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (1)$$

Keterangan:

 T_a = periode fundamental pendekatan (s) h_n = ketinggian struktur di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (m)Nilai dari koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 8.Tabel 8 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan <i>bresing eksentris</i>	0,0731	0,75
Rangka baja dengan <i>breasing</i> terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726:2019

Periode fundamental struktur tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 9 dan periode fundamental pendekatan, T_a .

Tabel 9 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spectral 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 1726:2019

2.2.6 Gaya Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik adalah total dari seluruh gaya lateral akibat gempa yang diterima oleh bangunan gedung yang sedang ditinjau dan merupakan total dari gaya lateral gempa yang diterima setiap lantainya. Besarnya gaya geser dasar sebagai berikut:

$$V = C_s \times W \quad (2)$$

Besaran koefisien respons seismik, C_s , dihitung sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3)$$

Nilai C_s yang digunakan tidak boleh melebihi dari:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (4)$$

Namun tidak boleh kurang dari:

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (5)$$

Keterangan:

V = gaya geser dasar seismik (kN)

C_s = koefisien respons seismik

W = berat gravitasi total struktur gedung efektif (kN)

S_{DS} = parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

T = periode (s)

2.2.7 Distribusi Gaya Seismik

Distribusi gaya vertical diatur dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3. Gaya geser dasar gempa yang sudah dihitung kemudian didistribusikan pada semua tingkatan menjadi gaya gempa lateral, F_x yang besarnya dapat ditentukan sebagai berikut:

$$F_x = C_{vx} \times V \quad (6)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

Sedangkan distribusi gaya horizontal diatur dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.8.4. Distribusi gaya geser di semua tingkat (V_x) ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (7)$$

dimana,

F_i = bagian dari geser dasar gaya gempa (V) pada tingkat ke- i (kN)

2.2.8 Simpangan Antar Lantai

Menurut SNI 1726:2019, penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Defleksi pada tingkat x (δ_x) didapatkan dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_x}{I_e} \quad (8)$$

dengan:

C_d = faktor pembesaran defleksi

δ_x = defleksi pada posisi dimana lantai yang ditinjau diakibatkan oleh gaya gempa lateral (mm)

I_e = faktor keutamaan struktur

Simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dari Tabel 10 untuk semua tingkat.

Tabel 10 Simpangan antar tingkat izin, Δ_a

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,125h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber: SNI 1726:2019

2.2.9 Pengaruh P-delta

Berdasarkan SNI 1726:2019, pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (9)$$

dimana,

P_x = beban desain vertikal total (kN)

Δ = simpangan antar lantai (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa

V_x = gaya geser seismik yang bekerja (kN)

h_{sx} = tinggi tingkat (mm)

C_d = faktor pembesaran defleksi

Koefisien stabilitas (θ) harus tidak melebihi $\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta \times C_d} \leq 0,25$ dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan $x-1$. Rasio ini diijinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0. SNI 1726:2019 juga mensyaratkan bahwa untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang didesain untuk kategori desain seismik D, E, atau F, simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi Δ/ρ untuk semua tingkat.

2.3 Kombinasi Pembebanan

Menurut SNI 1727:2020, struktur, komponen, dan fondasi harus didesain sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek beban-beban terfaktor dalam kombinasi berikut.

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
5. $0,9D + 1,0W$
6. $1,2D + 1,0E + 1,0L$
7. $0,9D + 1,0E$

Untuk kombinasi 6 dan 7 dengan beban gempa diatur oleh SNI 1726:2019, faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal dan beban gempa nominal, yaitu sebagai berikut:

1. $(1,2 + 0,2S_{DS}) D + 1,0L \pm 0,3 \rho EX \pm 1,0 \rho EY$
2. $(1,2 + 0,2S_{DS}) D + 1,0L \pm 1,0 \rho EX \pm 0,3 \rho EY$
3. $(0,9 + 0,2S_{DS}) D \pm 0,3 \rho EX \pm 1,0 \rho EY$
4. $(0,9 + 0,2S_{DS}) D \pm 1,0 \rho EX \pm 0,3 \rho EY$

2.4 Perencanaan Elemen Struktur

2.4.1 Pelat

Pelat adalah suatu elemen horizontal utama yang berfungsi menyalurkan beban hidup dan beban mati ke elemen pemikul pemikul beban vertikal, yaitu balok, kolom dan dinding. Setiawan (2016) mengklasifikasikan pelat ke dalam tiga jenis yaitu:

1. Pelat satu arah

Apabila pelat tertumpu di keempat sisinya dan rasio bentang panjang terhadap bentang pendek lebih besar atau sama dengan 2, maka hampir 95% beban akan dilimpahkan dalam arah bentang pendek dan pelat menjadi sistem pelat satu arah. Pada pelat satu arah, tulangan utama berada sejajar dengan arah panjang pelat, dan tulangan sekunder berada sejajar dengan arah lebar pelat.

Hal ini membuat pelat satu arah mampu menahan beban pada arah panjang pelat dengan lebih efektif daripada beban pada arah lebar pelat.

2. Sistem pelat rusuk (*joint construction*)

Sistem pelat rusuk terdiri dari pelat dengan ketebalan 50 sampai 100 mm, yang ditopang oleh sejumlah rusuk dengan jarak beraturan. Rusuk mempunyai lebar minimum 100 mm dan mempunyai tinggi tidak lebih dari 3,5 kali lebar minimumnya. Sistem pelat rusuk cocok digunakan untuk struktur pelat dengan bentang 6-9 m serta memikul beban hidup sebesar 3,5-5,5 kN/m².

3. Pelat dua arah

Apabila struktur pelat ditopang di keempat sisinya dan rasio antara bentang panjang terhadap bentang pendeknya kurang dari 2, maka pelat tersebut dikategorikan sebagai sistem pelat dua arah. Pada pelat dua arah, tulangan utama dan sekunder dipasang sejajar pada arah yang berbeda, membentuk jaringan tulangan yang saling berpotongan. Jaringan tulangan ini dapat menahan beban lentur, geser, dan tekan pada kedua arah dengan lebih efektif dibandingkan dengan pelat satu arah.

2.4.2 Balok

Balok adalah elemen horizontal ataupun miring yang panjang dengan ukuran lebar serta tinggi yang terbatas. Balok berfungsi untuk menyalurkan beban dari pelat. Pada umumnya balok dicetak secara monolit dengan pelat lantai, sehingga akan membentuk balok penampang T pada balok interior dan balok penampang L pada balok-balok tepi (Setiawan, 2016). Balok perlu didesain untuk memikul momen lentur, gaya geser dan momen torsi/puntir.

Perencanaan Balok terhadap Lentur

Perencanaan balok terhadap lentur dilakukan terlebih dahulu untuk mendapatkan dimensi penampang dan kebutuhan tulangan utama yang berfungsi memikul momen lentur. Berdasarkan SNI 2847:2019, luas minimum tulangan lentur $A_{s\ min1}$, harus disediakan pada tiap penampang dimana tulangan tarik dibutuhkan sesuai analisis yang diperoleh dari nilai terbesar dari persamaan berikut.

$$A_{s\ min1} = \frac{1,4}{f_y} b d \quad (10)$$

$$A_{s \min 2} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} b d \quad (11)$$

Keterangan:

$A_{s \min}$ = luas minimum tulangan lentur (mm^2)

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

f_y = tegangan leleh baja untuk tulangan lentur (MPa)

b = lebar balok (mm)

d = tinggi efektif balok (mm)

Ketentuan terkait $A_{s \min}$ dimaksudkan untuk menghasilkan kekuatan lentur melebihi kekuatan retak dengan cukup besar. Tujuannya adalah untuk menghasilkan sebuah balok yang mampu bertahan setelah terjadinya retak lentur, dengan retak dan lendutan yang terlihat, dengan demikian memperingatkan kemungkinan kelebihan beban.

Perencanaan Balok terhadap Geser

Menurut Asroni (2010), meskipun elemen balok dapat menahan gaya geser yang bekerja, tetapi jika gaya geser tersebut cukup besar maka elemen beton tidak mampu lagi menahannya, sehingga dapat menimbulkan retak beton yang arahnya miring. Untuk mengatasi retak miring akibat gaya geser, maka pada area yang gaya gesernya cukup besar ini diperlukan tulangan khusus yang disebut tulangan geser.

Balok beton bertulang dengan tulangan geser memiliki kuat geser nominal V_n disumbangkan oleh kuat geser beton V_c dan sebagiannya lagi oleh kuat geser tulangan geser V_s . Gaya geser yang dihasilkan oleh beban terfaktor harus kurang atau sama dengan kuat geser nominal dikalikan dengan faktor reduksi atau dapat ditulis dalam persamaan berikut.

$$V_u \leq \phi V_n \quad (12)$$

dimana,

V_u = gaya geser rencana (N)

V_n = gaya geser nominal (N)

ϕ = faktor reduksi kekuatan

Kekuatan geser nominal yang disediakan beton V_c dapat dihitung dengan persamaan

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f'c} \times b \times d \quad (13)$$

dimana,

V_c = tahanan geser beton (N)

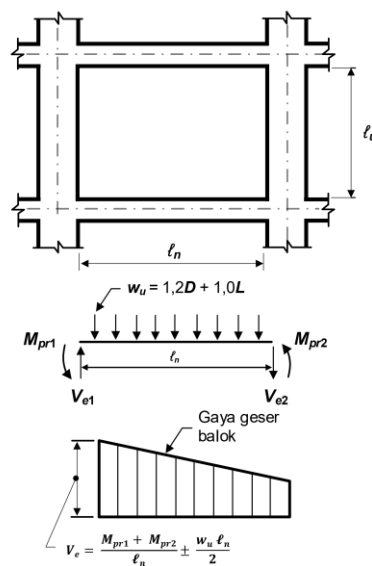
$f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

b = lebar balok (mm)

d = tinggi efektif balok (mm)

Kemudian jika didapatkan hasil $V_u > V_c$, maka tulangan yang digunakan adalah tulangan geser struktural. Atau $V_u \leq V_c$ tetapi $\geq 0,5 V_c$, maka tulangan yang digunakan adalah tulangan geser minimum.

Untuk balok yang merupakan komponen lentur SRPMK, tulangan geser perlu didesain secara khusus dimana gaya geser desain V_e pada daerah sendi plastis balok tergantung dari besaran relatif beban gravitasi V_g dan geser dihasilkan oleh momen-momen ujung V_{sway} seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Geser desain untuk balok (Sumber: SNI 2847:2019)

Perencanaan Balok terhadap Torsi

Menurut Setiawan (2016), retak torsi pada balok akan muncul ketika beban momen torsi terfaktor yang diberikan pada sebuah penampang melampaui tahanan torsi yang dapat diberikan pada penampang beton. Untuk itu perlu disediakan tulangan torsi dalam bentuk sengkang tertutup dan tulangan memanjang yang diletakkan minimal di sudut bengkokan sengkang atau lebih baik lagi apabila didistribusikan merata pada seluruh penampang.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7 tulangan torsi harus diterapkan pada komponen struktur jika $T_u \geq \phi T_{th}$ dimana ϕ untuk tulangan torsi sebesar 0,75. Adapun T_{th} dihitung dengan persamaan berikut.

$$T_{th} = 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (14)$$

Keterangan:

T_{th} = ambang batas torsi (N)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

A_{cp} = luas penampang beton (mm²)

P_{cp} = keliling luar penampang beton (mm)

2.4.3 Kolom

Kolom adalah suatu elemen struktural vertikal yang difungsikan untuk menahan beban dari struktur bangunan di atasnya dan menyalurkan beban tersebut ke pondasi. Menurut Setiawan (2016), kolom memikul beban aksial tekan dan momen lentur pada saat yang bersamaan. Momen lentur dapat timbul pada kolom yang merupakan bagian dari portal gedung, karena harus memikul momen lentur yang berasal dari balok atau juga yang ditimbulkan akibat gaya-gaya lateral seperti angin dan gempa. Maka dari itu, dalam proses desain kolom harus diperhitungkan terhadap aksi simultan antara beban aksial dan momen lentur.

SNI 2847:2019 mendefinisikan kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus sebagai bagian sistem pemikul gaya seismik dan utamanya didesain untuk menahan gaya lentur, geser, dan aksial. Kekuatan lentur kolom SRPMK harus memenuhi syarat *strong column weak beam* yaitu:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \quad (15)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam joint (Nmm)

$\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok-balok yang merangka ke dalam joint (Nmm)

Untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus, tulangan transversal termasuk ikat silang dalam spasi s dan tegak lurus terhadap dimensi b_c

ditentukan dari kedua persamaan berikut dimana yang digunakan adalah nilai terbesar.

$$A_{sh}/s = 0,3 \left(\frac{b_c \times f'_c}{f_{yv}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (16)$$

$$A_{sh}/s \geq 0,09 \left(\frac{b_c \times f'_c}{f_{yv}} \right) \quad (17)$$

Keterangan:

A_{sh} = luas penampang total tulangan transversal (mm^2)

s = spasi tulangan transversal (mm)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

f_{yv} = tegangan leleh baja untuk tulangan geser (MPa)

b_c = lebar penampang inti beton

A_g = luas penampang kolom (mm^2)

A_{cp} = luas penampang inti beton (mm^2)