

**SKRIPSI**

**ANALISA PERENCANAAN GEDUNG BERTINGKAT BETON  
BERTULANG SEBAGAI STRUKTUR TAHAN GEMPA DENGAN  
SRPMK DAN SRPMM**

**(Studi Kasus: Gedung Infrastruktur BASICS BRIN Bandung)**

Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi  
Pada Program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata I  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Mataram



Disusun Oleh :

**MUKHTA RIQI SAB'IT TIBAQ  
NIM. 2019D1B094**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
2023**

**HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING  
TUGAS AKHIR/SKRIPSI**

**“ANALISA PERENCANAAN GEDUNG BERTINGKAT BETON  
BERTULANG SEBAGAI STRUKTUR TAHAN GEMPA DENGAN  
SRPMK DAN SRPMM”**

**(Studi Kasus : Gedung Infrastruktur BASICS BRIN Bandung)**

Disusun Oleh:


**MUKHTA RIOI SAB'IT TIBAO**  
**NIM.2019D1B094**


**Mataram, 20 Juni 2023**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

  
**Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc.(Eng)**  
**NIDN.0027107301**

  
**Nurul Hidayati, ST., M.Eng**  
**NIDN.0815049401**

**Mengetahui**

**Universitas Muhammadiyah Mataram  
Fakultas Teknik**

**Dekan**

  
**Dr. H. Aji Syaileendra Ubaidillah, ST., M.Sc**  
**NIDN. 0806027101**

**HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI  
TUGAS AKHIR/SKRIPSI**

**“ANALISA PERENCANAAN GEDUNG BERTINGKAT BETON  
BERTULANG SEBAGAI STRUKTUR TAHAN GEMPA DENGAN  
SRPMK DAN SRPMM”**

**(Studi Kasus : Gedung Infrastruktur BASICS BRIN Bandung)**

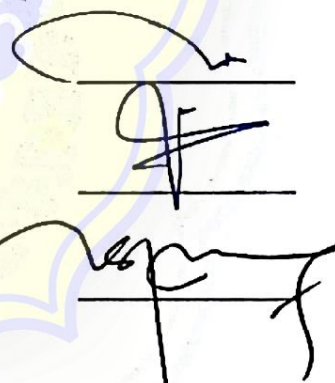
Yang Dipersiapkan dan Disusun Oleh:

NAMA : MUKHTA RIQI SAB'IT TIBAQ  
NIM : 2019D1B094

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
Pada Tanggal 26 Juni 2023  
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

**Susunan Tim Penguji**

1. Penguji I : Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc.(Eng)
2. Penguji II : Nurul Hidayati, ST., M.Eng
3. Penguji III : Ir. Isfanari, ST., MT



**Mengetahui**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
FAKULTAS TEKNIK**

**Dekan,**



**Dr. H. Aji Syaillendra Ubaidillah, ST., M.Sc**  
NIDN. 0806027101

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir/Skripsi dengan judul **“ANALISA PERENCANAAN GEDUNG BERTINGKAT BETON BERTULANG SEBAGAI STRUKTUR TAHAN GEMPA DENGAN SRPMK DAN SRPMM”**.

Benar adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide dan hasil penelitian maupun kutipan baik secara langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tugas Akhir/Skripsi ini dan telah disebutkan didalam Daftar Pustaka. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tugas Akhir/Skripsi ini merupakan hasil plagiasi, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan sanggup diberlakukan proses secara hukum yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat tanpa tekanan dari pihak manapun dan dengan kesadaran penuh terhadap tanggung jawab dan konsekuensinya.

Mataram, 04 Juli 2023  
Pembuat Pernyataan,



**Mukhta Riqi Sab'it Tibaq**  
**NIM.2019D1B094**



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN  
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram  
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : [perpustakaan@ummat.ac.id](mailto:perpustakaan@ummat.ac.id)

**SURAT PERNYATAAN BEBAS  
PLAGIARISME**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MUKHTA RIQI SAB'IT TIBAQ  
 NIM : 2019D18094  
 Tempat/Tgl Lahir : Jember, 23 Mei 2000  
 Program Studi : TEKNIK SIPIL  
 Fakultas : TEKNIK  
 No. Hp : 081 335 555 809  
 Email : mukhtarigi23052000@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/KTI/Tesis\* saya yang berjudul :

ANALISA PERENCANAAN BEDUNG BERTINGKAT BETON BERTULANG  
SEBAGAI STRUKTUR TAHAN BEMPA DUNGAN SRPMK DAN SRPM

*Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 383*

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis\* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milik orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dan disebutkan sumber secara lengkap dalam daftar pustaka, saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Mataram.

Demikain surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan untuk dipergunakan sebagai mana mestinya.

Mataram, Rabu 05 Juli.....2023  
Penulis

MUKHTA RIQI SAB'IT T  
NIM. 2019018094

Mengetahui,  
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT

Iskandar, S.Sos..M.A.  
NIDN. 0802048904



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN  
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram  
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : [perpustakaan@ummat.ac.id](mailto:perpustakaan@ummat.ac.id)

**SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN  
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MUKHTA RIQI SAB'IT PIRBAQ  
 NIM : 2019018094  
 Tempat/Tgl Lahir : Jember, 23 Mei 2000  
 Program Studi : PEKNIK SIPIL  
 Fakultas : PEKNIK  
 No. Hp/Email : 081 333 555 809  
 Jenis Penelitian :  Skripsi  KTI  Tesis

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya selama *tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta* atas karya ilmiah saya berjudul:

ANALISA PERENCANAAN BEDUNG BERTINGKAT BETON BERTULANG  
SEBAGAI STRUKTUR TAHAN GEMPA DENGAN SRPMK DAN SRPMM

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Mataram, Rabu 05 Juli.....2023

Penulis

  
 1000  
 METERA  
 TEMPEL  
 B03D8AKX490616927

MUKHTA RIQI SAB'IT P.  
 NIM. 2019018094

Mengetahui,

Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



Iskandar, S.Sos.,M.A.  
 NIDN. 0802048904

## MOTTO

“Siapa Kamu Dulu, Apa yang Sudah Kau Lakukan, Lantas Apa yang Akan  
Kau Perbuat untuk Membayar Itu”

“Jangan Hanya Menjadi Ekor, Jadilah Taring Singa yang Perkasa”

“Dendam Membawamu Menjadi Seseorang yang  
Jauh Lebih Tangguh”

Mukhta Riqi Sab'it Tibaq  
Senin, 03 Juli 2023



## PRAKATA

*Assalamu 'alaikum Wr. Wb*

Penulis mengucapkan dengan rasa syukur alhamdulillah ke hadirat Allah SWT, atas berkah, rahmat, taufiq, dan hidayahnya, sebab telah dapat menyelesaikan Tugas Akhir/Skripsi dengan judul “ANALISA PERENCANAAN GEDUNG BERTINGKAT BETON BERTULANG SEBAGAI STRUKTUR TAHAN GEMPA DENGAN SRPMK DAN SRPMM” dengan baik dan lancar.

Penulisan Tugas Akhir/Skripsi ini diajukan sebagai syarat menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata I, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram.

Selama penulisan proposal pengajuan Tugas Akhir/Skripsi ini, penulis telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Drs. Abdul Wahab, MA selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram
2. Dr. H. Aji Syailendra Ubaydillah M.Sc selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram
3. Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc.(Eng) selaku Dosen Pembimbing Utama
4. Nurul Hidayati, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Kedua
5. Adryan Fitrayudha, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram sekaligus Dosen Pembimbing Akademik Penulis yang telah banyak memberikan arahan selama proses perkuliahan
6. Segenap Dosen Program Studi Teknik Sipil yang telah berdikasi untuk mendidik dan memberikan ilmu selama perkuliahan
7. Kedua Orang Tua: Moh. Jazuli, S.Pd.I dan Uswatun Hasanah serta Muhammad Fajar Ali Mufti, S.P selaku Kakak Penulis
8. Bapak dan Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram yang selalu sabar melayani segala administrasi selama proses penyusunan proposal pengajuan tugas akhir atau skripsi ini.



9. Seluruh pihak yang telah memberikan semangat dan dukungan yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

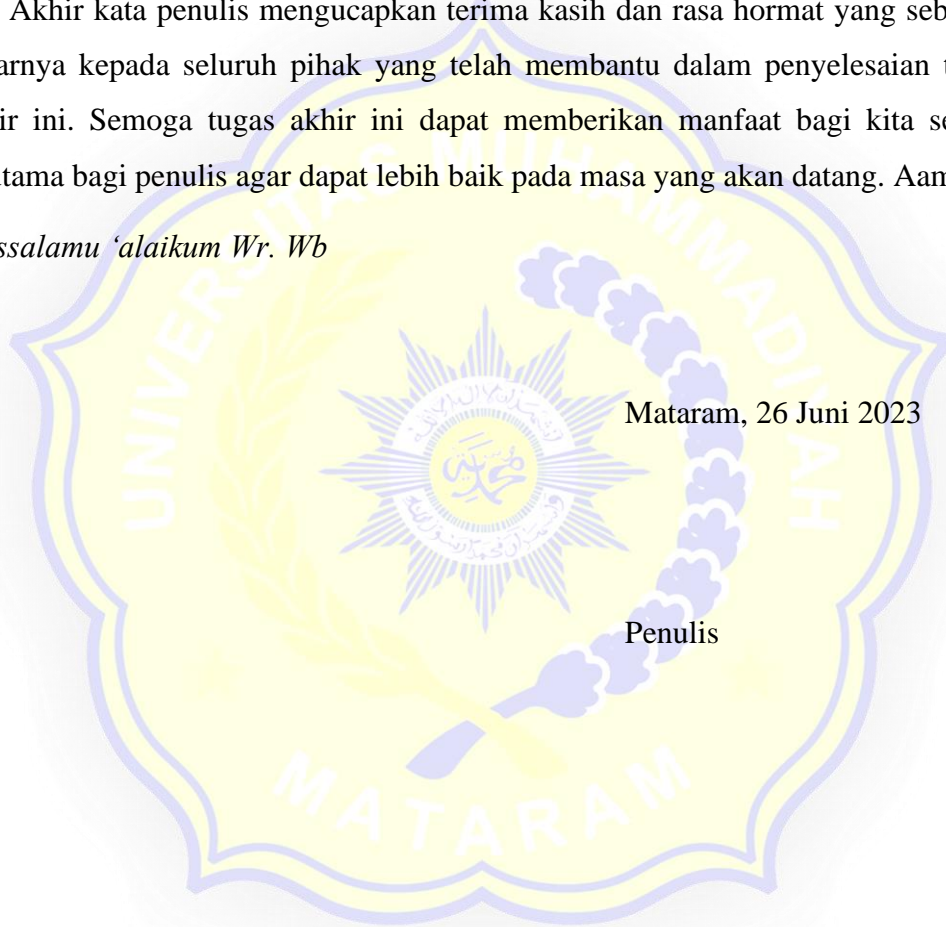
Kata sempurna dalam penulisan Tugas Akhir/Skripsi ini masihlah sangat terlampau jauh. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir/Skripsi ini masih banyak kekurangan dikarenakan keterbatasan waktu serta minimnya pemahaman yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna menyempurnakan penulisan Tugas Akhir/Skripsi ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis agar dapat lebih baik pada masa yang akan datang. Aamiin.

*Wassalamu 'alaikum Wr. Wb*

Mataram, 26 Juni 2023

Penulis



## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu. Selama penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Sehingga pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua Orang Tua: Moh. Jazuli, S.Pd.I dan Uswatun Hasanah serta Muhammad Fajar Ali Mufti, S.P selaku Kakak Penulis
2. Dr. Eng. Hariyadi. ST., M.Sc (Eng) selaku dosen pembimbing I
3. Nurul Hidayati, ST., M.Eng selaku dosen pembimbing II
4. Rekan-rekan seperjuangan Angkatan 2019, Muhammad Muhlisin, Runi Safitri, Yai Anggraini Safitri, Novi Suryadita Rahmadhani, Rina Juniarti, Cita Santuni, Nur Alivia Anisa Rizky, Muhammad Sufyan Ifansyah, Subandi, Nida Ulyani, M. Heru, Bini Afifia, Bang Ferdy, Riki Martin, Rivaldi Umar, Rendy Sofyan, Ranni Sahlinda, Adrian, Joel dan masih banyak pihak yang tidak bisa di sebutkan satu persatu.
5. Terimakasih teruntuk Yuan Nafisa yang selalu memberikan dukungan dan semangat

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Semoga Allah SWT memberikan balasan atas segala bantuan dan dukungannya.

Mataram, 26 Juni 2023

Penulis,

Mukhta Riqi Sab'it Tibaq

## ABSTRAK

Analisa perencanaan struktur beton bertulang pada struktur bangunan Gedung Infrastruktur *Bandung Advanced Science and Creative Engineering Space* (BASICS) Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Bandung dalam Tugas Akhir ini menggunakan Metode perencanaan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

SRPMK adalah sistem rangka dimana komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui gaya aksial lentur, geser dan aksial tekan. Sistem ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas penuh dan wajib digunakan pada daerah dengan kategori resiko gempa tinggi yaitu pada kategori 5 dan 6. Sedangkan SRPMM memiliki makna yang sama dengan SRPMK, namun digunakan pada daerah dengan kategori gempa yang lebih rendah yaitu kategori 4. Gedung ini sendiri berada pada daerah dengan kategori gempa 4 dan difungsikan sebagai laboratorium penelitian serta kategori tanah lunak (*SE*). oleh sebab itu gedung tersebut memiliki kategori resiko tinggi yaitu kategori resiko IV dan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) 1,5. Sistem ini mengacu pada SNI 03-2847:2019 dan SNI 1726- 2019.

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa struktur dengan SRPMK diperoleh tulangan longitudinal pada balok B2-2 (400x700) sejumlah 6D22 untuk tulangan tarik tumpuan, 5D22 untuk tulangan tekan tumpuan, 2D10 untuk tulangan torsi, 4D22 untuk tulangan tarik lapangan, 4D22 untuk tulangan tekan lapangan dan 2D10 untuk tulangan torsi lapangan. Pada kolom C16-1 (750x750) diperoleh tulangan longitudinal sejumlah 24 D24 dengan sengkang tumpuan 4D13-50 dan sengkang lapangan 3D13-100. Sedangkan hasil perhitungan pada joint balok-kolom SRPMK diperoleh tulangan penyaluran tarik 175mm dengan sengkang mengikuti tumpuan kolom 4D13-50. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa struktur dengan SRPMM diperoleh tulangan longitudinal pada balok B2-2 (400x700) sejumlah 6D22 untuk tulangan tarik tumpuan, 6D22 untuk tulangan tekan tumpuan, 2D13 untuk tulangan torsi, 4D22 untuk tulangan tarik lapangan, 4D22 untuk tulangan tekan lapangan dan 4D13 untuk tulangan torsi lapangan. Pada kolom C16-1 (750x750) diperoleh tulangan longitudinal sejumlah 24 D29 dengan sengkang tumpuan 4D13-50 dan sengkang lapangan 4D13-100. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis diperoleh tulangan SRPMM lebih ekonomis sebesar 6,978% dibandingkan dengan SRPMM.

Kata kunci : SRPMK, SRPMM, Struktur Tahan Gempa

## ABSTRACT

*In this final project, planning analysis of reinforced concrete structures in the Bandung Infrastructure Building Advanced Science and Creative Engineering Space (BASICS) National Research and Innovation Agency (BRIN) Bandung uses the Special Moment Resisting Frame System (SRPMK) and Intermediate Moment Resisting Frame System (SRPMM) planning techniques.*

*SRPMK is a frame system where the structural components and joints resist forces operating via axial bending, shearing, and axial compression. This system possesses complete ductility and must be utilized in regions with high earthquake risk categories, namely categories 5 and 6. Similarly, SRPMM has the same meaning as SRPMK but is used in areas with less severe earthquakes, specifically category 4. This structure serves as a research laboratory and a soft soil (SE) variant and is situated in a category 4 earthquake zone. Therefore, the structure falls under a high-risk category, namely risk category IV, with an earthquake priority factor ( $I_e$ ) of 1.5. This system is compliant with SNI 03-2847:2019 and SNI 1726:2019.*

*Calculations and structural analysis with SRPMK determined longitudinal reinforcement in beam B2-2 (400x700) to be 6D22 for tension reinforcement, 5D22 for compression reinforcement, 2D10 for torsional reinforcement, 4D22 for field tension reinforcement, 4D22 for field compression reinforcement, and 2D10 for torsional reinforcement. 24 D24 longitudinal reinforcement is accomplished in column C16-1 (750x750) using 4D13-50 support stirrups and 3D13-100 field stirrups. In contrast, the SRPMK beam-column connections were calculated to require 175mm of tensile reinforcement with stirrups following the 4D13-50 column supports. Calculations and structural analysis with SRPMM yielded longitudinal reinforcement in beam B2-2 (400x700) of 6D22 for tension reinforcement, 6D22 for compression reinforcement, 2D13 for torsional reinforcement, 4D22 for field tension reinforcement, 4D22 for field compression reinforcement, and 4D13 for torsional reinforcement. 24 D29 longitudinal reinforcement is accomplished in column C16-1 (750x750) using 4D13-50 support stirrups and 4D13-100 field stirrups. Based on calculations and analysis, it is determined that SRPMM reinforcement is 6.978% more cost-effective than SRPMK.*

**Keywords: SRPMK, SRPMM, Earthquake Resistant Structures**

**MENGESAHKAN**  
SALINAN FOTO COPY SESUAI ASLINYA  
MATARAM



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS.....	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME .....	v
SURAT PERNYATAAN BEBAS PUBLIKASI .....	vi
MOTTO .....	vii
PRAKATA .....	viii
PERSEMBAHAN.....	x
ABSTRAK .....	xi
ABSTRACT.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xx
DAFTAR NOTASI.....	xxii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Umum.....	6
2.3 Desain <i>Preliminary</i> Struktur .....	7
2.3.1 Desain <i>Preliminary</i> Balok.....	7
2.3.2 Desain <i>Preliminary</i> Kolom .....	8
2.3.3 Desain <i>Preliminary</i> Pelat .....	8
2.3.4 Pelat dua arah .....	9
2.3.5 Pelat tangga .....	9
2.3.6 Hubungan Balok dan Kolom ( <i>HBK</i> ).....	10
2.3.7 Ketidakberaturan Struktur.....	11
2.4 Pembebanan Struktur .....	15
2.4.1 Beban mati ( <i>DL</i> ).....	15
2.4.2 Beban mati tambahan ( <i>SIDL</i> ).....	15
2.4.3 Beban hidup ( <i>LL</i> ) .....	16
2.4.4 Beban Angin ( <i>W</i> ).....	16
2.4.5 Beban gempa ( <i>E</i> ).....	19
2.4.6 Klasifikasi situs .....	21
2.4.7 Parameter percepatan gempa.....	21
2.4.8 Menentukan koefisien situs dan parameter spektrum ( <i>MCE<sub>R</sub></i> ).....	22
2.4.9 Parameter percepatan spektrum respons desain.....	24
2.4.10 Spektrum respons desain.....	24
2.4.11 Kategori desain seismik .....	25
2.4.12 Koefisien Modifikasi Respon.....	26

2.4.13	Fleksibilitas diafragma .....	27
2.4.14	Faktor Redundansi ( $\rho$ ).....	28
2.5	Kombinasi Pembebanan .....	28
2.6	Berat Struktur .....	29
2.7	Gaya Lateral Ekvivalen.....	30
2.7.1	Periode fundamental pendekatan .....	31
2.7.2	Geser dasar seismik.....	31
2.7.3	Distribusi vertikal dan horizontal gaya seismik.....	32
2.7.4	Penskalaan gempa dinamik terhadap statik.....	32
2.7.5	Penampang retak .....	33
2.8	SpColumn.....	33
2.9	Perencanaan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) ..	34
2.9.1	Balok sistem rangka pemikul momen menengah .....	34
2.9.2	Kolom sistem rangka pemikul momen menengah.....	36
2.10	Perencanaan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) .....	37
2.10.1	Balok sistem rangka pemikul momen khusus.....	37
2.10.1.1	Batasan dimensi .....	38
2.10.1.2	Tulangan longitudinal .....	38
2.10.1.3	Tulangan transversal .....	39
2.10.1.4	Persyaratan tulangan geser.....	40
2.10.2	Kolom sistem rangka pemikul momen khusus .....	41
2.10.2.1	Batasan dimensi .....	42
2.10.2.2	Kekuatan lentur minimum kolom .....	42
2.10.2.3	Tulangan longitudinal .....	42
2.10.2.4	Tulangan transversal .....	43
2.10.2.5	Tulangan Geser .....	45
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI .....</b>	<b>46</b>
3.1	Data Perencanaan .....	46
3.1.1	Data Umum Gedung .....	46
3.1.2	Data Teknis Gedung.....	46
3.2	Studi Literatur .....	52
3.3	Bagan Alir Penelitian .....	53
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>54</b>
4.1	Umum.....	54
4.2	Desain Eksisting .....	54
4.3	Data Perencanaan .....	54
4.3.1	Lokasi Gedung .....	54
4.3.2	Fungsi Gedung .....	55
4.3.3	Material Struktur .....	55
4.3.4	Desain <i>Preliminary</i> Struktur .....	56
4.3.4.1	Desain <i>Preliminary</i> Balok.....	56
4.3.4.2	Desain <i>Preliminary</i> Kolom.....	56
4.3.4.3	Dimensi <i>Preliminary</i> Pelat.....	57
4.3.4.4	Hubungan balok dan kolom ( <i>HBK</i> ) .....	58
4.3.5	Perencanaan Struktur Gedung.....	60
4.3.5.1	Kontrol geometri secara ketidakberaturan horizontal .....	60

4.3.5.2	Kontrol ketidakberaturan horizontal tipe 2 sudut dalam..	61
4.3.5.3	Kontrol ketidakberaturan tipe 3 .....	62
4.3.5.4	Kontrol ketidakberaturan tipe 4 .....	64
4.3.5.5	Kontrol ketidakberaturan tipe 5 sistem nonparallel .....	64
4.3.5.6	Kontrol ketidakberaturan vertikal pada struktur .....	65
4.3.6	Pembebanan struktur .....	66
4.3.7	Perhitungan beban mati sendiri ( <i>DL</i> ) .....	67
4.3.8	Perhitungan beban mati tambahan ( <i>SIDL</i> ) .....	67
4.3.9	Beban Hidup ( <i>LL</i> ) .....	71
4.3.10	Beban Angin .....	72
4.3.11	Beban Gempa ( <i>E</i> ) .....	75
4.4	Kombinasi Pembebanan .....	81
4.5	Berat Struktur .....	82
4.6	Gaya Lateral Ekuivalen .....	84
4.6.1	Gaya getar alami fundamental .....	84
4.6.2	Geser dasar seismik ( <i>V</i> ) SRPMK .....	85
4.6.3	Distribusi vertikal dan horizontal gaya seismik ( <i>Vt</i> ) SRPMK .....	86
4.6.4	Geser dasar seismik ( <i>V</i> ) SRPMM .....	88
4.6.5	Distribusi vertikal dan horizontal gaya seismik ( <i>Vt</i> ) SRPMM .....	89
4.7	Perencanaan Pelat Lantai Menggunakan Metode Koefisien Momen ...	91
4.7.1	Pembebanan pelat lantai ( <i>Slab 1</i> ) .....	91
4.7.2	Kombinasi Pembebanan .....	91
4.7.3	Kekuatan Perlu ( <i>U</i> ) .....	91
4.7.4	Kekuatan Desain .....	92
4.7.5	Hasil perhitungan penulangan pelat .....	106
4.8	Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) .....	107
4.8.1	Properti Material dan Penampang .....	107
4.8.2	Desain Tulangan Lentur .....	107
4.8.2.1	Gaya Dalam .....	107
4.8.2.2	Syarat Gaya dan Geometri .....	108
4.8.2.3	Penulangan Lentur (Tumpuan Negatif) .....	108
4.8.2.4	Penulangan Lentur (Tumpuan Positif) .....	110
4.8.2.5	Penulangan Lentur (Lapangan Negatif) .....	112
4.8.2.6	Penulangan Lentur (Lapangan Positif) .....	114
4.8.2.7	Kontrol Momen Nominal .....	116
4.8.3	Desain Tulangan Geser .....	117
4.8.3.1	Gaya Dalam .....	117
4.8.3.2	Gaya desain .....	117
4.8.3.3	Tahanan geser beton .....	118
4.8.3.4	Penulangan Geser Tumpuan .....	118
4.8.3.5	Tulangan Geser Lapangan .....	120
4.8.4	Desain Tulangan Torsi .....	121
4.8.4.1	Parameter Penampang untuk Perhitungan Torsi .....	122
4.8.4.2	Gaya Dalam .....	122
4.8.4.3	Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi .....	122
4.8.4.4	Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang .....	122

4.8.4.5	Parameter Umum Lainnya .....	123
4.8.4.6	Penulangan Transversal Torsi .....	123
4.8.4.7	Penulangan Longitudinal Torsi .....	125
4.8.5	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Balok SRPMK .....	129
4.9	Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) .....	129
4.9.1	Properti Material dan Penampang .....	129
4.9.2	Desain Tulangan Lentur .....	130
4.9.2.1	Gaya Dalam .....	130
4.9.2.2	Syarat Geometri .....	131
4.9.2.3	Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur .....	131
4.9.2.4	Pengecekan <i>Strong Column - Weak Beam</i> (SCWB) .....	131
4.9.3	Desain Tulangan Transversal .....	132
4.9.3.1	Panjang Zona Sendi Plastis .....	132
4.9.3.2	Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan .....	132
4.9.3.3	<i>Confinement</i> /Kekangan Zona Sendi Plastis .....	133
4.9.3.4	Sisi Pendek/Sumbu Lemah .....	133
4.9.3.5	Sisi Panjang/Sumbu Kuat .....	134
4.9.3.6	Kontrol Spasi .....	134
4.9.3.7	Kuat Geser Zona Sendi Plastis .....	135
4.9.3.8	Gaya Geser Hasil Analisis Struktur .....	136
4.9.3.9	Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah .....	136
4.9.3.10	Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat .....	137
4.9.3.11	Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis .....	138
4.9.3.12	<i>Confinement</i> /Kekangan Luar Zona Sendi Plastis .....	138
4.9.3.13	Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis .....	139
4.9.3.14	Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah .....	139
4.9.3.15	Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat .....	140
4.9.4	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kolom SRPMK .....	141
4.10	Hubungan Balok Kolom (SRPMK) .....	141
4.10.1	Properti Material dan Penampang .....	142
4.10.2	Data Lebar dan Eksentrisitas Balok .....	142
4.10.3	Dimensi Joint .....	144
4.10.4	Data dan Gaya Tulangan Balok .....	145
4.10.5	Gaya Geser Akibat Balok .....	147
4.10.6	Gaya Geser Kolom ( <i>Column Hinging</i> ) .....	148
4.10.7	Gaya Geser Total Joint .....	149
4.10.8	Kuat Geser Joint .....	150
4.10.9	Tulangan Transversal .....	151
4.10.10	Panjang Penyaluran Tulangan Tarik .....	151
4.11	Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) .....	152
4.11.1	Properti Material Penampang .....	152
4.11.2	Desain Tulangan Lentur .....	153
4.11.2.1	Gaya Dalam .....	153
4.11.2.2	Syarat Gaya .....	153
4.11.2.3	Penulangan Lentur (Tumpuan Negatif) .....	153
4.11.2.4	Penulangan Lentur (Tumpuan Positif) .....	155



4.11.2.5	Penulangan Lentur (Lapangan Negatif).....	157
4.11.2.6	Penulangan Lentur (Lapangan Positif) .....	159
4.11.2.7	Kontrol Momen Nominal.....	160
4.11.3	Desain Tulangan Geser .....	161
4.11.3.1	Gaya Dalam.....	161
4.11.3.2	Tulangan Tumpuan .....	161
4.11.3.3	Tulangan Lapangan.....	163
4.11.3.4	Penulangan Geser.....	163
4.11.4	Desain Tulangan Torsi .....	164
4.11.4.1	Parameter Geometri Penampang Perhitungan Torsi.....	164
4.11.4.2	Gaya Dalam.....	165
4.11.4.3	Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi .....	165
4.11.4.4	Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang .....	166
4.11.4.5	Parameter Umum Lainnya .....	166
4.11.4.6	Penulangan Transversal Torsi .....	167
4.11.4.7	Penulangan Longitudinal Torsi.....	169
4.11.5	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Balok SRPMM .....	173
4.12	Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) .....	173
4.12.1	Properti Material dan Penampang.....	173
4.12.2	Desain Tulangan Lentur .....	174
4.12.2.1	Gaya Dalam.....	174
4.12.2.2	Syarat Geometri .....	175
4.12.2.3	Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur.....	175
4.12.2.4	Pengecekan <i>Strong Column - Weak Beam</i> (SCWB).....	175
4.12.3	Desain Tulangan Transversal .....	176
4.12.3.1	Panjang Zona Sendi Plastis .....	176
4.12.3.2	Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan.....	176
4.12.3.3	<i>Confinement</i> /Kekangan Zona Sendi Plastis .....	177
4.12.3.4	Kontrol Spasi.....	177
4.12.3.5	Kuat Geser Zona Sendi Plastis.....	178
4.12.3.6	Gaya Geser Hasil Analisis Struktur .....	178
4.12.3.7	Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah.....	179
4.12.3.8	Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat.....	180
4.12.3.9	Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis.....	181
4.12.3.10	<i>Confinement</i> /Kekangan Luar Zona Sendi Plastis.....	181
4.12.3.11	Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis .....	182
4.12.3.12	Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah.....	182
4.12.3.13	Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat.....	183
4.12.4	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kolom SRPMM .....	184
4.13	Momen, Beban Aksial dan Gaya Geser Nominal Pada Elemen .....	184
4.14	Jumlah Tulangan dari Suatu Elemen.....	186
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP.....</b>	<b>188</b>
5.1	Kesimpulan .....	188
5.2	Saran.....	190
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>191</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beban mati desain minimum .....	7
Tabel 2.2 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang.....	9
Tabel 2.3 Ketidakberaturan horizontal pada struktur.....	12
Tabel 2.4 Ketidakberaturan vertikal pada struktur.....	13
Tabel 2.5 Beban mati desain minimum.....	15
Tabel 2.6 Rekap beban mati tambahan ( <i>SIDL</i> ) .....	15
Tabel 2.7 Beban hidup minimum terdistribusi.....	16
Tabel 2.8 Faktor arah angin, $K_d$ .....	17
Tabel 2.9 Koefisien eksposur tekanan kecepatan, $K_z$ .....	18
Tabel 2.10 Koefisien tekanan dinding, $C_p$ .....	18
Tabel 2.11 Kategori risiko gempa.....	19
Tabel 2.12 Faktor keutamaan gedung .....	20
Tabel 2.13 Klasifikasi Situs .....	21
Tabel 2.14 Koefisien situs ( $F_a$ ) .....	23
Tabel 2.15 Koefisien situs ( $F_v$ ) .....	23
Tabel 2.16 Kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan periode pendek ( $S_{DS}$ ).....	26
Tabel 2.17 Kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ).....	26
Tabel 2.18 Faktor $R_a$ , $\Omega_0^b$ , dan $C_d^c$ untuk sistem pemikul gaya seismik .....	26
Tabel 2.19 Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	30
Tabel 2.20 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung.....	31
Tabel 2.21 faktor reduksi kekuatan $\phi$ .....	33
Tabel 2.22 Tulangan transversal untuk kolom SRPMK .....	44
Tabel 3.1 Tipe struktur <i>tie beam</i> .....	50
Tabel 3.2 Tipe struktur pelat .....	51
Tabel 3.3 Tipe struktur kolom.....	51
Tabel 3.4 Tipe struktur balok .....	51
Tabel 3.5 Mutu beton .....	52
Tabel 3.6 Mutu baja tulangan.....	52
Tabel 4.1 Deskripsi fungsi Gedung Infrastruktur BASICS BRIN Bandung ....	55
Tabel 4.2 Rekapitulasi dimensi balok .....	58
Tabel 4.3 Rekapitulasi dimensi kolom.....	58
Tabel 4.4 Tabel pengecekan hubungan balok-kolom .....	59
Tabel 4.5 Data geometri struktur gedung.....	61
Tabel 4.6 Rekapitulasi beban spesi .....	67
Tabel 4.7 Rekapitulasi beban keramik .....	67
Tabel 4.8 Rekapitulasi beban instalasi ME dan Plumbing.....	68
Tabel 4.9 Rekapitulasi beban Waterproof.....	68
Tabel 4.10 Rekapitulasi beban dinding bata ringan .....	68
Tabel 4.11 Rekapitulasi beban hidup <i>Laboratories, scientific</i> .....	72
Tabel 4.12 Rekapitulasi beban hidup .....	72
Tabel 4.13 Rekapitulasi perhitungan tekanan velositas .....	74
Tabel 4.14 Rekapitulasi perhitungan tekanan angin pada sisi permukaan.....	75

Tabel 4.15 Data hasil uji boring mesin .....	75
Tabel 4.16 Perhitungan nilai dengan metode, ( $N$ ).....	76
Tabel 4.17 Spektrum respons desain.....	79
Tabel 4.18 Rekapitulasi berat sendiri kolom .....	82
Tabel 4.19 Rekapitulasi berat sendiri Balok Arah X .....	83
Tabel 4.20 Rekapitulasi berat sendiri Balok Arah Y .....	83
Tabel 4.21 Rekapitulasi berat sendiri Pelat.....	84
Tabel 4.22 Rekapitulasi beban mati tambahan pelat ( $SIDL$ ).....	91
Tabel 4.23 Kombinasi pembebanan.....	91
Tabel 4.24 Luasan tulangan Minimum, ( $A_s, min$ ).....	94
Tabel 4.25 Luasan tulangan Minimum, ( $A_s, min$ ).....	97
Tabel 4.26 Luasan tulangan Minimum, ( $A_s, min$ ).....	100
Tabel 4.27 Luasan tulangan Minimum, ( $A_s, min$ ).....	104
Tabel 4.28 Rekapitulasi Penulangan pelat ( $S1$ ) 130 mm .....	106
Tabel 4.29 Rekapitulasi Penulangan Balok SRPMK.....	129
Tabel 4.30 Rekapitulasi Aksial – Lentur Kolom C16-2 .....	130
Tabel 4.31 Gaya Geser Kolom C16-2.....	130
Tabel 4.32 Gaya Tekan Terkecil Kolom C16-2.....	130
Tabel 4.33 Rekapitulasi Gaya Aksial kolom C16-3 dan C16-1.....	131
Tabel 4.34 Rekapitulasi Penulangan Kolom SRPMK .....	141
Tabel 4.35 Rekapitulasi Penulangan Balok SRPMM .....	173
Tabel 4.36 Rekapitulasi Aksial – Lentur .....	174
Tabel 4.37 Gaya Geser .....	174
Tabel 4.38 Gaya Tekan Terkecil.....	174
Tabel 4.39 Rekapitulasi Gaya Aksial kolom C16-3 dan C16-1.....	175
Tabel 4.40 Rekapitulasi Penulangan Kolom SRPMM.....	184
Tabel 4.41 Nilai Momen, Beban Aksial, dan Gaya Geser Nominal .....	185
Tabel 4.42 Jumlah tulangan tumpuan balok SRPMK dan SRPMM.....	186
Tabel 4.43 Jumlah tulangan Lapangan balok SRPMK dan SRPMM .....	186
Tabel 4.44 Jumlah tulangan kolom SRPMK dan SRPMM .....	187

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penampang kritis leter T .....	10
Gambar 2.2 Penampang kritis leter L .....	11
Gambar 2.3 Penampang kritis leter X .....	14
Gambar 2.4 Sudut dalam .....	14
Gambar 2.5 Diskontinuitas diafragma .....	14
Gambar 2.6 Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus .....	14
Gambar 2.7 Ketidakberaturan sistem nonparalel .....	14
Gambar 2.8 Ketidakberaturan diskontinuitas bidang elemen vertical .....	14
Gambar 2.9 Parameter gerak tanah $S_s$ gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget ( $MCE_R$ ).....	22
Gambar 2.10 Parameter gerak tanah $S_I$ gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) .....	22
Gambar 2.11 Spektrum respon desain .....	25
Gambar 2.12 Diafragma fleksibel .....	27
Gambar 2.13 Geser desain untuk rangka momen menengah .....	35
Gambar 2.14 Lebar efektif penempatan tulangan di sudut dan tepi .....	36
Gambar 2.15 Penempatan tulangan pada pelat .....	37
Gambar 2.16 Lebar efektif maksimum balok lebar ( <i>wide beam</i> ) dan penyaratan tulangan transversal.....	38
Gambar 2.17 Sengkang Tertutup yang dipasang bertumpuk dan detail batasan maksimum spasi horizontal penumpu batang tulangan utama.....	39
Gambar 2.18 Geser desain untuk balok dan kolom .....	41
Gambar 2.19 Tulangan Transversal pada Kolom .....	44
Gambar 3.1 Lokasi gedung infrastruktur BASICS Bandung .....	46
Gambar 3.2 Denah site plan 3D .....	47
Gambar 3.3 Denah site plan 2D .....	47
Gambar 3.4 Tampak atas struktur gedung 3D .....	48
Gambar 3.5 Tampak depan kiri struktur gedung 3D.....	48
Gambar 3.6 Tampak belakang kanan struktur gedung 3D.....	48
Gambar 3.7 Denah lantai 1.....	49
Gambar 3.8 Denah lantai 2,3 dan 4.....	49
Gambar 3.9 Denah lantai 5.....	49
Gambar 3.10 Denah lantai 6 .....	50
Gambar 3.11 Denah lantai LMR dan Dak .....	50
Gambar 3.12 Bagan alir penelitian.....	53
Gambar 4.1 Potongan HBK leter L, T dan X.....	59
Gambar 4.2 Denah gedung lantai 1 BASICS BRIN Bandung.....	59
Gambar 4.3 Tampak depan kiri gedung BASICS BRIN Bandung.....	60
Gambar 4.4 Ilustrasi sudut dalam gedung.....	61
Gambar 4.5 Denah gedung BASICS BRIN Bandung.....	62
Gambar 4.6 Ilustrasi bukaan lantai pada gedung .....	63
Gambar 4.7 Denah gedung BASICS BRIN Bandung.....	63
Gambar 4.8 Ilustrasi ketidakberaturan pergeseran tegak lurus .....	64
Gambar 4.9 Portal As-C .....	64

Gambar 4.10 Ilustrasi ketidakberaturan sistem nonparallel.....	65
Gambar 4.11 Denah kolom .....	65
Gambar 4.12 Ilustrasi ketidakberaturan vertikal tipe 4.....	66
Gambar 4.13 Portal As-6.....	66
Gambar 4.14 Potongan Tangga.....	69
Gambar 4.15 Potongan melintang retaining wall.....	71
Gambar 4.16 Gambar respon spektrum desain .....	76
Gambar 4.17 Grafik spektrum desain kota Bandung.....	80
Gambar 4.18 Penampang pelat lantai.....	106
Gambar 4.19 Penampang balok SRPMK.....	128
Gambar 4.20 Penampang dan keterangan balok SRPMK .....	128
Gambar 4.21 Penampang kolom SRPMK .....	141
Gambar 4.22 Joint balok kolom .....	142
Gambar 4.23 Penampang HBK.....	152
Gambar 4.24 Penampang Balok SRPMM .....	172
Gambar 4.25 Penampang dan keterangan Balok SRPMM.....	172
Gambar 4.26 Penampang kolom SRPMM.....	184
Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Nilai Momen SRPMK dan SRPMM .....	185
Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Nilai Gaya Geser SRPMK dan SRPMM .....	185
Gambar 4.29 Grafik Perbandingan Jumlah Tulangan Tumpuan Balok.....	186
Gambar 4.30 Grafik Perbandingan Jumlah Tulangan Lapangan Balok .....	187
Gambar 4.31 Grafik Perbandingan Tulangan Kolom SRPMK dan SRPMM.....	187



## DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan
$a$	= tinggi daerah blok tegangan persegi ekuivalen, mm
$A_{ch}$	= luas penampang komponen struktur yang diukur hingga tepi luar tulangan transversal, mm <sup>2</sup>
$A_{cp}$	= luasan yang dibatasi oleh keliling luar beton, mm <sup>2</sup>
$A_g$	= luas bruto penampang beton, mm <sup>2</sup> . Untuk penampang berlubang
$A_h$	= luas total tulangan geser sejajar terhadap tulangan tarik utama dalam korbekel atau braket, mm <sup>2</sup>
$A_j$	= luas penampang efektif pada joint di bidang yang sejajar dengan bidang tulangan yang menyebabkan geser pada sambungan, mm <sup>2</sup>
$A_o$	= luas bruto yang dilingkupi oleh lintasan alir geser, mm <sup>2</sup>
$A_s$	= luas tulangan tarik longitudinal nonprategang pada balok, mm <sup>2</sup>
$A_{s'}$	= luas tulangan tekan balok, mm <sup>2</sup>
$A_{sh}$	= Total luas tulangan transversal antara $s$ dan tegak lurus dimensi $bc$ , mm <sup>2</sup>
$A_{s,min}$	= luas minimum tulangan lentur, mm <sup>2</sup>
$A_{st}$	= luas total tulangan longitudinal nonprategang balok, mm <sup>2</sup>
$A_v$	= luas tulangan geser dalam spasi $s$ , mm <sup>2</sup>
$A_{v,min}$	= luas minimum tulangan geser balok dalam spasi $s$ , mm <sup>2</sup>
$b$	= lebar muka tekan balok, mm
$b_f$	= Lebar sayap efektif penampang T, mm
$b_w$	= lebar badan atau diameter penampang lingkaran, mm
$c$	= jarak dari serat tekan terjauh hingga sumbu netral, mm
$c_c$	= selimut bersih (clear cover) tulangan, mm,
$c_1$	= dimensi kolom persegi yang diukur dalam arah bentang dimana momen ditentukan, mm
$c_2$	= dimensi kolom persegi diukur dalam arah tegak lurus terhadap $c_1$ , mm
$d$	= jarak serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal balok, mm
$d'$	= jarak serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan longitudinal balok, mm
$d_b$	= diameter nominal batang tulangan, mm,

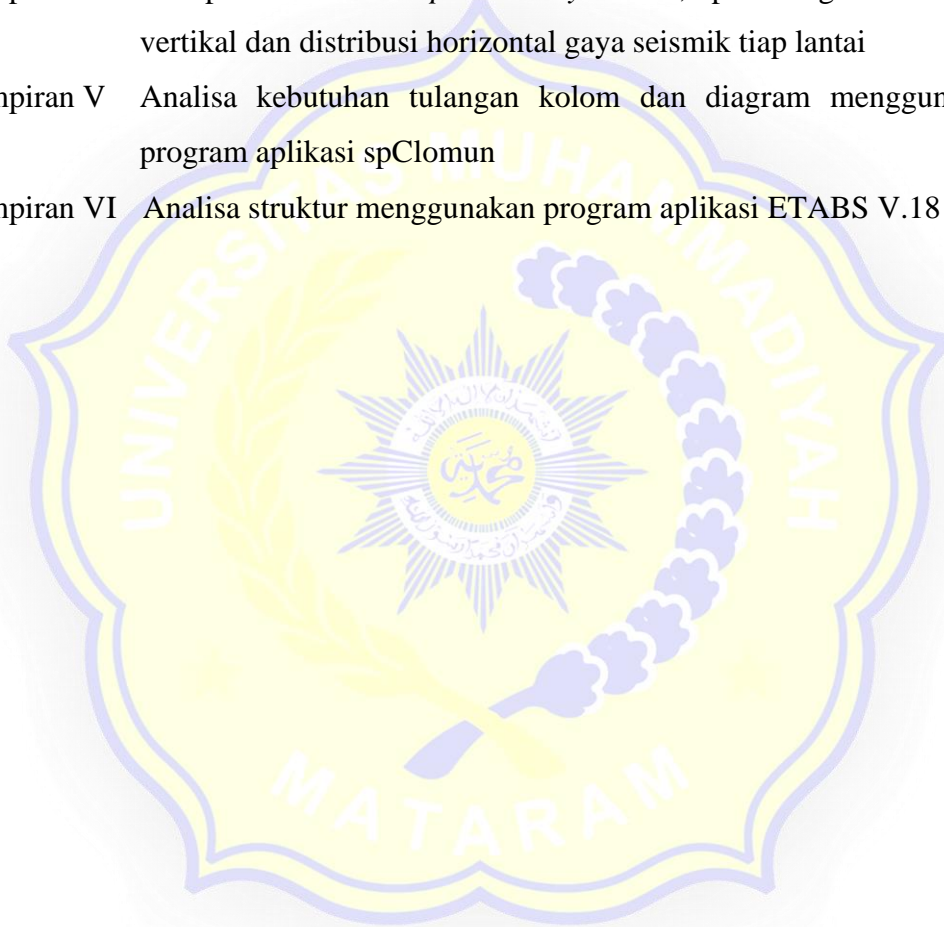
$D$	= pengaruh beban mati layan
$E$	= pengaruh gaya gempa horizontal dan vertical
$f_{c'}$	= kuat tekan beton yang ditentukan, MPa
$f_y$	= kuat leleh tulangan yang ditentukan, MPa
$f_{yt}$	= kuat leleh tulangan transversal yang disyaratkan $f_y$ , MPa
$h$	= tinggi komponen struktur, mm
$I_e$	= momen inersia efektif untuk perhitungan defleksi, mm <sup>4</sup>
$\ell$	= panjang bentang balok, mm
$\ell_{dh}$	= panjang penyaluran tarik, mm
$\ell_{dt}$	= panjang penyaluran tarik yang diukur dari penampang kritis ke muka tumpuan, mm
$\ell_n$	= panjang bentang bersih yang diukur muka hingga muka tumpuan, mm
$\ell_o$	= panjang, yang diukur dari muka HBK sepanjang sumbu komponen struktur, mm
$\ell_u$	= panjang tak tertumpu kolom, mm
$L$	= pengaruh beban hidup layan
$L_r$	= pengaruh beban hidup atap layan
$M$	= momen
$M_{max}$	= momen maksimum terfaktor penampang akibat beban luar, N-mm
$M_n$	= kekuatan lentur nominal pada penampang, N-mm
$M_{nb}$	= kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat bilamana tertarik, yang merangka ke dalam joint, N-mm
$M_{nc}$	= kuat lentur nominal kolom yang merangka ke dalam HBK, N-mm
$M_{pr}$	= Momen ujung-ujung, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan berdasarkan properti komponen struktur pada muka HBK yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar $1,25f_y$ dan faktor reduksi kekuatan $\phi$ sebesar 1,0, N-mm
$M_u$	= momen terfaktor pada penampang, N-mm
$n$	= jumlah batang tulangan
$n_\ell$	= jumlah tulangan longitudinal sekeliling tepi inti kolom dengan sengkang tertutup

- $N_u$  = gaya aksial terfaktor tegak lurus terhadap penampang yang terjadi serentak dengan  $V_u$  atau  $T_u$  ; diambil sebagai positif untuk tekan dan negatif untuk tarik, N
- $P_u$  = gaya aksial terfaktor, N
- $q_u$  = beban terpusat, N/m<sup>2</sup>
- $R$  = reaksi, N
- $s$  = spasi pusat ke pusat suatu benda
- $s_o$  = spasi pusat ke pusat tulangan transversal pada daerah  $l_o$  mm
- $T_u$  = momen torsi pada penampang, N-mm
- $V$  = gaya geser
- $V_c$  = kuat geser nominal yang disediakan oleh beton, N
- $V_e$  = gaya geser desain termasuk pengaruh gempa, N
- $V_n$  = kekuatan geser nominal, N
- $V_s$  = kekuatan geser nominal yang diberikan oleh penulangan geser, N
- $V_u$  = gaya geser terfaktor penampang, N
- $W$  = pengaruh beban angin
- $x$  = dimensi keseluruhan penampang persegi yang lebih pendek, mm
- $y$  = dimensi keseluruhan penampang persegi yang lebih panjang, mm
- $\beta$  = rasio dimensi panjang terhadap pendek pada bentang bersih untuk sisi kolom, pelat dua arah dan beban terpusat
- $\beta_1$  = faktor yang menghubungkan tinggi daerah blok tegangan tekan ekuivalen dengan tinggi sumbu netral
- $\epsilon_t$  = kekuatan nominal regangan tarik netto dalam lapisan terjauh baja tarik longitudinal
- $\lambda$  = faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis dari beton ringan,
- $\rho$  = rasio  $A_s$  terhadap  $bd$
- $\phi$  = faktor reduksi kekuatan,
- $\Omega_o$  = faktor amplifikasi sistem penahan gaya seismik untuk memperhitungkan kekuatan lebih



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran I Desain eksisting Infrastruktur BASICS BRIN Bandung dan data perancangan
- Lampiran II Tabel Momen pelat persegi menumpu keempat sisinya akibat beban terbagi rata (PBI 1971)
- Lampiran III Desain Spektra Indonesia
- Lampiran IV Rekapitulasi desain *preliminary* balok, perhitungan distribusi vertikal dan distribusi horizontal gaya seismik tiap lantai
- Lampiran V Analisa kebutuhan tulangan kolom dan diagram menggunakan program aplikasi spClomun
- Lampiran VI Analisa struktur menggunakan program aplikasi ETABS V.18



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data *worldometers* (2020) Indonesia merupakan negara yang menempati posisi ke-4 sebagai negara dengan populasi penduduk terpadat di dunia. Pesaatnya populasi penduduk di Indonesia menyebabkan kebutuhan akan ruang terus meningkat, sedangkan ketersediaan lahan semakin terbatas dengan kenaikan harga yang tinggi. Pada akhirnya kondisi tersebut mendorong terpilihnya gedung bertingkat tinggi (*high rise building*) guna meminimalisir luas lahan yang digunakan.

Bangunan gedung bertingkat memiliki resiko tinggi terjadinya kegagalan struktur yang diakibatkan oleh bencana alam yaitu gempa bumi. Gempa bumi merupakan getaran yang terjadi pada lapisan permukaan bumi akibat terlepasnya energi dari dalam bumi secara tiba-tiba dan menciptakan gelombang seismik yang disebabkan oleh pergeseran lempeng bumi.

Indonesia secara geografis terletak di kawasan yang rentan terjadi gempa bumi sebab dikelilingi oleh cincin api pasifik (*ring of fire*) yaitu pertemuan 4 lempeng tektonik utama yakni lempeng Indo-Australia, Eurasia, Filipina dan Pasifik. Guna mengurangi resiko akibat bencana gempa tersebut, maka perlu direncanakan struktur bangunan yang baik sehingga kerusakan akibat gempa dapat diminimalisir.

Salah satu faktor yang mempengaruhi durasi layanan bangunan gedung bertingkat adalah kekuatan struktur pada bangunan itu sendiri, dimana faktor tersebut erat kaitannya dengan keamanan dan ketahanan bangunan dalam menahan beban yang bekerja pada struktur. Oleh karena itu dalam perencanaannya harus dilakukan analisa sedemikian rupa sehingga gedung dapat difungsikan dengan nyaman serta aman terhadap penggunaannya.

Berdasarkan SNI 2847:2019 sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah komponen struktur balok, kolom dan hubungan balok-kolom penahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan gaya aksial. sistem rangka pemikul

momen (SRPM) dibagi menjadi 3(tiga), diantaranya adalah sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB) dimana sistem rangka ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya digunakan didaerah dengan resiko gempa yang rendah, sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dimana sistem rangka ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas sedang dan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dimana sistem rangka ini memiliki tingkat daktilitas penuh pada struktur dan wajib dipergunakan pada daerah dengan kategori resiko gempa yang tinggi.

Perencanaan sistem rangka pada bangunan gedung ini menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dan sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM). Hal ini dikarenakan studi kasus pada tugas akhir ini adalah Gedung Infrastruktur *Bandung Advanced Science and Creative Engineering Space* (BASICS) Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Bandung yang terletak di Kota Bandung yang merupakan gedung dengan struktur beraturan serta termasuk dalam kategori zonasi gempa 4 menurut peta wilayah gempa Indonesia. Gedung tersebut terdiri dari 6 lantai dengan elevasi tertingginya mencapai 28 m yang diperuntukkan sebagai gedung perkantoran dan laboratorium penelitian.

Pada penulisannya perhitungan beban gempa yang bekerja pada tugas akhir ini dihitung dengan metode analisis statik ekuivalen dan respon spektrum desain yang mengacu pada SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa, SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan SNI 1727:2020 untuk beban desain minimum, analisa struktur gedung pada penelitian ini menggunakan bantuan progam komputer ETABS V.18.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana faktor reduksi ( $R$ ) besaran beban gempa pada metode SRPMK dan SRPMM?

2. Bagaimana perbedaan statika pada perencanaan struktur gedung menggunakan SRPMK dan SRPMM?
3. Berapakah kebutuhan tulangan elemen struktur sehingga dapat memikul beban seismik gempa rencana dengan SRPMK dan SRPMM?
4. Bagaimana hasil perancangan struktur Gedung Infrastruktur BASICS BRIN Bandung?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan topik masalah di atas, adapun tujuan yang ingin dicapai pada penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

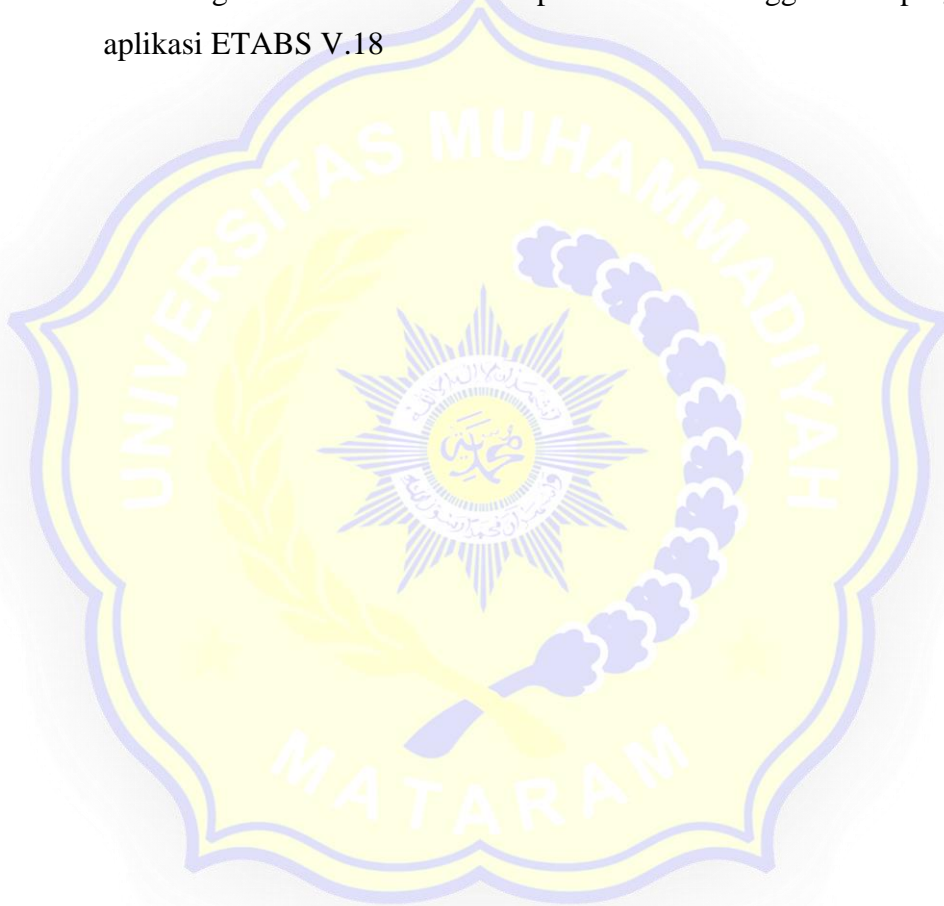
1. Mengetahui faktor reduksi ( $R$ ) besaran beban gempa pada metode SRPMK dan SRPMM?
2. Mengetahui perbedaan statika pada perencanaan struktur gedung menggunakan SRPMK dan SRPMM?
3. Mengetahui kebutuhan tulangan elemen struktur sehingga dapat memikul beban seismik gempa rencana dengan SRPMK dan SRPMM?
4. Mengetahui hasil perancangan struktur Gedung Infrastruktur BASICS BRIN Bandung?

### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Struktur bangunan gedung yang direncanakan merupakan Gedung Infrastruktur BASICS Bandung Tower 2, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat Indonesia.
2. Penelitian mengacu pada SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa, SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan SNI 1727:2020 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan gedung lain
3. Penelitian ini berfokus untuk mengetahui faktor reduksi ( $R$ ) besaran beban gempa, perbedaan statika serta kebutuhan tulangan pelat lantai, balok dan kolom.

4. Penelitian ini tidak memperhitungkan sistem pelengkap seperti instalasi pembuangan, saluran air bersih, sistem utilitas bangunan serta instalasi listrik.
5. Penelitian ini tidak meninjau rencana anggaran biaya pelaksanaan, waktu pekerjaan, elektrikal dan arsitektural.
6. Perhitungan penulangan awal kolom menggunakan program aplikasi spColumn.
7. Perhitungan analisa struktur dan pembebanan menggunakan program aplikasi ETABS V.18



## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Islami (2021) melakukan penelitian pada gedung Hotel golden tulip mataram diperoleh kesimpulan gaya gempa yang bekerja pada struktur bangunan model SRPMK lebih kecil dibandingkan dengan bangunan model SRPMM. Karena struktur bangunan SRPMK direncanakan dengan faktor reduksi gempa yang lebih besar, yaitu  $R= 8,5$ , sedangkan untuk SRPMM direncanakan dengan faktor reduksi yang lebih kecil yaitu  $R= 5,5$ . Pada grafik perbandingan nilai momen SRPMK dan SRPMM diperoleh hasil nilai SRPMM lebih besar daripada SRPMK. Sedangkan pada grafik perbandingan gaya geser nilai SRPMK lebih besar daripada SRPMM. Pada grafik perbandingan jumlah tulangan balok SRPMK dan SRPMM tulangan SRPMM lebih banyak daripada SRPMK, sedangkan pada grafik perbandingan jumlah tulangan kolom SRPMK dan SRPMM jumlah tulangan SRPMM lebih banyak daripada SRPMK.

Alimufid & Santoso, (2021) melakukan penelitian pada gedung Tpycal depok dan didapatkan kesimpulan beban gempa yang terjadi pada struktur dengan sistem SRPMM lebih besar dibandingkan struktur dengan sistem SRPMK. Hal ini dikarenakan struktur dengan sistem SRPMM memiliki faktor reduksi gempa yang lebih kecil yaitu sebesar  $R= 5$ , sedangkan sistem SRPMK memiliki faktor reduksi gempa sebesar  $R= 8$ . Maka struktur dengan sistem SRPMM memiliki faktor skala yang lebih besar. Pada perencanaan ini, model struktur dengan sistem rangka pemikul momen menengah mendapatkan hasil yang lebih efisien dibandingkan model struktur dengan sistem rangka pemikul momen khusus.

Amdhani (2012) melakukan penelitian pada gedung Rusunawa 2 twin blok pringwulung sleman yogyakarta dan diperoleh kesimpulan gaya gempa yang bekerja pada struktur bangunan model SRPMK lebih kecil dibandingkan dengan bangunan model SRPMM yaitu sebesar 4,6%. Struktur bangunan

model SRPMK direncanakan dengan faktor reduksi gempa yang lebih besar, yaitu  $R= 8,5$ , sedangkan untuk SRPMM direncanakan dengan faktor reduksi gempa yang lebih kecil, yaitu  $R= 5,5$ . Pada tabel momen, beban aksial dan gaya geser nominal (kN/m) diperoleh nilai SRPMM lebih besar daripada SRPMK.

## 2.2 Umum

Analisa struktur merupakan bagian yang sangat penting dalam merencanakan suatu gedung bertingkat tinggi. Kesalahan dalam perhitungan struktur dapat mengakibatkan kegagalan struktur pada bangunan tersebut. Oleh karena itu perhitungan struktur bangunan tahan gempa diperlukan standar dan peraturan perencanaan bangunan untuk menjamin keselamatan penghuninya, dimana struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup guna mencegah terjadinya kegagalan struktur yang mengakibatkan runtuhnya sebuah bangunan.

Pada analisa struktur umumnya terdapat tiga metode yang diaplikasikan dalam analisa perhitungan beban gempa. Adapun metode yang dimaksudkan adalah metode analisis ragam respons spektrum (*response spectrum analysis*), metode analisis respon riwayat waktu (*time histories analysis*) dan metode statik ekivalen (*static equivalen*). Analisis spektrum respons adalah metode analisis dinamik struktural di mana model matematika struktur diterapkan pada spektrum respons seismik yang diusulkan dan, berdasarkan ini, respons spektral terhadap gempa yang diusulkan ditentukan dengan melapiskan respons dari masing-masing jenis ragamnya. Sedangkan analisis respons dinamik riwayat waktu adalah suatu cara analisis dimana model matematik dari struktur dikenakan riwayat waktu dari gempa-gempa hasil pencatatan atau dari gempagempa tiruan, untuk menentukan riwayat waktu dari respons struktur. Sedangkan analisis statik ekivalen adalah suatu metode analisis struktur pada bangunan gedung dengan menggunakan beban gempa nominal statik ekivalen terhadap pembebanan gempa.

Pada penelitian ini menggunakan metode statik ekivalen (*static equivalen*) ragam respons spektrum (*response spectrum analysis*), mengingat gedung yang ditinjau memiliki jumlah 6 lantai dan elevasi tertinggi 28 m yang berarti

tergolong gedung bertingkat sedang. Metode analisis ekuivalen statis hanya diperbolehkan untuk bangunan gedung horizontal dan vertikal biasa (SNI 1726:2019). Sedangkan ragam respons spektrum tidak dibatasi untuk struktur bangunan gedung apapun. Ciri-ciri bangunan standar antara lain tinggi maksimum 40 m atau 10 lantai, diukur dari tingkat keterikatan lateral. Gaya gempa rencana untuk bangunan dengan tinggi lebih dari 40 m atau 10 lantai harus dihitung dengan analisis dinamik (SNI 1726:2019).

### 2.3 Desain Preliminary Struktur

Desain *Preliminary* Struktur merupakan tahapan analisa untuk memperkirakan dimensi-dimensi struktur awal yang selanjutnya akan dilakukan perhitungan guna memperoleh dimensi yang optimal sehingga mampu menahan elemen beban yang bekerja pada struktur bangunan gedung.

#### 2.3.1 Desain Preliminary Balok

Balok dapat merupakan elemen struktural yang berfungsi untuk mendistribusikan beban ke kolom dengan bentang yang arahnya horizontal, dimana beban yang biasanya bekerja pada balok adalah beban lentur, beban geser dan momen punter, sehingga diperlukan baja tulangan untuk menahan beban tersebut, seperti tulangan memanjang dan tulangan geser guna menahan beban lentur serta beban geser.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.3 dalam perencanaan balok terdapat syarat untuk tebal minimum balok nonprategang yang disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tinggi minimum balok nonprategang

Kondisi Perletakan	Minimum
Perletakan sederhana	$\ell/16$
Menerus satu sisi	$\ell/18,5$
Menerus dua sisi	$\ell/21$
Kantilever	$\ell/8$
Dimana: ( $\ell$ ) = bentang bersih balok	

Sumber : SNI 2847:2019 Pasal 9.3.1.1

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1 kontrol dimensi balok harus memenuhi persamaan 2.1-2.3.

$$\text{Panjang bersih balok} > 4.h \dots\dots\dots(2.1)$$

$$b > 0,3 \text{ sisi kolom} \dots\dots\dots(2.2)$$



$$b > 250 \text{ mm} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

$b$  = Lebar balok

$h$  = Tinggi balok

### 2.3.2 Desain Preliminary Kolom

Aldo (2021) Kolom pada suatu konstruksi merupakan struktur yang mendukung beban aksial dengan/tanpa momen lentur, dimana nantinya kolom akan meneruskan beban yang diakibatkan oleh balok dan pelat menuju pondasi. Rumus yang digunakan untuk menghitung desain awal kolom dijabarkan pada Persamaan 2.4 dan Persamaan 2.5.

$$b \text{ kolom} = b \text{ balok melintang} + 100 \dots \dots \dots (2.4)$$

$$h \text{ kolom} = b \text{ kolom} \times \frac{\frac{p \text{ total bangunan}}{\text{jumlah pias}} \cdot n \text{ melintang}}{\frac{L \text{ total bangunan}}{\text{jumlah pias}} \cdot n \text{ memanjang}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

$b$  = Lebar elemen struktur

$h$  = Tinggi elemen struktur

$p$  = Panjang bangunan

$L$  = Lebar bangunan

$n$  = Jumlah pias

### 2.3.3 Desain Preliminary Pelat

Menurut Kamila I, (2022) Pada konstruksi beton bertulang, pelat adalah elemen struktural yang membentuk permukaan datar secara horizontal dan diaplikasikan pada lantai dan atap dak. Pelat beton adalah elemen bidang yang memiliki ketebalan lebih kecil dari balok, hal ini dikarenakan pelat hanya menahan beban mati dan hidup. ketebalan dari pelat biasanya 12 cm hingga 15 cm tergantung beban yang dipikul. Karena berada pada lantai maka, elemen ini perlu didukung oleh rangka balok dan kolom untuk memikulnya. Biasanya, struktur balok dan pelat dicor secara bersamaan, hal ini bertujuan untuk menghasilkan satu kesatuan struktur yang monolit, sehingga bisa di asumsikan sebagai diafragma.

### 2.3.4 Pelat dua arah

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.3 Pada dasarnya pelat dua arah digunakan apabila pelat beton menahan momen lentur yang bekerja dua arah, dimana pelat ini ditumpu pada keempat sisinya. Hal ini dikarenakan momen lentur bekerja dalam dua arah yaitu bentang  $L_x$  dan bentang  $L_y$ , sehingga tulangan utama juga dipasang dalam dua arah tegak lurus. Pada sistem penulangannya daerah lapangan hanya menggunakan tulangan pokok saja, sedangkan daerah tumpuan menggunakan tulangan pokok dan tulangan bagi. Ketebalan minimum pelat dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang

fy , MPa	Tanpa drop panel		
	Tanpa drop panel		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
280	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$

Sumber : SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.1

$\ell_n$  = Adalah jarak bersih ke arah memanjang, dari muka ke muka tumpuan

Batasan tebal minimum pelat pada Tabel 2.2 di atas adalah sebagai berikut.

- Pelat tanpa drop panel 125 mm
- Pelat dengan drop panel 100 mm

Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya diatur pada SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2.

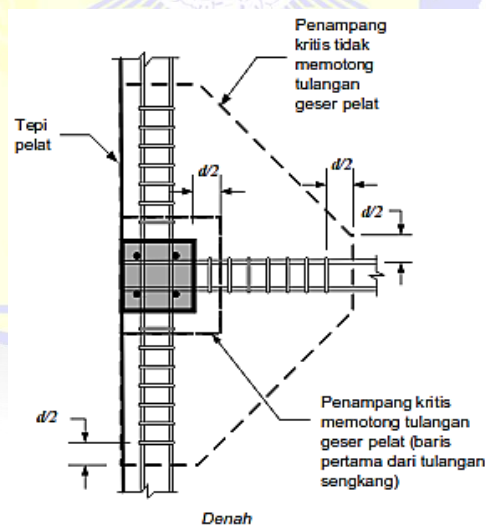
### 2.3.5 Pelat tangga

Tangga pada bangunan difungsikan sebagai penghubung antara dua tempat yang memiliki perbedaan ketinggian. Umumnya kemiringan tangga pada perumahan dan bangunan gedung sebesar  $30^\circ$  hingga  $35^\circ$ . Pada suatu bangunan ukuran lebar tangga biasanya berbeda, hal ini dipengaruhi oleh fungsi bangunan yang akan didirikan. Selain itu, komponen pada tangga seperti pelat tangga, bordes, anak tangga dan sandaran juga perlu dirancang sedemikian rupa guna memenuhi kenyamanan dan keamanan penggunaannya.

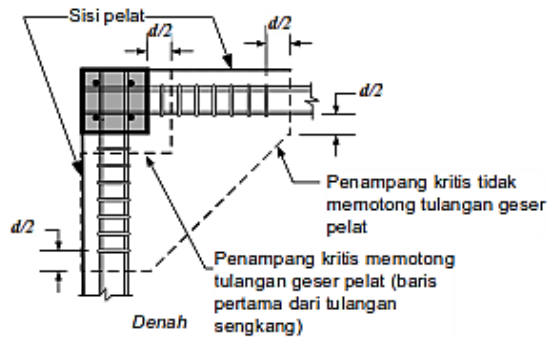
### 2.3.6 Hubungan Balok dan Kolom (HBK)

Berdasarkan SNI 2847:2019 Akibat perpindahan bolak-balik di dalam rentang nonlinear, perilaku komponen struktur kontinu yang memiliki rasio panjang terhadap tinggi kurang dari 4 berbeda secara signifikan dari perilaku komponen struktur yang relatif ramping. Aturan desain yang berasal dari pengalaman dengan komponen struktur yang relatif ramping tidak berlaku secara langsung untuk komponen struktur dengan rasio panjang terhadap tinggi kurang dari 4, terutama berhubungan dengan kekuatan geser. Maka proyeksi lebar balok yang merentang lebar kolom penyangga tidak boleh melebihi nilai terkecil  $c_2$  dan  $0,75c_1$  pada kedua sisi penyangga. Sebagai gantinya, dalam sebuah kolom, dimensi penampang terkecil yang diukur dalam garis lurus melalui pusat geometri setidaknya 300 mm dan rasio dimensi penampang terkecil dengan dimensi vertikal setidaknya 0,4.

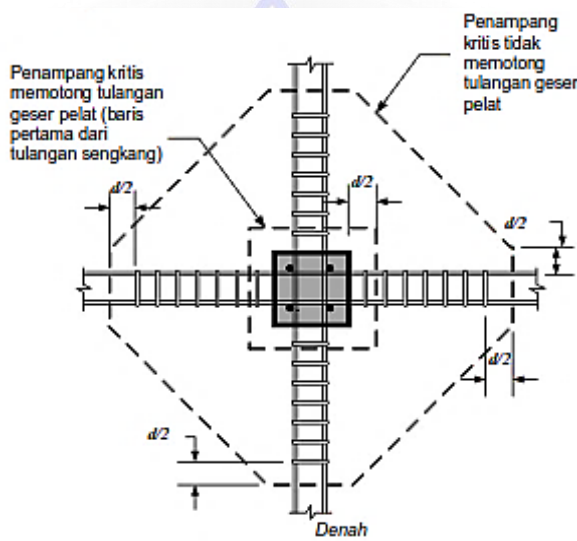
Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal R22.6.4.2 komponen dua arah dengan tulangan geser diharuskan memeriksa tegangan geser pada penampang kritis yang ditempatkan di luar titik dimana tulangan geser diskontinu. Komponen dua arah tulangan geser yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 2.1-2.3.



Gambar 2.1 Penampang kritis leter T  
Sumber: SNI 2847:2019 Gambar R22.6.4.2b



Gambar 2.2 Penampang kritis leter L  
 Sumber: SNI 2847:2019 Gambar R22.6.4.2c



Gambar 2.3 Penampang kritis leter X  
 Sumber: SNI 2847:2019 Gambar R22.6.4.2a

### 2.3.7 Ketidakberaturan Struktur

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.3.4 Struktur dengan kategori desain seismik D, E, atau F dan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal atau ketidakberaturan vertikal. Gaya desain yang ditentukan harus ditingkatkan 25% untuk elemen-elemen sistem pemikul gaya seismik di bawah ini:

1. Sambungan antar diafragma dengan kolom dan dengan balok.
2. Elemen balok dan sambungannya, termasuk sambungan-sambungan ke kolom dari sistem pemikul gaya seismik.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Ketidakberaturan horizontal pada struktur dipersyaratkan memenuhi persyaratan yang disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ketidakberaturan horizontal pada struktur

Tipe dan penjelasan ketidakberaturan		Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$ , di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur.	7.8.4.3 Tabel 16	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F
1b	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$ , di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku	7.8.4.3 Tabel 16	E dan F D B, C, dan D
2	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F
3	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F
4	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F
5	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 16	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F

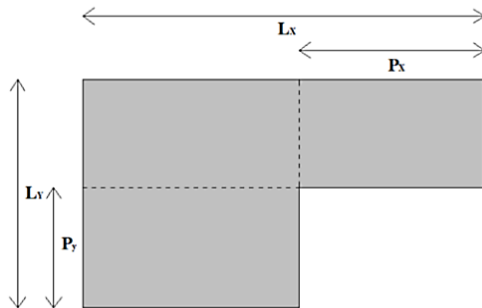
Sumber : SNI 1726:2019 Tabel 13

Tabel 2.4 Ketidakberaturan vertikal pada struktur

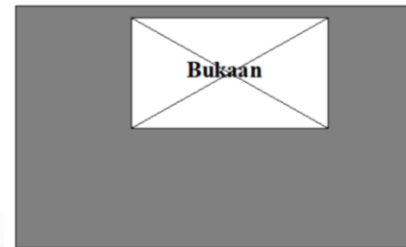
Tipe dan penjelasan ketidakberaturan		Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan 13d ajika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan 13d ajika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.8.4.3 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F
3	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F
4	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F
5a	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F B dan C

Sumber : SNI 1726:2019 Tabel 14

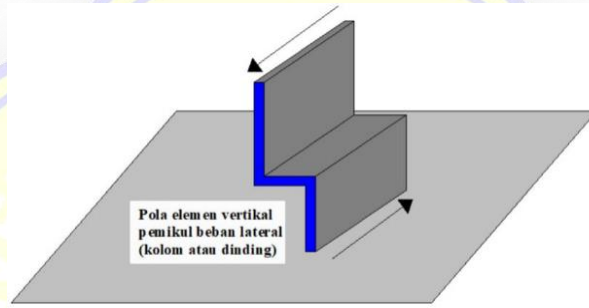
Berdasarkan SNI 1726:2019 Ketidakberaturan gedung dan struktur gedung dapat dilihat pada gambar 2.4-2.8.



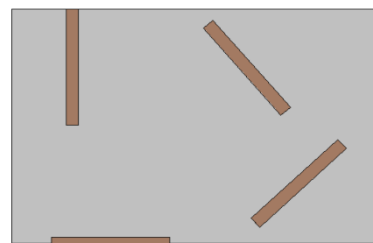
Gambar 2.4 Sudut dalam  
Sumber: SNI 1726:2019 Pasal 7.3.3.4



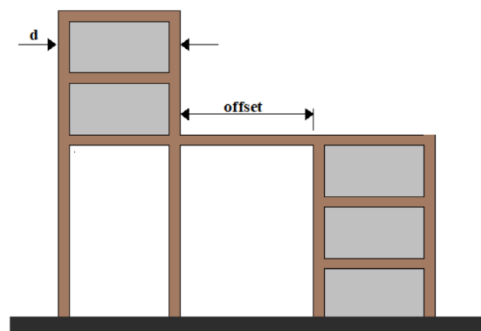
Gambar 2.5 Diskontinuitas diafragma  
Sumber: SNI 1726:2019 Pasal 7.3.3.4



Gambar 2.6 Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus  
Sumber: SNI 1726:2019 Pasal 7.3.3.4



Gambar 2.7 Ketidakberaturan sistem nonparallel  
Sumber: SNI 1726:2019 Pasal 7.3.3.4



Gambar 2.8 Ketidakberaturan diskontinuitas bidang elemen vertikal  
Sumber: SNI 1726:2019 Pasal 7.3.3.4

## 2.4 Pembebanan Struktur

Berdasarkan SNI 1727:2020 Tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung, beban-beban yang bekerja pada struktur gedung adalah sebagai berikut:

### 2.4.1 Beban mati (*DL*)

Beban mati (*dead load*) adalah berat seluruh bahan bangunan gedung yang terpasang, termasuk plafon, lantai dan dinding. Kategori beban mati adalah elemen tambahan yang tidak dapat dipisahkan dari bangunan. Beban mati desain minimum disajikan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Beban mati desain minimum

Material	Berat volume	
	kN/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Beton (tidak bertulang)	22	2200
Beton bertulang	24	2400
Baja	78,5	7850

Sumber: SNI 1727:2020 Tabel C3.1-1

### 2.4.2 Beban mati tambahan (*SIDL*)

Beban mati tambahan atau super imposed dead load adalah berat komponen non struktural yang terdapat pada struktur bangunan. Untuk berat mati tambahan bisa di lihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Rekap beban mati tambahan (*SIDL*)

Komponen Bangunan		Berat Luasan	
		kN/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>
Atap			
1	Dek Beton (screed)	22	2200
2	Plafon, ceiling, langit-langit	1	100
Finising lantai			
3	Keramik	2,1	210
4	Spesi	2	200
Dinding			
5	Pasangan bata merah satu batu	4.5	450
6	Pasangan bata merah setengah batu	2.5	250
7	Batako berlubang, t 10 cm	1.2	120
8	Batako tanpa lubang, t 15 cm	3	300
9	Hebel 10 cm + render	1	100
10	Celcon 10 cm + render	1.5	150

Sumber: SNI 1727:2020 Tabel C3.1-2, SKBI PPURG: 1987



Penelitian ini terdapat akses lift dimana lift adalah transportasi vertikal pada gedung yang berfungsi untuk mengangkut orang atau barang. Lift umumnya digunakan pada gedung-gedung bertingkat banyak yang biasanya lebih dari tiga atau empat lantai. Bangunan yang lebih rendah biasanya hanya menggunakan tangga atau eskalator.

### 2.4.3 Beban hidup (*LL*)

Beban hidup (*live load*) adalah jenis beban yang diakibatkan oleh penggunaan gedung dalam masa layannya. Perbedaan mendasar antara beban hidup dan mati adalah sifat beban hidup tidak permanen pada bangunan. Artinya, besaran beban hidup selalu berubah-ubah, tergantung pada fungsi bangunan. Beban hidup minimum terdistribusi disajikan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Beban hidup minimum terdistribusi

Fungsi bangunan	Beban Terdistribusi	
	Lb/ft <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Rumah kaca	150	7,18
Laboratorium	100	4,79
Ruang siding	50-100	2,4-4,79
Dapur (selain rumah tangga)	150	7,18
Ruang proyeksi	100	4,79
Ruang toilet	60	2,87
Ruang mesin	200	9,58

Sumber: SNI 1727:2020 Tabel C4.3-1, SKBI PPURG: 1987

### 2.4.4 Beban Angin (*W*)

Berdasarkan SNI 1727:2020 bangunan gedung dari semua ketinggian di mana perlu untuk memisahkan beban angin yang diterapkan ke dinding di sisi angin datang, di sisi angin pergi, dan sisi bangunan gedung untuk memperhitungkan gaya-gaya internal dalam komponen struktur SPGAU serta diterapkan pada kelas bangunan khusus yang dikategorikan sebagai bangunan gedung berdiafragma sederhana tertutup dengan tinggi gedung ( $h$ )  $\leq$  160 ft (48,8 m). Apabila kecepatan angin dasar diperoleh dari data iklim regional atau simulasi, maka hasil estimasinya harus dapat disesuaikan dengan interval ulang rata-rata dan disetarakan dengan kecepatan hembusan angin 3 detik pada 33 ft (10 m) di atas tanah. Faktor arah angin ( $K_d$ ) disajikan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Faktor arah angin,  $K_d$

Type Struktur	Faktor arah angin $K_d$
Bangunan gedung	
• Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
• Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap lengkung	0,85
Rangka batang Menara	
• Segitiga, persegi, atau persegi Panjang	0,85
• Semua penampang lainnya	0,95

Sumber SNI 1727:2020 Tabel 26.6-1

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.7.3 Bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1m), Eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B yang berlaku melawan arah angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 ft (457m). Sedangkan untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1m), Eksposur B berlaku apabila Kekasaran Permukaan B berada dalam arah yang melawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali dari tinggi bangunan atau struktur, dan pilih yang terbesar.

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.8.2 Faktor topografi ( $K_{zt}$ ) untuk struktur bangunan gedung adalah 1(satu). Sedangkan untuk Faktor efek hembusan angin ( $G$ ) pada suatu gedung yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.10.1 Koefisien eksposur tekanan kecepatan ( $K_z$ ) harus ditentukan dari Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Koefisien eksposur tekanan kecepatan,  $K_z$

Ketinggian di atas permukaan tanah		Eksposur		
ft	m	B	C	D
0-15	0-4,6	0,57 (0,70) <sup>a</sup>	0,85	1,03
20	6,1	0,62 (0,70) <sup>a</sup>	0,90	1,08
25	7,6	0,66 (0,70) <sup>a</sup>	0,94	1,12
30	9,1	0,70	0,98	1,16
40	12,2	0,76	1,04	1,12

Sumber SNI 1727:2020 Tabel 26.10-1

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 27.3.5 Kasus beban angin desain pada bangunan gedung dari semua ketinggian, yang beban anginnya telah ditentukan

berdasarkan ketentuan Pasal ini, harus didesain untuk kasus beban angin seperti ditetapkan dalam Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Koefisien tekanan dinding,  $C_p$

Permukaan	$C_p$
Dinding di sisi angin datang	0,8
Dinding di sisi angin pergi	0,3
Dinding tepi	0,7

Sumber SNI 1727:2020 Gambar 27.3-1

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.10.2 Tekanan kecepatan  $q_z$  yang dievaluasi pada ketinggian  $z$  di atas tanah dihitung dengan Persamaan 2.6.

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \text{ (N/m}^2\text{)}; V \text{ dalam m/s} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

$K_z$  = koefisien eksposur tekanan kecepatan

$K_{zt}$  = faktor topografi

$K_d$  = faktor arah angin

$K_e$  = faktor elevasi permukaan tanah

$V$  = kecepatan angin dasar

$q_z$  = tekanan kecepatan pada ketinggian  $z$

Berdasarkan SNI 1727:2020 Perhitungan tekanan angin diperoleh menggunakan Persamaan 2.7.

$$P = q \times G \times C_p \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

$q$  = Tekanan kecepatan pada ketinggian  $z$

$G$  = Faktor efek hembusan angin

$C_p$  = Koefisien tekanan dinding

$P$  = Tekanan angin

Berdasarkan Sunggono (1984) Perhitungan tekanan angin harus dihitung dengan persamaan 2.8.

$$P = V^2/16 \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

$V$  = Kecepatan angin dasar

$P$  = Tekanan angin

#### 2.4.5 Beban gempa (*E*)

Beban gempa adalah beban yang diakibatkan oleh pergerakan tanah baik secara vertikal maupun horizontal akibat gempa. Peraturan terkait perencanaan beban gempa di atur dalam SNI 1726:2019 Pasal 4.1.

1. Beban gempa rencana

Berdasarkan SNI 03-1726:2019 gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dimana besarnya diambil selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

2. Faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan gedung

Berdasarkan SNI 03-1726:2019 kategori risiko struktur bangunan gedung dalam pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  menurut Tabel 2.12 Kategori risiko gempa dan Faktor keutamaan gedung disajikan pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Kategori risiko gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"><li>– Fasilitas pertanian, dan perikanan</li><li>– Fasilitas perkebunan</li><li>– Gudang penyimpanan</li></ul>	I
Struktur gedung dan struktur lainnya kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"><li>– Rumah toko dan rumah kantor, Pasar</li><li>– Gedung apartemen, Gedung perkantoran</li></ul>	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"><li>– Gedung pertemuan</li><li>– Stadion</li><li>– Penjara</li></ul>	III
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: <ul style="list-style-type: none"><li>– Pusat pembangkit listrik biasa</li><li>– Fasilitas penanganan air</li><li>– Fasilitas penanganan limbah</li></ul>	III

Tabel 2.11 (Lanjutan)	
Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, akan tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, atau bahan yang mudah untuk meledak) serta mengandung bahan beracun dan atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang	III
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, tetapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bangunan-bangunan monumental</li> <li>– Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan</li> <li>– Rumah ibadah</li> <li>– Rumah sakit</li> <li>– Fasilitas pemadam kebakaran, dan kantor polisi</li> <li>– Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> </ul> Gedung dan nongedung yang berfungsi sebagai struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 3

Tabel 2.12 Faktor keutamaan gedung

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 4

#### 2.4.6 Klasifikasi situs

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 5.1 Apabila tidak tersedia data tanah sampai pada kedalaman 30 m, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah harus diklasifikasikan sesuai dengan Lampiran 2, berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs SA dan kelas situs SB tidak diperbolehkan apabila lapisan tanah antara rakit fondasi dan permukaan batuan dasar terdapat lebih dari 3 m. Klasifikasi situs disajikan pada Tabel 2.13.

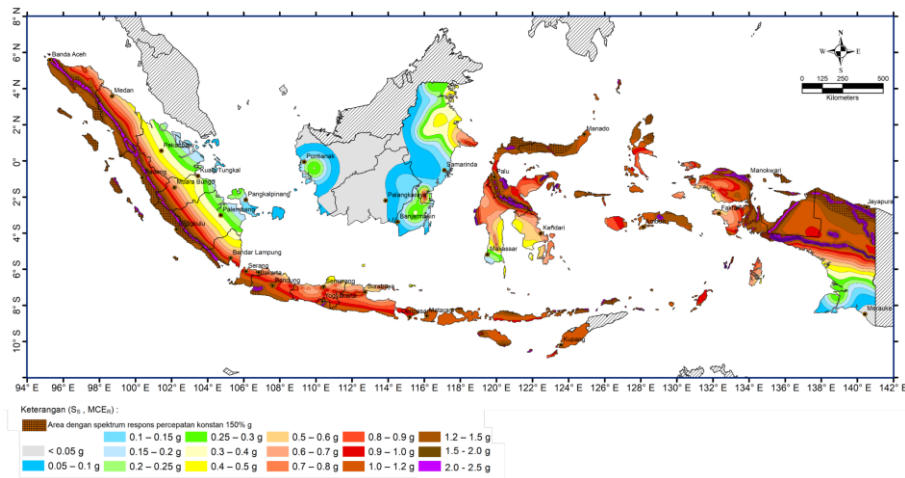
Tabel 2.13 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$V_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{ch}$	$S_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750-1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350-750	>50	
SD (tanah sedang)	175-350	15-50	50-100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math></li> <li>- Kadar air, <math>w &gt; 40\%</math>, Kuat geser niralir <math>S_u &lt; 25</math> kPa</li> </ul>		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti SNI 1726:2019 pasal 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math>m)</li> <li>- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5</math> m dengan indeks plasitistas <math>PI &gt; 75</math>)</li> </ul> Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		
Catatan: N/A tidak dipakai			

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 5

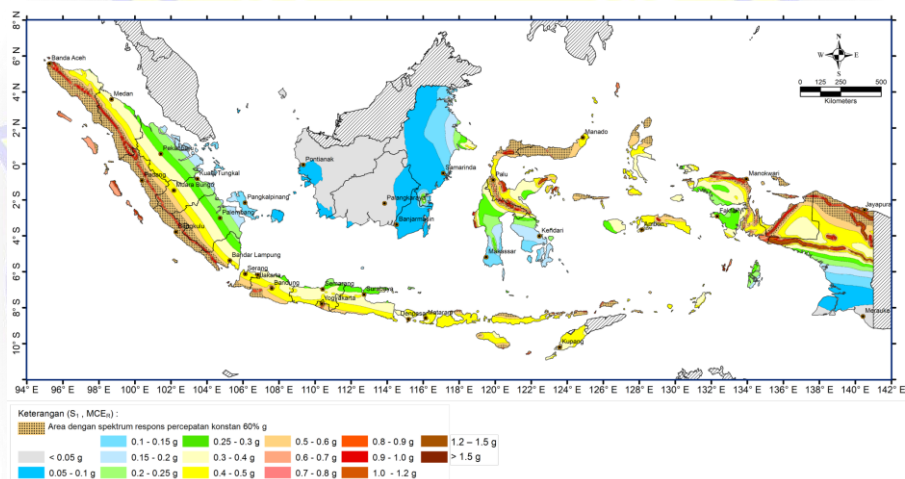
#### 2.4.7 Parameter percepatan gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.1 Parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek ( $S_s$ ) dan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik ( $S_I$ ) harus ditetapkan pada masing-masing dari respons spektrum percepatan 0,2 detik dan 1 detik pada peta gerak tanah seismik dimana kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun ( $MCE_R$  2% dalam 50 tahun) serta dinyatakan dalam bentuk bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila  $S_I \leq 0,04$  g dan  $S_s \leq 0,15$  g, struktur diperbolehkan untuk dimasukkan kedalam kategori desain seismik A. Peta gempa Indonesia dapat dilihat pada gambar 2.9 dan 2.10.



Gambar 2.9 Parameter gerak tanah  $S_s$  gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget ( $MCE_R$ )

Sumber: SNI 2847:2019 Gambar 15



Gambar 2.10 Parameter gerak tanah  $S_I$  gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ )

Sumber: SNI 2847:2019 Gambar 16

#### 2.4.8 Menentukan koefisien situs dan parameter respons spektrum ( $MCE_R$ )

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.2 Penentuan respons spektrum percepatan gempa ( $MCE_R$ ) pada permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi tersebut meliputi faktor amplifikasi getaran dimana percepatan getaran pada periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter respons spektrum percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) disesuaikan dengan

pengaruh klasifikasi situs. Koefisien situs ( $F_a$ ) dan Koefisien situs ( $F_v$ ) disajikan pada Tabel 2.14 dan 2.15

Tabel 2.14 Koefisien situs ( $F_a$ )

Kelas situs	Parameter respons spektrum percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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	1
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber SNI 1726:2019 Tabel 6

Tabel 2.15 Koefisien situs ( $F_v$ )

Kelas situs	Parameter respons spektrum percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 1$ detik ( $S_I$ )					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
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	$SS^{(a)}$					

Sumber SNI 1726:2019 Tabel 7

Berdasarkan nilai  $F_a$  dan  $F_v$  dari tabel di atas, maka bisa ditetapkan nilai parameter respon percepatan spektrum dengan Persamaan 2.9 dan 2.10.

$$S_{MS} = F_a S_s \dots \dots \dots (2.9)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

$S_s = MCE_R$  untuk periode pendek 0,2 detik

$S_I = MCE_R$  untuk periode 1,0 detik

#### 2.4.9 Parameter percepatan respons spektrum desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.3 parameter percepatan spektrum desain untuk periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan pada periode 1 detik ( $S_{DI}$ ), ditentukan dengan Persamaan 2.11 dan 2.12.



$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{ms} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{m1} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

$S_{DS}$  = parameter percepatan respon spektrum pada periode pendek, redaman 5%

$S_{D1}$  = parameter percepatan respon spektrum pada periode 1 detik, redaman 5%

#### 2.4.10 Spektrum respons desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.4 Apabila 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 pada Gambar 2.11 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

- a. Periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$ , harus diambil dari Persamaan 2.13.

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots \dots \dots (2.13)$$

- b. Periode lebih besar dari  $T_0$  dan lebih kecil dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ .
- c. Periode lebih besar dari  $T_s$  tetapi lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$ , respons spektrum percepatan desain  $S_a$ , diambil berdasarkan Persamaan 2.14.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots \dots \dots (2.14)$$

- d. Periode lebih besar dari  $T_L$ , respons spektrum percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil berdasarkan Persamaan 2.15.

$$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana:

$S_{DS}$  = parameter spektrum percepatan desain pada periode pendek

$S_{D1}$  = parameter spektrum percepatan desain pada periode 1 detik

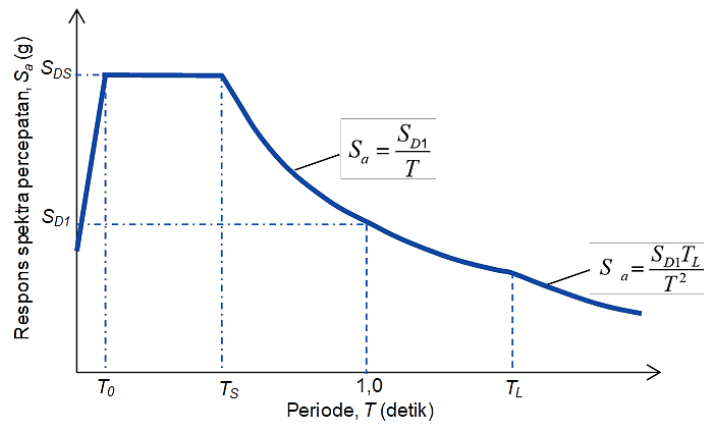
$T$  = periode getar fundamental struktur.

Dimana, nilai  $T_0$   $T_s$  diperoleh dari Persamaan 2.16 dan 2.17.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{d1}}{S_{ds}} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$T_s = \frac{S_{d1}}{S_{ds}} \dots \dots \dots (2.17)$$

$T_L$  = Peta transisi pada periode panjang dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Spektrum respon desain

Sumber: SNI 1726:2019

#### 2.4.11 Kategori desain seismik (KDS)

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.5 Setiap struktur ditetapkan ke dalam kategori desain seismiknya (KDS). KDS pada kelas situs ditetapkan berdasarkan A hingga F. Struktur dengan resiko seismik terendah diklasifikasikan sebagai KDS A, dan resiko seismik tinggi diklasifikasikan sebagai KDS F. Tabel 2.16 dan 2.17 ditunjukkan KDS nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ .

Tabel 2.16 Kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan periode pendek ( $S_{DS}$ ).

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

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 8

Tabel 2.17 Kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan periode 1 detik ( $S_{D1}$ )

Nilai $S_{D1}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,167 < S_{D1} < 0,33$	B	C
$0,33 < S_{D1} < 0,50$	C	D
$0,50 < S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 9

### 2.4.12 Koefisien Modifikasi Respon

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2 Sistem penahan gaya gempa yang berbeda diizinkan untuk menahan gaya gempa pada masing-masing arah di kedua sumbu orthogonal struktur. Apabila sistem berbeda digunakan, maka nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  harus dikenakan pada sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 2.18.

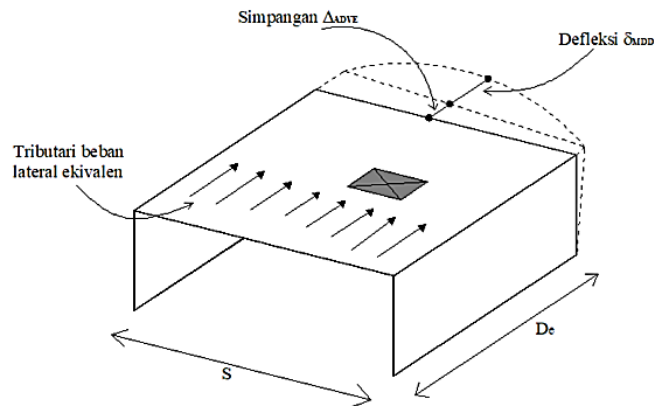
Tabel 2.18 Faktor  $R_a$ ,  $\Omega_0^b$ , dan  $C_d^c$  untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem Penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi i respons $R_a$	Koefisien modifikasi i respons, $\Omega_0^b$	Faktor pembesaran defleksi $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup> pada kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>0</sup>	E <sup>0</sup>	F <sup>f</sup>
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>m</sup>	8	3	5 <sub>1/2</sub>	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 <sub>1/2</sub>	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 <sub>1/2</sub>	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5 <sub>1/2</sub>	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5 <sub>1/2</sub>	48	48	30	TI	TI

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 12

### 2.4.13 Fleksibilitas diafragma

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.1.2 Diafragma pada pelat beton yang diberikan penutup beton dengan perbandingan  $S/D_e$  sebesar 3 atau kurang pada struktur tanpa ketidakberaturan horizontal dapat didefinisikan sebagai diafragma kaku. Definisi  $S$  dan  $D_e$  dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Diafragma fleksibel

Sumber: SNI 1726:2019 Gambar 4

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.1.3 Apabila tidak memenuhi kondisi pada Pasal 7.3.1.2 maka diidealisasikan sebagai diafragma fleksibel apabila:

$$\frac{\delta_{MDD}}{\Delta_{ADVE}} > 2 \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana:

$\delta_{MDD}$  = Panjang bangunan arah Y

$\Delta_{ADVE}$  = Panjang bangunan arah X

#### 2.4.14 Faktor Redundansi ( $\rho$ )

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4.2 Struktur yang tidak memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan dengan kategori desain seismik F, E dan D,  $\rho$  harus sebesar 1,3, namun dikecualikan apabila satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, di mana  $\rho$  diizinkan diambil sebesar 1,0. Struktur dengan denah yang beraturan di semua tingkat dengan sistem pemikul gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang parameter pemikul gaya seismik yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35 % geser dasar.

#### 2.5 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 4.2 Setiap elemen struktur direncanakan dapat memikul beban yang lebih besar daripada beban aktual yang bekerja untuk menjamin keamanan dari kerusakan struktural. Pendekatan perencanaan berbasis kekuatan, struktur dirancang agar mampu menahan beban terfaktor yang diperoleh dengan cara mengalikan faktor beban dengan beban nominal.

Faktor beban harus mampu mencegah kegagalan struktur secara mendadak serta struktur yang ekonomis. Berdasarkan SNI 1726:2019 besarnya kuat perlu yang diperhatikan sebagai syarat penting komponen struktur adalah sebagai berikut.

- a.  $1,4D$ .....(2.20)
- b.  $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$  .....(2.21)
- c.  $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$  .....(2.22)
- d.  $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$  .....(2.23)
- e.  $0,9D + 1,0W$ .....(2.24)
- f.  $1,2D + E_v + E_h + L$ .....(2.25)
- g.  $0,9D - E_v + E_h$ .....(2.26)

Dimana:

- $D$  = Pengaruh dari beban mati
- $L$  = Pengaruh beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung
- $L_r$  = Beban hidup pada atap
- $W$  = Pengaruh dari beban angin.
- $S$  = beban salju
- $R$  = Beban hujan
- $E$  = Pengaruh dari beban gempa
- $E_h$  = Beban gempa horizontal
- $E_v$  = Beban gempa vertikal

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.4.2.1 Beban gempa horizontal dihitung dengan persamaan 2.27.

$$E_h = \rho Q_e \dots \dots \dots (2.27)$$

Dimana:

- $Q_e$  = Pengaruh gaya gempa horizontal dari  $V$  atau  $F_p$  yang disyaratkan pada Pasal 7.5.3 dan 7.5.4, pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain. a.) 100 % gaya untuk satu arah ditambah 30 % gaya untuk arah tegak lurus. b.) 20 % kuat desain aksial kolom atau dinding

$\rho$  = Faktor redundansi, seperti didefinisikan dalam Pasal 7.3.4.1 dan 7.3.4.2 sebesar 1 untuk KDS B C dan 1,3 untuk KDS D E F.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.4.2.2 Beban gempa vertikal dihitung dengan persamaan 2.28.

$$E_v = 0,2 S_{DS} \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana:

$S_{DS}$  = Percepatan respons spektral vertikal desain yang didapatkan dari Tabel 8

$D$  = Beban mati

## 2.6 Berat Struktur

Pada berat struktur bangunan sudah terhitung otomatis dengan Etabs yaitu:

1. Dead Load (*DL*) dimana ini adalah berat dari sistem struktur seperti balok, kolom dan plat.
2. *Super imposed dead load (SIDL)* adalah berat dari arsitektural seperti kramik, dinding dan alat alat pada gedung
3. *Live load (LL)* adalah beban hidup, umumnya *LL* tidak diperhitungkan namun apabila pada bangunan kita memiliki gudang penyimpanan maka harus dimasukkan faktor reduksi sebesar 30%

## 2.7 Gaya Lateral Ekuivalen

### 2.7.1 Periode fundamental pendekatan

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2 Periode alami  $T$  dari struktur arah ditinjau tidak diizinkan untuk melewati hasil koefisien periode batasan atas ( $C_u$ ) dari Tabel 2.20 dan pendekatan periode alami,  $T_a$ , dihitung dengan persamaan 2.29

$$T_a = C_t h_n^x \dots \dots \dots (2.29)$$

Dimana:

Nilai  $h_n$  adalah tinggi struktur (meter) di atas dasar hingga tigkat tertinggi struktur, sedangkan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari Tabel 2.19

Tabel 2.19 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenal gaya seismik :		
• 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	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 18

Apabila tidak dalam analisis struktur digunakan bantuan program untuk mendapatkan output fundamental periode struktur yang akurat, maka nilai perioda pendekatan diatas dapat dipakai untuk menghitung beban gempa statik rencana. Jika melakukan analisis struktur dengan program dan mendapatkan fundamental periode yang akurat sesuai massa dan kekakuan struktur, maka dilakukan pengecekan terhadap batas atas perioda, yaitu pada persamaan 2.30.

$$T = C_u T_a \dots \dots \dots (2.30)$$

dengan nilai  $C_u$  berdasarkan Tabel 2.20.

Tabel 2.20 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respon spektrum pada 1 detik, $S_{DI}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,3	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : SNI 1726:2019 Tabel 17

Maka perioda desain yang akan digunakan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

Jika  $T_c < T_a$ ,  $T = T_a$ ,

Jika  $T_a < T_c < C_u T_a$ ,  $T = T_c$ ,

Jika  $T_c > C_u T_a$ ,  $T = C_u T_a$

Dimana:

$T$  = Periode desain

$T_c$  = Periode hasil analisa aplikasi

$T_c$  = Batas bawah/minimum periode

$C_u T_a$  = Batas atas/maksimum periode

### 2.7.2 Geser dasar seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 8.8.1 Geser dasar seismik  $V$ , dalam arah yang sudah ditetapkan harus ditentukan berdasarkan persamaan 2.31.

$$V = C_s \cdot W \dots \dots \dots (2.31)$$

Dimana:

$V$  = Geser dasar seismik

$C_s$  = koefisien respons seismik sesuai dengan pasal 7.8.1.1

$W$  = berat seismik efektif

Perhitungan koefisien respons seismik ( $C_s$ ), harus ditentukan sesuai dengan persamaan 2.32.

$$C = \frac{S_{DS}}{(R/I_e)} \dots \dots \dots (2.32)$$

Sedangkan nilai koefisien respons seismik ditentukan berdasarkan batasan minimum sesuai dengan persamaan 2.34 dan persamaan 2.35. Sedangkan batasan maksimum sesuai dengan persamaan 2.33,

#### 1. Batasan minimal

$$C_{s \min} = 0,004 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \dots \dots \dots (2.33)$$

Apabila struktur yang berlokasi didaerah dengan nilai  $S_1 > 0,6g$

$$C_{s \min} = \frac{0,5S_1}{T^2(R/I_e)} \dots \dots \dots (2.34)$$

#### 2. Batasan maksimal

Untuk  $T < T_L$  maka batasan maksimal

$$C_{s \max} = \frac{S_{DS}}{T(R/I_e)} \dots \dots \dots (2.35)$$

### 2.7.3 Distribusi vertikal dan horizontal gaya seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 8.7.3 Gaya seismik lateral,  $F_x$ , (kN) di sembarang tingkat harus ditentukan berdasarkan persamaan 2.36.

$$F_x = C_{vx} V \text{ dengan } C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots \dots \dots (2.36)$$

Dimana:

$C_{vx}$  = Faktor distribusi vertikal



$V$  = Gaya lateral di dasar struktur (kN)

$W_i$  dan  $W_x$  = Bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan pada elevasi lantai  $i$  atau  $x$

$h_i$  dan  $h_x$  = Tinggi dari lantai dasar hingga tingkat tertinggi  $i$  atau  $x$  (m)

$k$  = Eksponen terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:

untuk struktur dengan  $T \leq 0,5$  detik,  $k = 1$

untuk struktur dengan  $T \geq 2,5$  detik,  $k = 2$

untuk struktur dengan  $0,5 < T < 2,5$  detik,  $k = 2$

Atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2 dengan persamaan 2.37

$$y = y_1 + (y_2 - y_1) \times \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \dots \dots \dots (2.37)$$

Geser horizontal desain seismik di semua tingkat,  $V_x$  (kN), harus ditentukan dari Persamaan 2.38.

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \dots \dots \dots (2.38)$$

Dimana:

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

Gaya geser akibat gaya gempa,  $V_x$  (kN), harus didistribusikan di berbagai elemen vertikal di elevasi lantai yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen pemikul vertikal dan difragma struktur.

#### 2.7.4 Penskalaan gempa dinamik terhadap statik

Apabila hasil perhitungan gaya geser dasar dan hasil perhitungan ragam ( $V_t$ ) kurang dari 100% dari gaya geser ( $V$ ) yang dihitung melalui metode statik ekivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan Persamaan 2.39 berikut.

$$\text{Skala gempa} = V/V_t \dots \dots \dots (2.39)$$

Dimana:

$V$  = Gaya geser dasar statik

$V_t$  = Gaya geser dasar dinamik

#### 2.7.5 Penampang retak

Retakan diperkirakan terjadi akibat beban terfaktor, maka dari itu struktur harus mampu bertahan walau terjadi keretakan. untuk mengantisipasi hal

tersebut nilai momen inersia penampang diturunkan untuk komponen struktur nonprategang. Nilai penurunan momen inersia disajikan pada Tabel 2.21

Tabel 2.21 faktor reduksi kekuatan  $\phi$

Bagian dan kondisi		Momen inersia	Luas Penampang
Kolom		0,70 $I_g$	1,0 $A_g$
Dinding	Tidak retak	0,70 $I_g$	
	Retak	0,35 $I_g$	
Balok		0,35 $I_g$	
Pelat datar dan slab datar		0,25 $I_g$	

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 6.6.3.1.1(a)

## 2.8 SpClomun

spColumn adalah program perangkat lunak rekayasa struktural untuk desain dan investigasi penampang beton bertulang yang mengalami beban aksial dan lentur. Penampang yang direncanakan dapat berbentuk persegi panjang, bulat atau tidak beraturan, dengan tata letak atau pola tulangan yang bermacam-macam. Program ini umumnya digunakan untuk menginvestigasi bagian kolom beton bertulang yang bentuknya tidak beraturan yang mungkin berisi bukaan atau elemen batas. Serta digunakan untuk desain dinding geser, poros elevator, inti bangunan, pilar jembatan dan elemen lainnya pada bangunan, spColumn dapat menyelidiki bagian yang tidak mungkin ditemukan pada bagan desain atau melakukan perhitungan manual. Nilai yang di inputkan adalah diagram interaksi  $P-M$  yang diperoleh dari jalur uniaksial dan biaksial, serta plot kontur momen  $M_x-M_y$  dari jalur biaksial untuk penampang kolom dan dinding geser. Efek kelangsingan yang menghasilkan momen terbesar dapat dimasukkan ke dalam desain bagian investigasi.

## 2.9 Perencanaan Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

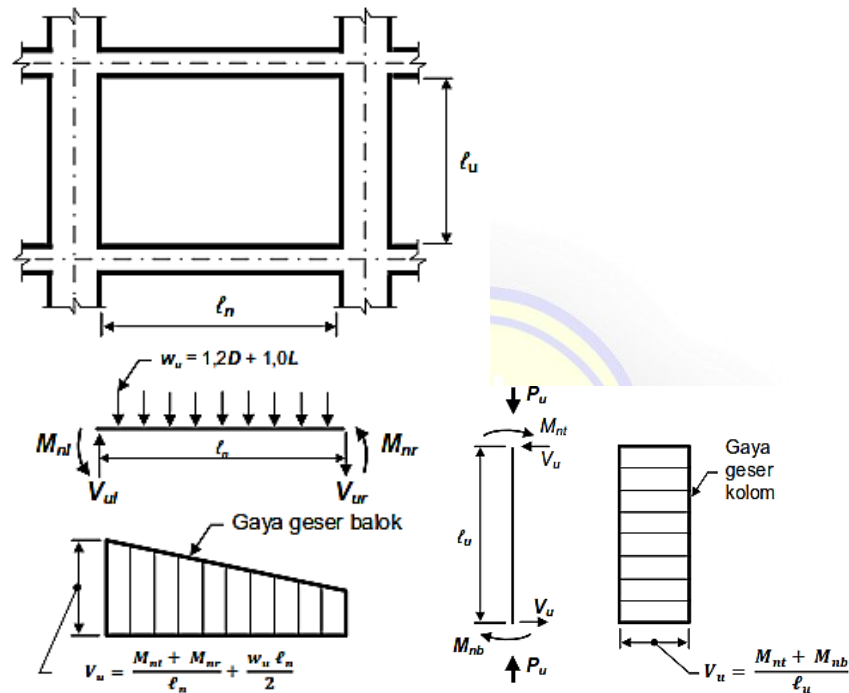
Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.4 Sistem rangka pemikul momen menengah termasuk pelat dua arah tanpa balok yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik.

### 2.9.1 Balok sistem rangka pemikul momen menengah

Berdasarkan SNI 2847:2019 balok harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Balok harus mempunyai paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua sisi atas dan bawah penampang. Tulangan bawah yang menerus harus mempunyai luas yang tidak kurang dari 1/4 luas maksimum tulangan bawah.
2. Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif maupun positif pada sebaran penampang sepanjang bentang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint pada bentang balok yang ditinjau.
3. Nilai  $\phi V_n$  tidak boleh kurang dari nilai terkecil berikut:
  - a. Jumlah gaya geser yang sebanding dengan perolehan  $M_n$  pada permukaan yang sama di kedua ujung balok dengan tekukan balik (tekuk ganda) dan gaya geser dihitung untuk beban gravitasi terfaktor.
  - b. Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain termasuk  $E$ , dengan  $\Omega_0$  sebagai pengganti  $E$ .
4. Pada kedua ujung balok, sengkang tertutup harus disediakan sepanjang  $2h$  yang diukur dari muka struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan 50 mm dari muka komponen struktur. Spasi sengkang tidak boleh lebih kecil dari:
  - a.  $d/4$
  - b. 8 x diameter batang tulangan longitudinal terkecil
  - c. 24 x diameter batang tulangan sengkang pengekang
  - d. 300 mm
5. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang bentang balok
6. Pada struktur balok pelat, umumnya balok dan pelat dicor secara bersamaan sehingga menghasilkan suatu kesatuan struktur yang monolit. Apabila struktur pelat beton ditopang pada keempat sisinya,

dan rasio antara bentang panjang terhadap bentang pendeknya kurang dari 2, maka pelat tersebut dikategorikan sebagai sistem pelat dua arah. Penggunaan ketentuan dalam 2.9.1 ditunjukkan dalam Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Geser desain untuk rangka momen menengah

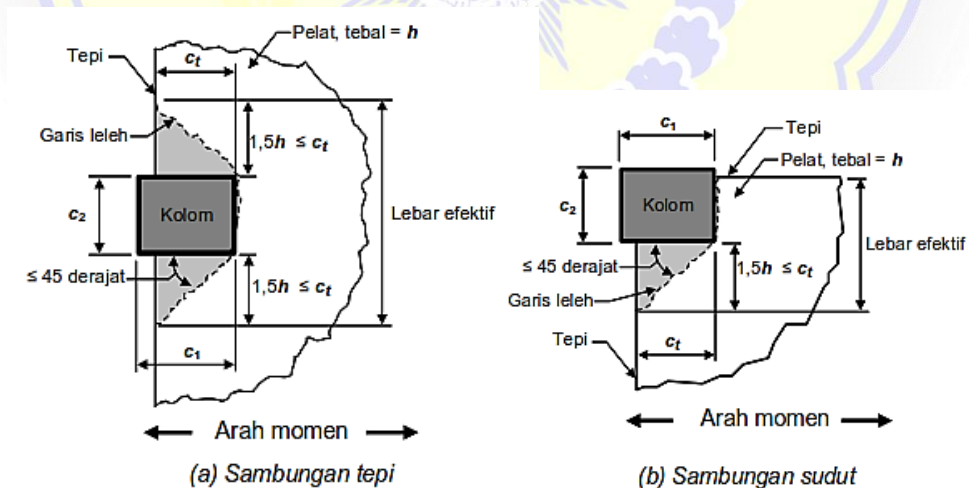
Sumber: SNI 2847:2019

## 2.9.2 Kolom sistem rangka pemikul momen menengah

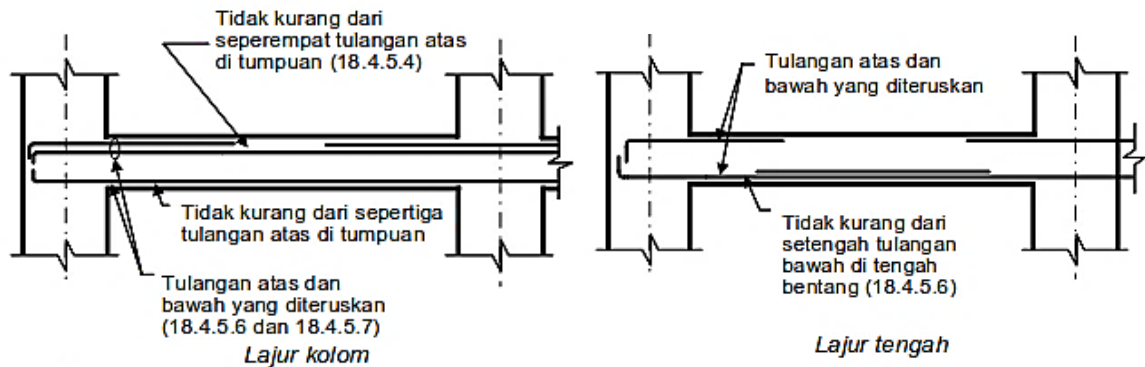
Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.4.3 Gaya geser terfaktor yang ditentukan dari diagram badan-bebas diperoleh dengan memotong ujung kolom, dengan momen nominal yang bekerja dalam lentur kurvatur balik, baik searah jarum jam maupun berlawanan jarum jam.

1. Nilai  $\phi V_n$  tidak boleh kurang dari nilai terkecil poin berikut:
  - a. Jumlah gaya geser yang sebanding dengan perolehan  $M_n$  pada permukaan yang sama di kedua ujung balok dengan tekukan balik (tekuk ganda) dan gaya geser dihitung untuk beban gravitasi terfaktor yang konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, dan menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.
  - b. Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban terfaktor, termasuk  $E$ , dengan  $\Omega_0$  sebagai pengganti  $E$ .

2. Berdasarkan SNI 2847:2019 kolom bundar harus diberi tulangan spiral atau harus memenuhi persyaratan untuk semua kolom yang menumpu komponen struktur kaku tak menerus.
  3. Pada kedua ujung kolom, sengkang tertutup harus dipasang dengan spasi  $s_o$  sepanjang  $l_o$  dari muka joint.
    - a. Spasi  $s_o$  tidak boleh melebihi nilai terkecil dari: 8 kali diameter batang tulangan longitudinal. Setengah dimensi penampang terkecil kolom 300 mm.
    - b. Panjang  $l_o$  tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari: 1/6 tinggi bersih kolom dimensi maksimum penampang kolom 450 mm
  4. Panjang  $l_o$  tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari:
    - a. Seperenam tinggi bersih kolom
    - b. Dimensi maksimum penampang kolom
    - c. 450 mm
  5. Sambungan balok-kolom harus memiliki tulangan transversal yang memenuhi Pasal 15 dalam SNI 2847:2019
- Ketentuan dalam 2.9.2 ditunjukkan dalam Gambar 2.14 dan 2.15.



Gambar 2.14 Lebar efektif penempatan tulangan di sudut dan tepi sambungan  
 Sumber: SNI 2847:2019 Gambar R18.4.5.1



Gambar 2.15 Penempatan tulangan pada pelat

Sumber: SNI 2847:2019 Gambar R18.4.5.3

## 2.10 Perencanaan Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6 balok-balok sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik didesain untuk menahan lentur dan geser serta harus merangka ke kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus

### 2.10.1 Balok sistem rangka pemikul momen khusus

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.1 balok sistem rangka pemikul momen khusus harus memenuhi persyaratan berikut:

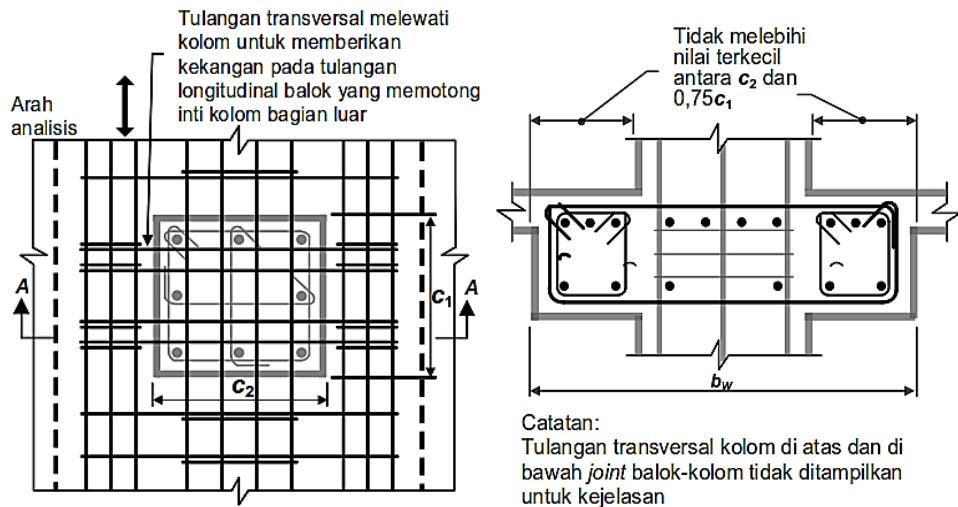
1. Balok sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian sistem pemikul seismik dan didesain untuk menahan lentur dan geser.
2. Balok sistem rangka pemikul momen khusus harus merangka ke kolom sistem rangka pemikul momen khusus sesuai dengan SNI 2847:2019.

#### 2.10.1.1 Batasan dimensi

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2 balok harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. Bentang bersih  $\ell_n$  harus minimal  $4d$
2. Lebar  $b_w$ , harus sekurangnya nilai terkecil dari  $0,3h$  dan 250 mm
3. Lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari  $c_2$  dan  $0,75c_1$  pada sisi kolom.

Lebar efektif maksimum balok dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Denah

Potongan A-A

Gambar 2.16 Lebar efektif maksimum balok lebar (*wide beam*) dan persyaratan tulangan transversal

Sumber: SNI 2847:2019 Gambar R18.6.2

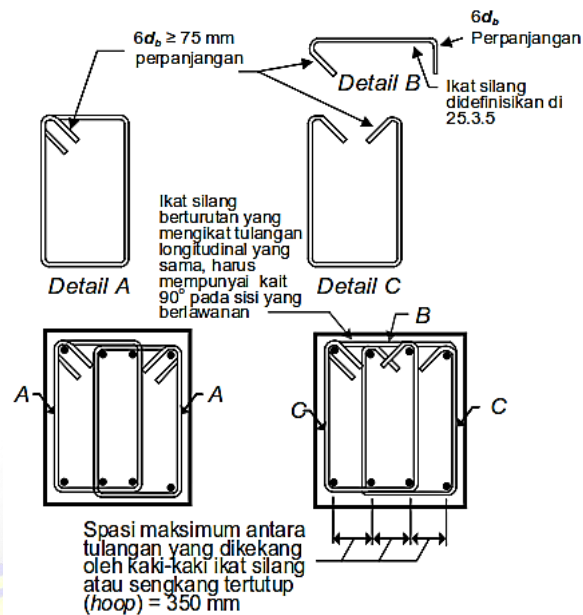
### 2.10.1.2 Tulangan longitudinal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3 beberapa ketentuan tulangan lentur pada SRPMK sebagai berikut:

1. Batasan rasio tulangan  $\rho < 0,025$  didasarkan terutama pada pertimbangan kerapatan tulangan dan, secara langsung, membatasi tegangan geser balok
2. Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari 1/2 kekuatan momen negatif. Kekuatan momen negatif dan positif pada penampang di sepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari 1/4 kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint.
3. Sambungan lewatan tulangan longitudinal diizinkan jika sengkang pengekang dipasang sepanjang sambungan lewatan. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung-lewatkan tidak boleh melebihi nilai terkecil dari  $d/4$  dan 100 mm.

### 2.10.1.3 Tulangan transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4 Tulangan transversal dipersyaratkan untuk kekangan beton guna mempertahankan pendukung lateral pada batang tulangan di daerah dimana kelelahan terjadi. Ketentuan dalam 2.9.1.3 ditunjukkan dalam Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Sengkang Tertutup yang dipasang bertumpuk dan detail batasan maksimum spasi horizontal penumpu batang tulangan utama

Sumber: SNI 2847:2019 Gambar R18.6.4

Beberapa persyaratan tulangan transversal SRPMK adalah sebagai berikut:

1. Sengkang tertutup diberi dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan pada kedua ujung komponen struktur lentur. Selain itu, sengkang tertutup juga harus dipasang di sepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang, pada tempat yang diharapkan dapat terjadi lentur.
2. Sengkang tertutup awal yang digunakan tidak lebih dari 50 mm tumpuan komponen lentur. Jarak antar sengkang tertutup tidak lebih dari nilai yang paling kecil sebagai berikut:
  - $d/4$
  - 6 x diameter tulangan memanjang terkecil
  - 150 mm
3. Jika tulangan sengkang tertutup dibutuhkan, tulangan komponen struktur lentur terdekat ke muka tekan dan tarik dipasang tumpuan lateral. Jarak antar sengkang tulangan lentur tertumpu secara lateral tidak lebih 350 mm.



4. Senggang struktur lentur terbentuk dari dua batang tulangan, senggang dengan kait di setiap ujungnya dan ikat silangnya sebagai penutup. Kait  $90^\circ$  dipasang selang-seling dari struktur lentur dengan sisi berlawanan sebagai ikat silang berurutan yang mengikat tulangan utama. Kait ikat silang  $90^\circ$  diletakkan pada tulangan utama dengan pengikat silang sebagai penahan terkekang pelat pada satu sisi komponen lentur.

#### 2.10.1.4 Persyaratan tulangan geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5 Tulangan geser harus dipilih sehingga menjadi pendekatan yang baik dari geser maksimum yang dapat dihasilkan komponen.

- a. Gaya desain

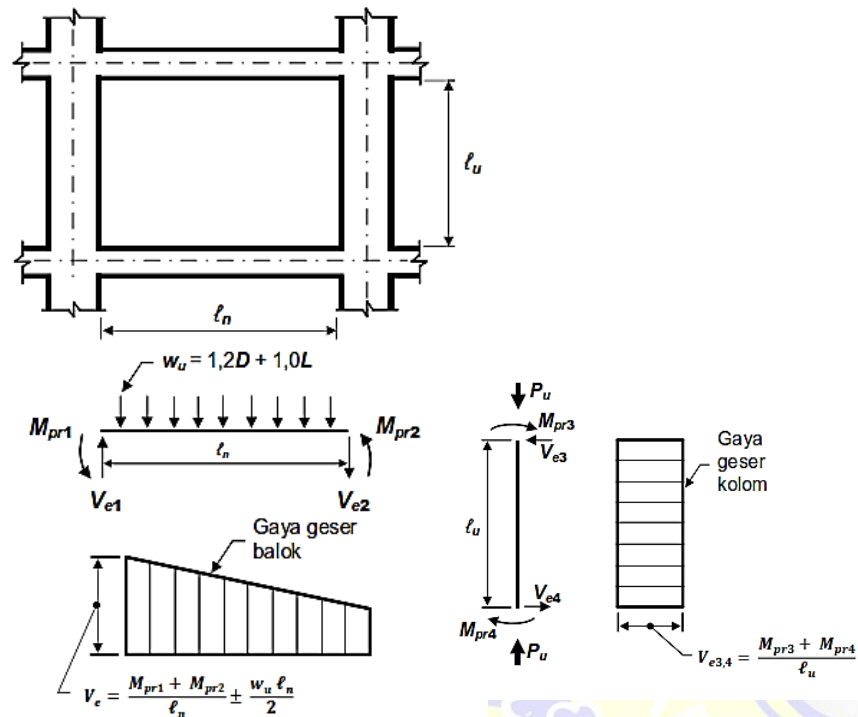
Gaya geser desain  $V_c$  harus dihitung dari tinjauan gaya-gaya pada bagian balok di antara kedua muka joint. Kekuatan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi  $M_{pr}$ , harus diasumsikan bekerja pada muka hubungan balok-kolom dan balok yang dibebani dengan beban gravitasi di sepanjang bentangnya

- b. Tulangan transversal

Tulangan transversal sepanjang daerah yang diidentifikasi harus didesain untuk menahan gaya geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$  jika kedua syarat berikut terpenuhi:

- Gaya geser akibat gempa setidaknya  $1/2$  kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
- Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u < A_g \cdot f'_c / 20$

Kondisi pada pasal 2.9.1.4 point a di ilustrasikan pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Geser desain untuk balok dan kolom

Sumber: SNI 2847:2019

Catatan pada Gambar 2.18 :

- Arah gaya geser  $V_e$  tergantung pada besaran relatif beban gravitasi dan geser dihasilkan oleh momen-momen ujung
- Momen-momen ujung  $M_{pr}$  pada tegangan tarik baja sebesar  $1,25f_y$ . Kedua momen ujung harus ditinjau dalam kedua arah, searah jarum jam dan berlawanan jarum jam.
- Momen ujung  $M_{pr}$  untuk kolom < dari momen-momen yang dihasilkan oleh  $M_{pr}$  balok yang merangka pada hubungan balok-kolom.  $V_e >$  dari yang disyaratkan dari hasil analisa struktur.

### 2.10.2 Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7 kolom SRPMK yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik didesain untuk menahan gaya lentur, geser, dan aksial.

### 2.10.2.1 Batasan dimensi

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2 Kolom SRPMK harus memenuhi

a dan b:

- a. Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.
- b. Rasio dimensi penampang terkecil balok terhadap dimensi kolom  $> 0,4$ .

### 2.10.2.2 Kekuatan lentur minimum kolom

Kekuatan momen lentur harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3 Kolom-kolom harus memenuhi pasal 18.7.3.2 atau 18.7.3.3.
2. Kekuatan lentur kolom harus memenuhi Persamaan 2.40.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \dots\dots\dots(2.40)$$

Dimana:

$\sum M_{nc}$  = Jumlah kekuatan lentur nominal sambungan rangka kolom, diperkirakan dari permukaan sambungan. Kekuatan lentur kolom harus dihitung dengan menggunakan faktor kekuatan aksial yang konsisten dengan arah gaya geser yang dianggap memberikan kekuatan lentur terendah.

$\sum M_{nb}$  = Jumlah kekuatan lentur nominal balok yang dibingkai pada sambungan, dievaluasi pada permukaan sambungan. Dalam struktur balok-T di mana pelat dalam tegangan karena momen sebelum sambungan.

### 2.10.2.3 Tulangan longitudinal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4 Batas bawah luas tulangan longitudinal adalah untuk mengontrol deformasi jangka panjang dan untuk memiliki momen leleh melebihi momen retaknya. Tulangan longitudinal harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Luas tulangan longitudinal  $A_{st} > 0,01A_g$  dan tidak lebih dari  $0,06A_g$ .
2. Pada kolom-kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.

#### 2.10.2.4 Tulangan transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1 Pengekangan pada kolom dipasang pada setiap ujung kolom yang dimana leleh lentur biasanya terjadi akibat dari perpindahan lateral yang telah melampaui perilaku elastik, menurut SNI 2847:2019 panjang  $l_0$  tidak boleh lebih dari yang terbesar dari persamaan berikut ini:

- Tinggi kolom pada muka joint dimungkinkan terjadi
- $1/6$  tinggi kolom
- 450 mm

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.2 Tulangan transversal harus disesuaikan berdasarkan berikut:

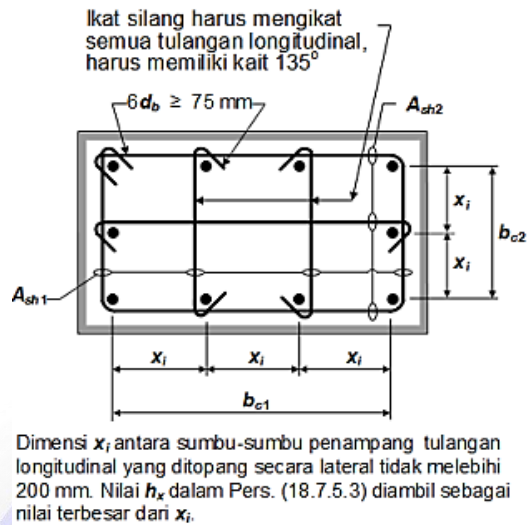
- Setiap tekukan ujung sengkang pengekok persegi harus mengait batang tulangan longitudinal terluar.
- Tulangan diperhitungkan sedemikian rupa sehingga spasi  $h_x$  antara tulangan longitudinal di sepanjang penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki sengkang pengekok tidak boleh melebihi 350 mm
- Ketika  $P_u > 0,3A_g f_c'$  atau  $f_c' > 70$  MPa pada kolom dengan sengkang pengekok dan nilai  $h_x$  tidak boleh lebih dari 200 mm.  $P_u$  merupakan gaya tekan terbesar yang konsisten dengan kombinasi beban terfaktor termasuk  $E$ .

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3 jarak antar tulangan transversal pengekok sepanjang pada daerah kekangan  $P_o$  tidak boleh melebihi nilai terkecil dari persamaan berikut ini:

- $1/4$  x dimensi penampang kolom terkecil
- 6 x diameter tulangan utama terkecil
- $S_o = 100 + (350 - h_x/3)$

Nilai  $S_o > 150$  mm dan tidak kurang dari 100 mm.

Gambar penulangan tranversal pada kolom SRPMK dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Tulangan Transversal pada Kolom

Sumber: SNI 2847:2019 Gambar R18.7.5.2 f

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.4 Faktor kekuatan beton  $k_f$  dan faktor keefektifan pengekang  $kn$  dihitung dengan Persamaan 2.41 dan 2.42.

- $k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1,0$  .....(2.41)

- $k_f = \frac{nl}{nl-2}$  .....(2.42)

Dimana:  $nl$  Merupakan jumlah tulangan longitudinal di sekeliling kolom dengan sengkang persegi yang ditumpu secara lateral oleh sudut sengkang pengekang. Persyaratan jumlah tulangan transversal sesuai Tabel 2.22.

Tabel 2.22 Tulangan transversal untuk kolom SRPMK

Tulangan transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku	
$A_{sh}/sbc$ untuk sengkang pengekang persegi	$P_u < 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c < 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b)	a.) $0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} 1 \right) \frac{f'_c}{F_{yt}}$ b.) $0,09 \frac{f'_c}{F_{yt}}$
	$P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b) dan (c)	c.) $0,2 k_f kn = \frac{P_u}{F_{yt} A_{ch}}$
$\rho_s$ untuk spiral ataupun sengkang pengekang lingkaran	$P_u < 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c < 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b)	a.) $0,45 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} 1 \right) \frac{f'_c}{F_{yt}}$ b.) $0,12 \frac{f'_c}{F_{yt}}$
	$P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b) dan (c)	c.) $0,35 k_f \frac{P_u}{F_{yt} A_{ch}}$

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 18.7.5.4

### 2.10.2.5 Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1 Gaya geser desain  $V_e$  harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi di muka-muka joint pada setiap ujung kolom. Gaya-gaya joint ini harus ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang mungkin terjadi,  $M_{pr}$ , di setiap ujung kolom yang terkait dengan rentang beban aksial terfaktor,  $P_u$ , yang bekerja pada kolom. Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan joint berdasarkan  $M_{pr}$  balok yang merangka ke joint. Nilai  $V_e$  tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.2 Tulangan transversal sepanjang  $l_o$ , harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$  bila a) dan b) terjadi:

- a. Gaya geser akibat gempa berdasarkan 18.7.6.1 setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum di sepanjang  $l_o$ .
- b. Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f_c' / 20$ .

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Data Perencanaan

#### 3.1.1 Data umum gedung

1. Nama gedung : Gedung Infrastruktur *Bandung Advanced Science and Creative Engineering Space* (BASICS) Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Bandung
2. Fungsi gedung : Perkantoran dan Laboratorium Penelitian
3. Lokasi gedung : Jl. Sangkuriang, Komplek BRIN Gd – 20  
Jl. Cisitua Lama, Dago, Kecamatan Coblong,  
Kota Bandung, Jawa Barat 40135 - Bandung
4. Tipe struktur gedung : Konstruksi beton bertulang
5. Zona gempa : Zona 4 (peta zona gempa Indonesia)
6. Koordinat : *Latitude* : -6.881759054817891  
: *Longitude* : 107.61105448007584



Gambar 3.1 Lokasi gedung infrastruktur BASICS Bandung  
*Sumber: Google Earth, 2023*

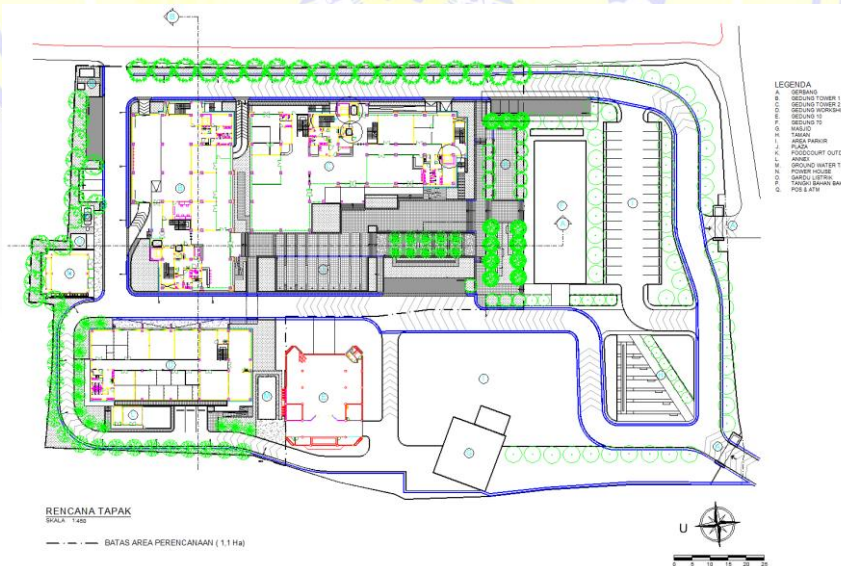
#### 3.1.2 Data Teknis Gedung

1. Luas daerah perencanaan: 11000 m<sup>2</sup>
2. Luas bangunan : 2079,525 m<sup>2</sup>
3. Tinggi total bangunan : ±28 m
4. Jumlah lantai : 6 lantai

5. Tinggi antar lantai	: Basement	: 3	m
	Lantai 1	: 5	m
	Lantai 2	: 4	m
	Lantai 3	: 4	m
	Lantai 4	: 4	m
	Lantai 5	: 4	m
	Lantai Lmr	: 0,7	m
	Atap	: 3,3	m

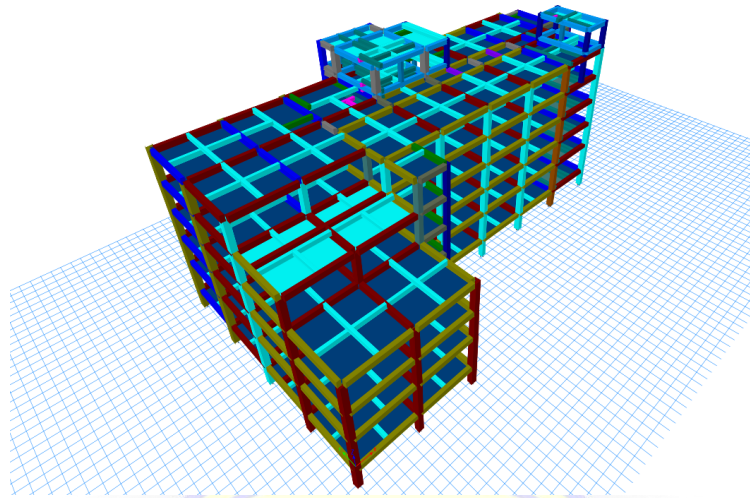


Gambar 3.2 Denah site plan 3D  
 Sumber: Data proyek BASICS BRIN 2021

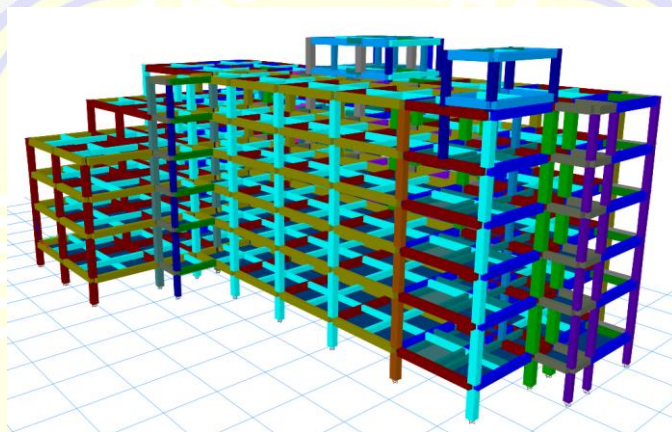


Gambar 3.3 Denah site plan 2D  
 Sumber: Data proyek BASICS BRIN 2021

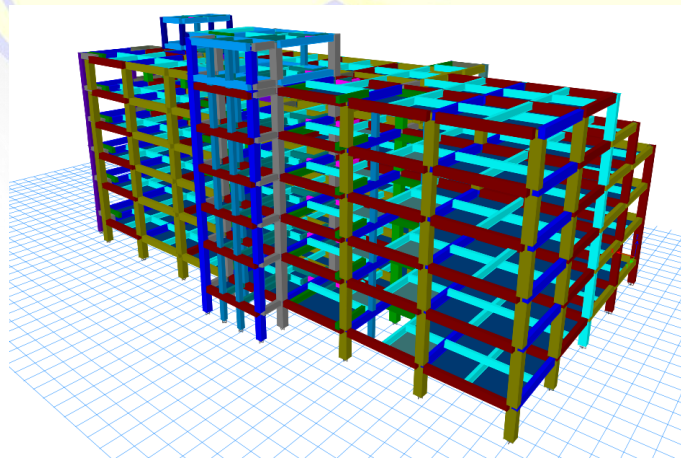




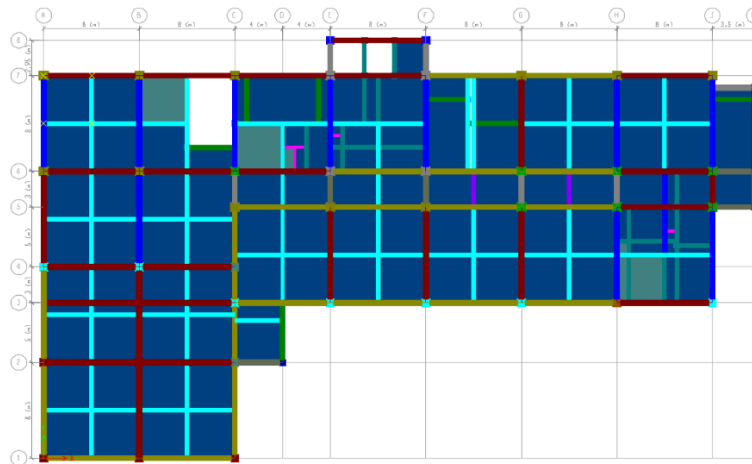
Gambar 3.4 Tampak atas struktur gedung 3D  
*Sumber: Etabs, 2023*



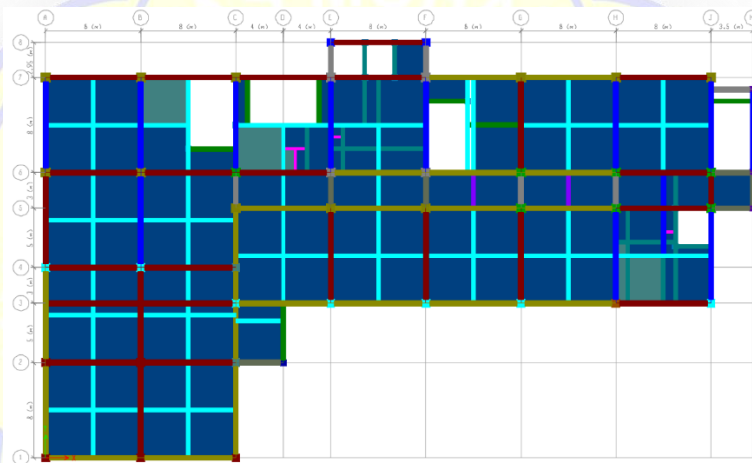
Gambar 3.5 Tampak depan kiri struktur gedung 3D  
*Sumber: Etabs, 2023*



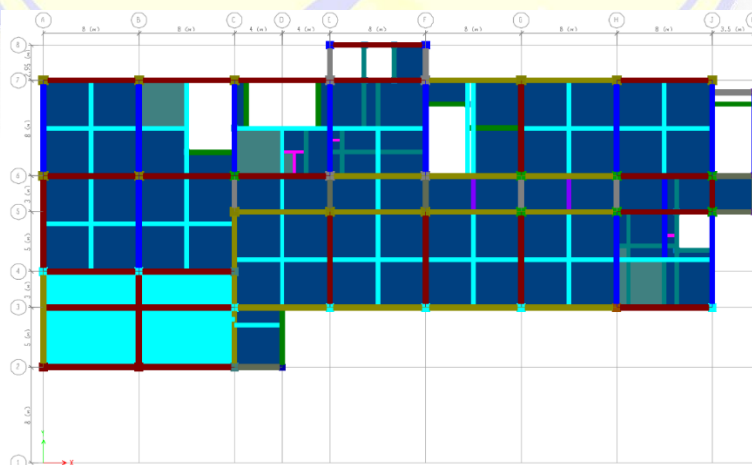
Gambar 3.6 Tampak belakang kanan struktur gedung 3D  
*Sumber: Etabs, 2023*



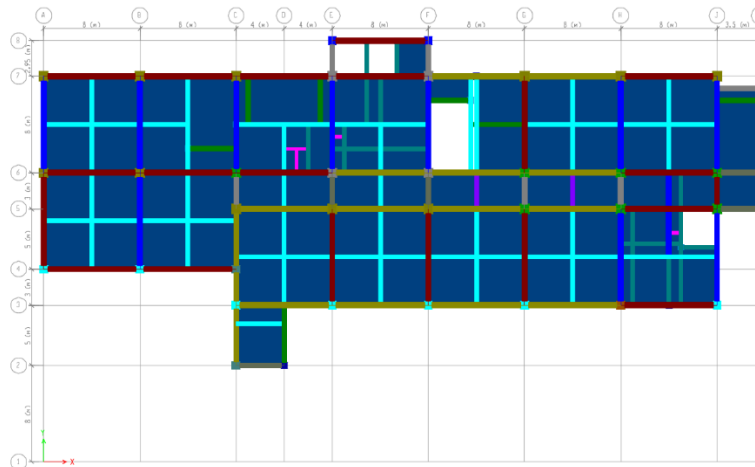
Gambar 3.7 Denah Pemodelan lantai 1  
 Sumber: Etabs, 2023



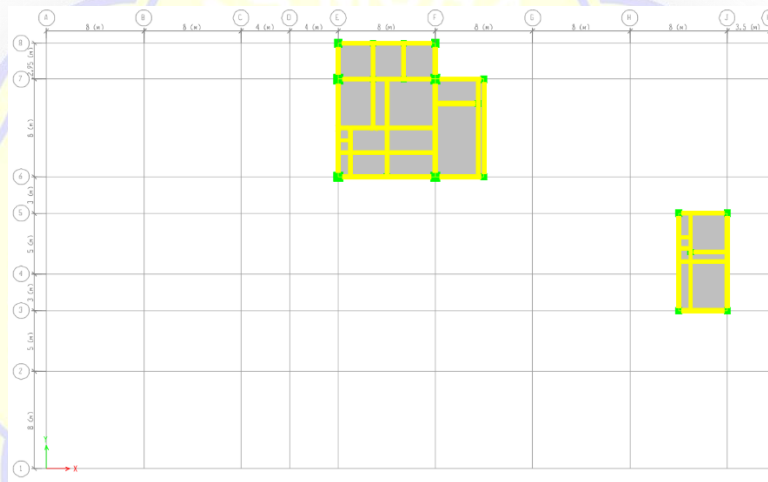
Gambar 3.8 Denah Pemodelan lantai 2,3 dan 4  
 Sumber: Etabs, 2023



Gambar 3.9 Denah Pemodelan lantai 5  
 Sumber: Etabs, 2023



Gambar 3.10 Denah Pemodelan lantai 6  
 Sumber: Etabs, 2023



Gambar 3.11 Denah Pemodelan lantai LMR dan Dak  
 Sumber: Etabs, 2023

6. Elemen struktur gedung:

a. *Tie Beam*

Tipe *tie beam* pada gedung BASICS disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tipe struktur *tie beam*

Tipe	Dimensi (mm)	Tipe	Dimensi (mm)
TB 1	400x700	TB 2	400x600

Sumber: Data proyek BASICS BRIN 2021

b. Pelat

Tipe pelat pada gedung BASICS disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Tipe struktur pelat

Tipe Pelat	Tebal Pelat (mm)	Tipe Pelat	Tebal Pelat (mm)
SB	200	S2	130
SA	130	S3	150
S1	130		

Sumber: Data proyek BASICS BRIN 2021

c. Kolom

Tipe kolom pada gedung BASICS disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Tipe struktur kolom

Tipe Kolom	Dimensi (mm)	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
K1	750x750	K6A	500x500
K1A	500x500	K7	450x450
K2	750x750	K7A	650x650
K3	750x750	K8	650x650
K4	650x650	K9	500x500
K5	650x650	K10	450x450
K5A	450x450	K10A	500x500
K6	650x650	K11	450x450

Sumber: Data proyek BASICS BRIN, 2021

d. Balok

Tipe balok pada gedung BASICS disajikan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Tipe struktur balok

Tipe Balok	Dimensi (mm)	Tipe Balok	Dimensi (mm)
B1	300x550	G2	400x700
B2	300x550	G3	400x700
B3	300x550	G4	400x700
B4	250x500	G5	400x700
B5	200x400	G6	400x700
B6	300x550	G7	400x700
G1	400x700	G8	400x700

Sumber: Data proyek BASICS BRIN, 2021

e. Mutu Beton ( $f_c'$ )

Mutu beton ( $f_c'$ ) pada gedung BASICS disajikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Mutu beton ( $f'c$ )

Tipe	Kuat Tekan	Lantai
Retaining wall	30 MPa	Semi basement
Tie beam	30 MPa	Semi basement
Kolom	30 MPa	Lt.1 – Lt.dak
Balok	30 MPa	Lt.1 – Lt.dak
Plat lantai	30 MPa	Lt.SB – Lt.dak
Plat dak atap	30 MPa	Lt.dak

Sumber: Data proyek BASICS BRIN 2021

f. Mutu Baja Tulangan ( $f_y$ )

Mutu baja tulangan pada gedung BASICS disajikan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Mutu baja tulangan

Mutu Beton	Kuat Leleh	Diameter
Baja polos	240 MPa	$\emptyset < D10$
Baja ulir	420 MPa	D13, D16, D19, D22

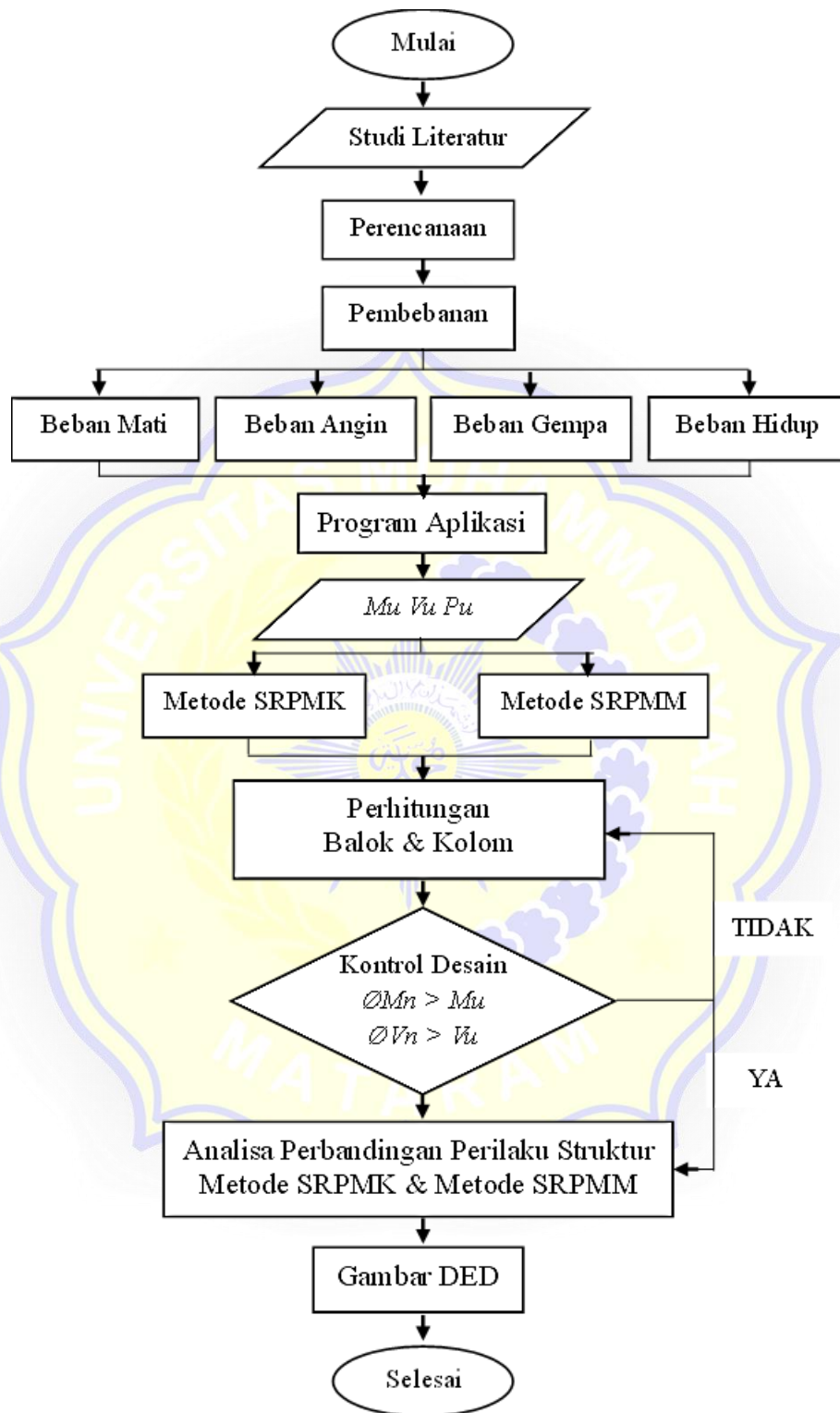
Sumber: Data proyek BASICS BRIN 2021

### 3.2. Studi Literatur

Studi literatur yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. SNI 2847:2019 Tentang persyaratan struktural beton pada bangunan
2. SNI 1726:2019 Tentang perencanaan struktur gedung tahan gempa
3. SNI 1727:2020 Tentang desain beban minimum
4. SKBI-1.3.53.1987 Tentang pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung.
5. Struktur SRPMK dan SRPMM pada bangunan tinggi (Alimufid & Santoso, 2021)
6. Perencanaan struktur gedung beton bertulang sistem rangka pemikul momen menengah dengan sistem rangka pemikul momen khusus (Amdhani, 2012)
7. Perbandingan hasil perancangan struktur gedung hotel golden tulip mataram dengan SRPMK dan SRPMM (Islami, 2021)

### 3.3. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.12 Bagan alir penelitian