

**SKRIPSI**

**PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG GEDUNG  
INFRASTRUKTUR BANDUNG *ADVANCED SCIENCE AND CREATIVE  
ENGINEERING SPACE* (BASICS) DENGAN MENGGUNAKAN PELAT  
BALOK *GRID***

**Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi**

**Pada Program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata 1**

**Fakultas Teknik**

**Universitas Muhammadiyah Mataram**



**DISUSUN OLEH :**

**APRIANI**

**2019D1B025**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM**

**2023**

**HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING  
SKRIPSI**

**PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG GEDUNG  
INFRASTRUKTUR BANDUNG *ADVANCED SCIENCE AND CREATIVE  
ENGINEERING SPACE* (BASICS) DENGAN MENGGUNAKAN PELAT  
BALOK *GRID***

Disusun oleh:


APRIANI

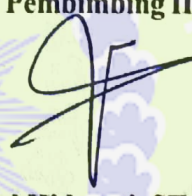
2019D1B025

Mataram, 19 juni 2023

Pembimbing I,

Pembimbing II,

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

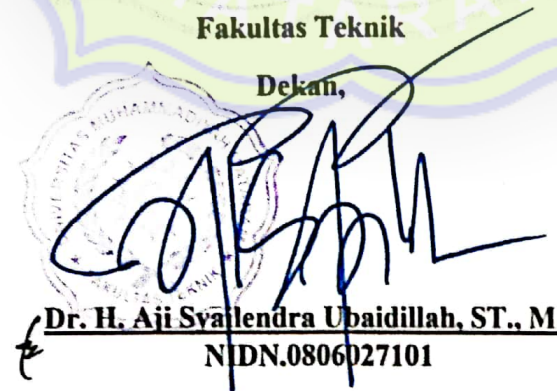
  
Nurul Hidayati, ST., M.Eng  
NIDN. 0815049401

Mengetahui,

Universitas Muhammadiyah Mataram

Fakultas Teknik

Dekan,

  
Dr. H. Aji Syaellendra Ubaidillah, ST., M.Sc  
NIDN.0806027101

**HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI SKRIPSI**

**PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG GEDUNG  
INFRASTRUKTUR BANDUNG *ADVANCED SCIENCE AND CREATIVE  
ENGINEERING SPACE* (BASICS) DENGAN MENGGUNAKAN PELAT  
BALOK *GRID***

*Yang Dipersiapkan dan Disusun Oleh:*

**APRIANI**  
**2019D1B025**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji

Pada hari Kamis, 24 Juni 2023

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

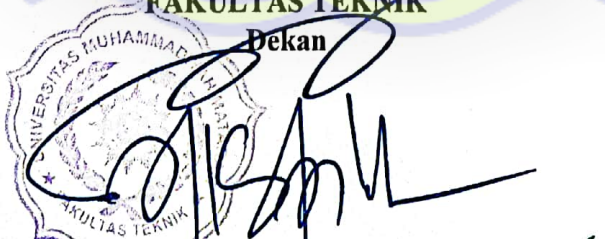
**Susunan Tim Penguji**

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

**Mengetahui,**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
FAKULTAS TEKNIK**

**Dekan**

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



## HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir/ Penulisan skripsi dengan judul: **“PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG GEDUNG INFRASTRUKTUR BANDUNG *ADVANCED SCIENCE AND CREATIVE ENGINEERING SPACE* (BASICS) DENGAN MENGGUNAKAN PELAT BALOK *GRID*.”**

Merupakan hasil karya asli penulis, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi manapun. Ide dan hasil penelitian maupun kutipan baik langsung dan tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tugas Akhir/ Skripsi dan disebutkan dalam daftar Pustaka. Apabila Tugas Akhir/Skripsi ini terbukti merupakan duplikasi ataupun plagiasi dari penulis lain, maka penulis bersedia menerima sanksi akademik dan/ atau sanksi hukum yang berlaku

Demikian surat pernyataan ini saya buat, sebagai penanggungjawaban, dan dibuat tanpa ada paksaan maupun tekanan dari pihak manapun juga.

Mataram, 19 Juli 2023  
Yang Menyatakan,



**APRIANI**  
**2019D1B025**



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 : Apriani  
NIM : 2019018025  
Tempat/Tgl Lahir : Banggo - 24 April 2003  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
No. Hp : 082 340 073 289  
Email : aprianiaprii240403@gmail.com

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

Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Infrastruktur Bandung Advanced Science and Creative Engineering Space (BASICS) Dengan menggunakan ~~system~~ pelat Balok Grid

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 442

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.

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

Mataram, ..... 4 - Juli ..... 2023

Penulis



Apriani

NIM. 2019018025

Mengetahui,  
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



Iskandar, S.Sos., M.A.

NIDN. 0802048904

\*pilih salah satu yang sesuai





**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 : Apriani  
 NIM : 2019018025  
 Tempat/Tgl Lahir : Banggo - 24 April 2001  
 Program Studi : Teknik Sipil  
 Fakultas : Teknik  
 No. Hp/Email : aprianiapril240401@gmail.com  
 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:

Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Infrastruktur Bandung Advanced Science and Creative Engineering Space (BASICS) Dengan Menggunakan ~~system~~ Pelat Balok Grid.

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, ..... 4 - Juli ..... 2023  
 Penulis



Apriani  
 NIM. 2019018025

Mengetahui,  
 Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT

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

## **MOTTO**

*“ Berubah menjadi lebih baik bukan berarti tidak menjadi diri sendiri tapi itu adalah bentuk mencintai diri sendiri”*

Apriani, 2023

*“Engkau takkan mampu menyenangkan semua orang. Karena itu, cukup bagimu memperbaiki hubungan dengan Allah, dan jangan terlalu peduli dengan penilaian manusia”.*

*Imam Syafii*



## UCAPAN TERIMAKASIH

Selama pengerjaan Tugas Akhir ini, penyusun banyak mendapat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Sehingga pada kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr.H.Aji Syailendra, ST.,M.Sc Ubaidillah. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram
2. Adryan Fitrayudha, ST.,MT. selaku ketua Program Studi Teknik Sipil
3. Dr. Eng. Hariyadi., ST.,M.Sc. (Eng) selaku Dosen Pembimbing I, yang sudah memberikan banyak waktu luang untuk bimbingan, serta memberikan arahan dan masukan selama pengerjaan Tugas Akhir ini
4. Nurul Hidayati, ST., M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing II, yang juga memberikan banyak masukan, ide, saran dan arahan serta motivasinya
5. Hafiz Hamdani, ST., MT. selaku Dosen Penguji, yang memberikan masukan serta bimbingan dalam Pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh staf dan pegawai sekertariat Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram
7. Keluarga yang sangat-sangat saya sayangi, terutama untuk kedua orang tua saya Ibu (Ratna) dan Bapak (Abidin) yang sudah banyak membantu, mendo'akan, memotivasi, menyemangati, serta selalu memerikan dukungan moral dan material. Sehingga tugas akhir ini saya selesaikan dengan penuh semangat.
8. Saudara- saudara saya, terutama untuk kaka saya (Linda Liliyandari, Agustina), yang sudah banyak memberikan dukungan, semangat dan material. Serta untuk adik saya (Muhammad Anas) yang saya sangat sayangi.
9. Rekan seperjuangan saya selama mengerjakan skripsi, Dinda, patma madura, wiwin, nita, mahani, tyara, lestari, dae, Amrul, Arga, Amri, Ojin, gifar, Ahyar serta sahabat-sahabat saya yang tidak bisa disebutkan satu persatu

Semoga Allah SWT memeberikan balasan atas segala bantuan selama pengerjaan tugas akhir ini.



## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabbarokatuh*

Puji syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT, atas Rahmat dan karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir dengan judul “Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Infrastruktur Bandung *Advanced Science and Creative Engineering Space* (BASICS) dengan Menggunakan Pelat Balok Grid” dapat diselesaikan sebagaimana mestinya. Tidak lupa pulapenulis ucapkan terimakasih kepada Bapak Dr. Hariyadi, S.T., M. Eng dan Ibu Nurul Hidayati, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing pertama dan kedua yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhirserta teman-teman yang turut berperan serta membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini merupakan syarat untuk memenuhi jenjang Pendidikan Starata Satu (S1) pada fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.

Tidak lupa ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penyusun sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung selama pengerjaan Tugas akhir ini. Dengan penuh kebebasan hati, penyusun memohon maaf apabila dalam susunan Tugas Akhir ini terdapat banyak kekurangan. Untuk itu penyusun sangat mengharpkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna menyempurnakan Tugas Akhir ini.

*Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabbarokatuh*

Mataram. Maret 2023

Penulis

## ABSTRAK

Gedung infrastruktur Bandung *Advanced Science and Creative engineering Space* (BASICS) merupakan bangunan yang terdiri dari 6 lantai dengan tinggi 24 m yang berada di kota Mataram dengan wilayah gempa 4. Gedung LIPI dibangun dengan menggunakan struktur beton konvensional dengan sistem portal dan rangka pemikul beban lateral.

Perencanaan dilakukan pada gedung LIPI Bandung menggunakan metode sistem *grid*, dimana sistem pelat ditumpu oleh balok-balok *grid*, yang efektif untuk pelat dengan ketebalan yang tipis namun dapat menambah kekuatan pada pelat. Untuk memunculkan gaya dalam dilakukan Analisa dengan menggunakan *software* ETABS v.18. Standar yang digunakan dalam perhitungan mengacu pada SNI terbaru, diantaranya SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, dan SNI 1727:2020.

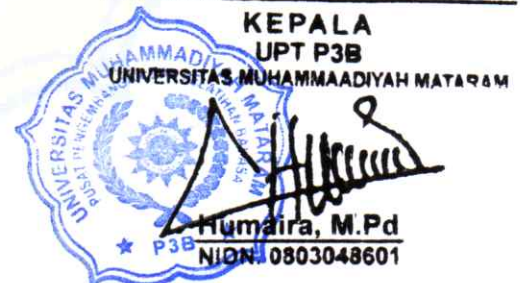
Berdasarkan hasil redesain dengan sistem balok *grid*, diperoleh dimensi pelat 70 mm dengan tulangan D10. Balok *grid* yang digunakan berbentuk persegi dengan tulangan D22 dan tulangan sengkang P10. Untuk balok tepi dan kolom menggunakan tulangan utama D22 dan sengkang P10. Pondasi didesain menggunakan pondasi *bore pile* diameter 0,5 m, dan menggunakan *pile cap* sebagai kepala kolom dengan ukuran 2,5 x 2,5 x 1,3 m. Jumlah maksimum tiang adalah 4 buah untuk setiap kolom.

## ABSTRACT

The Bandung Advanced Science and Creative Engineering Space (BASICS) infrastructure building is a 6-storey structure with a height of 24 m located in Mataram city, which is located in a seismic zone 4. The BASICS building was constructed using conventional concrete structure with a portal system and a lateral load-bearing frame. The planning of the BASICS building was carried out using the grid system method, where the floor system is supported by grid beams, which is effective for thin slabs while increasing the stiffness of the slab. Force analysis was performed using ETABS software v.18 to determine the internal forces. The calculations were based on the latest national standards, including SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, and SNI 1727:2020. Based on the redesigned grid beam system, the slab dimensions were determined to be 70 mm with D10 reinforcement. The grid beams used were square-shaped with D22 reinforcement and shear reinforcement of P10. The edge beams and columns were reinforced with main reinforcement of D22 and shear reinforcement of P10. The foundation was designed using bored pile foundations with a diameter of 0.5 m, and pile caps were used as column heads with dimensions of 2.5 x 2.5 x 1.3 m. The maximum number of piles for each column was 4.

**Keywords:** *Grid Beams, Slab, BASICS Building.*

**MENGESAHKAN**  
SALINAN FOTO COPY SESUAI ASLINYA  
MATARAM





## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING SKRIPSI</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI SKRIPSI</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b> .....	<b>v</b>
<b>SURAT PERNYATAAN BEBAS PUBLIKASI</b> .....	<b>vi</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>vii</b>
<b>UCAPAN TERIMAKASIH</b> .....	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>xx</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Sistem <i>Grid</i> .....	7
2.2.1 Bentuk-bentuk Balok <i>Grid</i> .....	7
2.2.2 Kelebihan Struktur <i>Grid</i> .....	9
2.3 Struktur Balok <i>Grid</i> Pada Pelat Lantai.....	10
2.4 Tinjauan Pembebanan .....	12
2.4.1 Beban Mati ( <i>Dead Load</i> ).....	12

2.4.2	Beban Hidup.....	14
2.4.3	Beban Gempa (Quake Load).....	21
2.4.4	Arah beban gempa.....	30
2.4.5	Sistem struktur penahan beban gempa.....	32
2.4.6	Analisa gaya lateral ekivalen (ELFA).....	34
2.4.7	Kombinasi Beban Terfaktor.....	36
2.5	Simpangan Antar Lantai Tingkat Ijin.....	37
2.6	Faktor Reduksi Kekuatan.....	37
2.7	Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang.....	39
2.7.1	Asumsi perencanaan.....	39
2.7.2	Fungsi utama beton dan tulangan.....	40
2.8	Elemen-elemen Struktur.....	41
2.8.1	Balok.....	41
2.8.2	Kolom.....	47
2.8.3	Pelat.....	56
2.9	Tipe-tipe Pelat.....	57
2.9.1	Pelat rusuk (joins construction).....	57
2.9.2	Pelat satu arah.....	57
2.9.3	Pelat dua arah.....	58
2.10	Persyaratan Struktur Pelat Lantai.....	61
2.11	Metode Koefisien Momen.....	65
2.12	Persamaan perhitungan ketebalan pelat.....	66
2.13	Dinding Penahan Tanah ( <i>Retaining Wall</i> ).....	66
2.13.1	Jenis-jenis retaining wall.....	67
2.13.2	Tekanan tanah.....	68
2.13.3	Stabilitas <i>retaining wall</i> .....	69
2.14	Pondasi.....	70
2.14.1	Persyaratan Pondasi.....	70
2.14.2	Daya Dukung Tanah Pondasi.....	70
2.14.3	Jenis Pondasi.....	71
<b>BAB III</b>	.....	<b>74</b>

3.1	Lokasi Struktur Gedung .....	74
3.2	Deskripsi Model Struktur .....	74
3.3	Pengumpulan Data .....	75
3.3.1	Data umum bangunan.....	75
3.3.2	Data bahan.....	75
3.3.3	Data tanah dan pondasi .....	76
3.3.4	Analisa struktur menggunakan ETABS V.18 .....	76
3.4	Perencanaan Struktur.....	77
3.4.1	Perencanaan pelat dengan balok <i>grid</i> .....	77
3.4.2	Perencanaan kolom .....	77
3.5	Bagan Alir Perencanaan Gedung .....	78
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>79</b>
4.1	Umum.....	79
4.2	Data Struktur Bangunan.....	79
4.2.1	Desain Eksisting.....	79
4.2.2	Desain rencana .....	80
4.3	Material Struktur .....	81
4.3.1	Beton .....	81
4.3.2	Baja Tulangan .....	81
4.4	Perencanaan Dimensi Elemen Struktur.....	81
4.4.1	Dimensi balok Induk (Utama).....	81
4.4.2	Perencanaan dimensi balok <i>grid</i> .....	82
4.4.3	Dimensi kolom .....	83
4.4.4	Dimensi pelat lantai.....	83
4.5	Kombinasi Pembebanan.....	85
4.6	Perancangan Pelat Lantai .....	86
4.6.1	Pembebanan pelat lantai.....	86
4.6.2	Penulangan pelat lantai.....	87
4.7	Perencanaan Balok <i>Grid</i> .....	92
4.7.1	Pembebanan balok <i>grid</i> .....	92
4.7.2	Distribusi Beban Pelat Lantai pada balok <i>grid</i> .....	93



4.7.3	Penulangan Balok <i>Grid</i> .....	95
4.8	Perhitungan Beban Gempa.....	107
4.9	Perhitungan Balok Tepi.....	113
4.9.1	Penulangan akibat momen lentur .....	113
4.9.2	Perhitungan Penulangan akibat momen punter dan gaya geser .. .....	121
4.10	Perencanaan Kolom.....	123
4.10.1	Perhitungan tulangan kolom.....	123
4.10.2	Perencanaan <i>retaining wall</i> .....	137
4.10.3	Perencanaan Pondasi .....	143
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>164</b>
5.1	Kesimpulan.....	164
5.2	Saran.....	165
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>166</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berat Bahan Bangunan.....	12
Tabel 2.2 Berat Sendiri Untuk Komponen Gedung .....	13
Table 2.3 Beban Hidup Terdistribusi Merata $L_0$ dan Beban Hidup Terpusat Minimal .....	14
Tabel 2.4 Kategori Resiko Bangunan Gedung Dan Non Gedung Untuk Beban Gempa .....	22
Tabel 2.5 Faktor Keutamaan Gempa .....	24
Tabel 2.6 Klasifikasi Situs .....	25
Table 2.7 Koefisien Situs, $F_a$ .....	26
Tabel 2.8 Koefisien Situs, $F_v$ .....	27
Tabel 2.9 Kategori Desain Seismik Percepatan Periode Pendek .....	30
Tabel 2.10 Kategori Desain Seismik Percepatan Periode 1 Detik.....	30
Tabel 2.11 Sistem struktur beton bertulang penahan gaya seismic .....	32
Tabel 2.12 Parameter Percepatan Respon Soeutral Periode 1 Detik $S_{D1}$ .....	35
Tabel 2.13 Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	35
Tabel 2.14 Simpangan Antar Lantai Ijin.....	37
Tabel 2.15 Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ ).....	38
Tabel 2.16 Tinggi Minimum Balok .....	41
Tabel 2.17 Batasan Dimensi Lebar Sayap Efektif Untuk Balok T .....	46
Tabel 2.18 Spasi Maksimum Untuk Tulangan Geser .....	55
Tabel 2.19 Ketebalan Minimum Pelat .....	61

Tabel 2.20 Batas Lendutan.....	62
Tabel 2.21 Ketebalan Selimut Beton .....	62
Tabel 2.22 Rasio Luas Tulangan Ulir Susut dan Suhu Minimum .....	63
Tabel 2.23 Ketebalan Pelat Dua Arah Tanpa Balok Interior ( <i>mm</i> ) <sup>[1]</sup> .....	64
Tabel 2.24 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Dengan Balok Diantara Tumpuan Pada Semua Sisi.....	64
Tabel 4.1 Dimensi Balok Tepi .....	82
Tabel 4.2 Dimensi Balok Grid .....	82
Tabel 4.3 Dimensi Kolom.....	83
Tabel 4.4 Beban Mati.....	86
Tabel 4.5 Beban Hidup .....	86
Tabel 4.6 Beban Mati pelat lantai .....	92
Tabel 4.7 Beban hidup pelat lantai.....	92
Tabel 4.8 Pembebanan pada balok.....	94
Tabel 4.9 Gaya lateral gempa tiap lantai.....	112
Tabel 4.10 Perhitungan Sudut Gesek ( $\phi'$ ) .....	145
Tabel 4.11 Perhitungan $K_d \cdot Tg\delta$ Tiap Lapis .....	146
Tabel 4.12 Tahanan gesek tiang.....	146
Tabel 4.13 Susunan Tiang Pancang .....	149



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Batang tepi atas dan bawah yang sejajar pada struktur <i>Grid</i> .....	7
Gambar 2.2 Jenis Struktur Pelat.....	7
Gambar 2.3 Sistem <i>Grid</i> Persegi.....	8
Gambar 2.4 Sistem <i>Grid</i> Miring .....	8
Gambar 2.5 Sistem <i>Grid</i> Majemuk .....	9
Gambar 2.6 Struktur <i>Grid</i> Sederhana.....	10
Gambar 2.7 Struktur <i>Grid</i> Satu Arah .....	11
Gambar 2.8 Perilaku Struktur <i>Grid</i> Kompleks .....	11
Gambar 2.9 Spektrum respons desain.....	28
Gambar 2.10 Distribusi regangan dan tegangan pada balok bertulang rangkap.....	43
Gambar 2.11 Balok persegi, Balok “T” dan Diagram Tegangan Balok .....	45
Gambar 2.12 Bagian Tekan pada Balok “T” .....	45
Gambar 2.13 Diagram tegangan dan Regangan kolom .....	48
Gambar 2.14 Pelat dengan Tulangan Pokok Satu Arah.....	57
Gambar 2.15 Pelat dengan Tulangan Pokok Dua Arah .....	58
Gambar 2.16 <i>Slab</i> datar ( <i>Flat Slab</i> ) .....	59
Gambar 2.17 Pelat Datar ( <i>Flat plate</i> ).....	60
Gambar 2.18 Pelat rusuk dua arah ( <i>waffle</i> ).....	60
Gambar 3.1 Lokasi Gedung LIPI (BASICS) .....	74
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian .....	78

Gambar 4.1 Denah Lantai Basement- 3 Gedung LIPI BASICS .....	79
Gambar 4.2 Denah Lantai 4 - Dak Atap Gedung LIPI BASICS .....	80
Gambar 4.3 Denah Pelat Lantai Rencana .....	80
Gambar 4.4 Segmen Pelat Dengan Balok Grid.....	84
Gambar 4.5 Distribusi Beban Amplop Pelat Pada Balok Grid .....	93
Gambar 4.6 Hasil Pengujian Tanah .....	146
Gambar 4.7 Jumlah Tiang Pancang Yang Digunakan .....	149
Gambar 4.8 Tinjauan Geser Arah X .....	151
Gambar 4.9 Tinjauan Geser Arah Y .....	152
Gambar 4.10 Gaya Geser Pons Dua Arah.....	154
Gambar 4.11 Tampak Pembebanan Dalam Perhitungan Ruangan Arah X .....	158
Gambar 4.12 Tampak Pembebanan Dalam Perhitungan Ruangan Arah Y .....	159

## DAFTAR NOTASI

$L_r$	=	Beban hidup yang telah di reduksi, $\text{kN/m}^2$
$l$	=	Panjang tiang yang berada dalam tanah, cm
$l_n$	=	Bentang bersih yang diukur dari muka tumpuan ke tumpuan, mm
$M_{Cc}$	=	Momen akibat kuat tekan flens beton, $\text{kN.m}$
$M_n$	=	Momen nominal penampang, $\text{kN.m}$
$M_{nc}$	=	Momen nominal penampang dengan kondisi tekan, $\text{kN.m}$
$M_{ns}$	=	Momen nominal penampang dengan kondisi tarik, $\text{kN.m}$
$M_r$	=	Momen nominal penampang tereduksi, $\text{kN.m}$
$N_c$	=	Faktor daya dukung dari grafik <i>Skempton</i>
$n$	=	Jumlah tiang pancang
$P_b$	=	Tekanan <i>overburden</i> ujung tiang, $\text{kN/m}^2$
$P_n$	=	Kuat aksial nominal penampang, kN
$P$	=	Nilai konus dari hasil sondir, $\text{kg/cm}^2$
$p_{cp}$	=	Keliling penampang keseluruhan, mm
$Q_{pg}$	=	Daya dukung kelompok tiang, kg
$Q_s$	=	Daya dukung tiang pancang tunggal, kg
$Q_t$	=	Daya dukung keseimbangan pada kelompok tiang, kg
$Q_{tiang}$	=	Daya dukung kesetimbangan tiang, kg
$R$	=	Beban hujan, $\text{kN/m}^2$
$r$	=	Radius girasi
$T_c$	=	Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh beton, kN
$T_s$	=	Gaya beton tarik, kN
$T_u$	=	Momen torsi terfaktor pada penampang, $\text{kN.m}$
$V_c$	=	Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, kN
$y$	=	Lebar kelompok tiang pancang, cm



$\alpha_f$	=	Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat
$\alpha_{fm}$	=	Nilai rata-rata $\alpha_f$ untuk semua balok pada tepi panel
$\beta$	=	Rasio dimensi panjang terhadap pendek dari dua sisi pelat
$\beta_1$	=	Faktor yang dipengaruhi kuat tekan beto
$\rho$	=	Rasio tulangan aktual
$\rho_b$	=	Rasio tulangan penampang kondisi <i>balance</i>
$\rho_{max}$	=	Rasio tulangan maksimum yang diijinkan
$\Delta$	=	defleksi, mm
$\rho_{min}$	=	Rasio tulangan minimum yang diijinkan
$\lambda$	=	faktor modifikasi
$\phi$	=	Faktor reduksi kekuatan
$\Psi$	=	Faktor kekangan ujung



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Industri kreatif Indonesia saat ini tengah menjadi perhatian banyak pihak karena memiliki signifikansi terhadap perekonomian nasional. Berdasarkan data dari BEKRAF, kontribusi ekonomi kreatif terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia tahun 2017 mencapai 7,28%. Pencapaian ini diperoleh dari berbagai subsektor ekonomi kreatif, di antaranya: Arsitektural, Desain Interior, DKV, Desain produk, fashion, hingga kuliner. Mengingat kontribusi yang signifikan dari ekonomi kreatif, maka perlu adanya fasilitas penunjang yang membantu menciptakan iklim yang ramah inovasi. Salah satu upaya dalam menjawab tuntutan ini adalah dengan menyediakan lingkungan ramah inovasi, yaitu sebuah lingkungan yang menarik/mengundang unsur-unsur pelaku inovasi untuk datang dan berinteraksi.

Pembangunan gedung Bandung *Advanced Sciences and Creative Engineering Space* (BASICS) diharapkan menjadi fasilitas ramah inovasi yang dapat melahirkan perusahaan-perusahaan pemula (*startup*) berbasis teknologi dan produk-produk teknologi baru yang kreatif dan inovatif, sebagai hasil penelitian dan pengembangan, yang siap diproduksi oleh industri, yang pada gilirannya akan dapat berkontribusi dalam meningkatkan perekonomian dan kemandirian bangsa, dengan mengurangi ketergantungan bangsa Indonesia dari pihak luar negeri. Pembangunan gedung BASICS pada intinya berupa pengadaan dua buah gedung/menara yang di dalamnya akan berisi fasilitas-fasilitas riset, berupa ruangan-ruangan laboratorium lengkap dengan peralatan riset, dan fasilitas-fasilitas pendukung inovasi, seperti *innovation space*, *co-working space*, *showroom* hasil riset, dan lain-lain. Pembangunan gedung BASICS diharapkan bisa menghadirkan sebuah ekosistem ramah inovasi.

Pembangunan gedung menggunakan sistem bentang lebar, hal ini menjadi alternatif, untuk menciptakan gedung BASICS yang ramah inovasi serta bangunan gedung yang memenuhi keamanan (*safety*) dan kelayakan (*serviceability*).

Perencanaan struktur gedung tidak terlepas dari perencanaan elemen-elemen strukturnya, baik perencanaan kolom, balok, serta pelat lantai yang masing-masing elemen memiliki fungsi tersendiri. Kolom sebagai bentang vertikal berfungsi menyangga beban aksial vertikal, kolom juga berfungsi sebagai penerus beban seluruh bangunan serta beban lainnya. Balok berfungsi untuk meneruskan beban ke kolom dan merupakan batang horizontal yang berfungsi memikul beban pelat yang berada di atasnya dan fungsi pelat pada bangunan bertingkat yaitu menjadi tumpuan atau pijakan untuk penghuni yang ada di atasnya. Pelat merupakan komponen struktur yang memiliki ketebalan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan panjang bentangnya, hal ini berdampak pada kekakuan yang diakibatkan oleh pelat sangatlah kurang. Kekakuan yang kurang ini akan mengakibatkan *defleksi* atau lendutan dari pelat menjadi lebih besar. Salah satu alternatif dalam mengatasi hal ini yaitu dengan memanfaatkan bentuk atau sistem kisi-kisi (*wafer, grid structure*) yang secara umum lebih dikenal dengan istilah struktur *grid*.

Struktur *grid* merupakan struktur yang menggunakan balok *grid* sebagai alternatif untuk menghasilkan kekakuan dan menambah kekuatan pada pelat lantai, struktur *grid* juga mempunyai sifat utama dimana dapat mendistribusikan beban pada kedua arah secara seimbang, struktur *grid* juga dapat mendukung sistem perancangan arsitektur yang menghendaki variasi bentuk pelat dan atau plafonnya. Umumnya struktur *grid* dari konstruksi beton bertulang dapat mengurangi penggunaan tulangan yang lebih hemat (Puspantoro, 1993).

Berdasarkan beberapa alasan di atas maka dilakukan penelitian pada Gedung BASICS mengenai **“Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Infrastruktur Bandung *Advanced Science and Creative Engineering Space* (BASICS)”**.



## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat diambil dari latar belakang diatas sebagai acuan dalam penulisan ini adalah sebagai berikut.

1. Berapakah dimensi rencana struktur pelat balok grid yang dapat digunakan pada gedung BASICS?
2. Apakah dimensi rencana tersebut aman terhadap beban-beban yang bekerja pada gedung BASICS?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian struktur gedung dengan menggunakan pelat dengan sistem balok *grid* adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui dimensi elemen struktur menggunakan sistem pelat balok *grid*.
2. Mengetahui dimensi yang direncanakan aman terhadap beban yang bekerja pada gedung BASICS.

## 1.4 Manfaat Penelitian

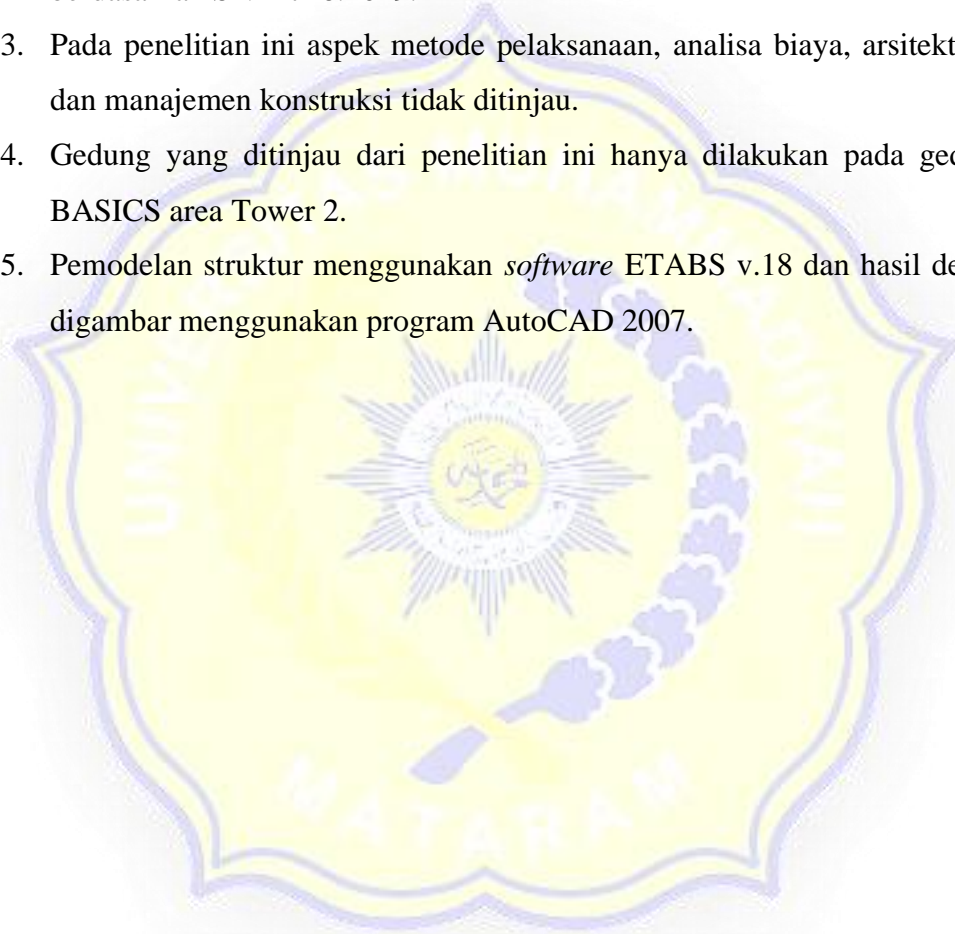
Manfaat dari penelitian dengan menggunakan pelat dengan sistem balok *grid* adalah sebagai berikut.

1. Hasil perencanaan ini dapat dijadikan sebagai alternatif untuk sistem perencanaan pelat lantai dengan bentang lebar pada gedung bertingkat lainnya
2. Dapat merencanakan struktur gedung dengan sistem balok *grid* yang memenuhi persyaratan keamanan struktur.
3. Dapat menghitung dimensi dan penulangan setiap komponen struktur bangunan dengan menggunakan pelat dengan sistem balok *grid*.
4. Untuk menjadi tolak ukur perencanaan gedung bertingkat selanjutnya dalam mengetahui hal-hal yang harus diperhatikan pada saat perencanaan sehingga kegagalan struktur dapat diminimalkan.

## 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pada penelitian ini pelat yang direncanakan menggunakan sistem sistem *grid* persegi.
2. Pembebanan dihitung berdasarkan SNI 1727:2020, perencanaan struktur beton berdasarkan SNI 2847:2019, dan untuk pembebanan gempa berdasarkan SNI 1726:2019.
3. Pada penelitian ini aspek metode pelaksanaan, analisa biaya, arsitektural, dan manajemen konstruksi tidak ditinjau.
4. Gedung yang ditinjau dari penelitian ini hanya dilakukan pada gedung BASICS area Tower 2.
5. Pemodelan struktur menggunakan *software* ETABS v.18 dan hasil desain digambar menggunakan program AutoCAD 2007.



## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Syahputri (2016) melakukan penelitian pada gedung Golden Tulip yang merupakan bangunan yang terdiri dari 11 lantai dengan tinggi 42,8 meter serta menggunakan pelat konvensional dengan sistem portal dan rangka pemikul beban lateral. Perencanaan ini dilakukan dengan mendesain ulang sistem pelat dengan balok *grid*, hal ini dilakukan untuk memperoleh ruangan yang lebih luas tanpa mengubah desain awal secara signifikan, maka bentangan didesain lebih luas dan jumlah kolomnya dikurangi. Dalam menganalisa pembebanan serta gaya dalam digunakan *software* ETABS v.9. Berdasarkan hasil redesain pelat lantai dengan menggunakan sistem balok *grid* disimpulkan bahwa, balok *grid* yang ditempatkan pada pelat lantai efektif untuk struktur gedung yang memerlukan ruangan luas dan bentang panjang tanpa adanya pendukung di tengahnya. Pelat dengan bentang yang luas memiliki kekakuan yang lebih besar, hal ini dikarenakan balok *grid* dapat berfungsi sebagai balok anakan. Volume beton yang digunakan pada gedung redesain relative lebih kecil bila dibandingkan dengan gedung eksisting, dan Analisa pada penelitian ini menunjukkan bahwa komponen struktur gedung dengan dimensi yang direncanakan aman terhadap beban gempa yang ada.

Alamsyah (2022) melakukan penelitian pada gedung Hotel Shafira Surabaya dan didapatkan kesimpulan sistem pelat lantai *grid* yang digunakan, memiliki ketebalan 80 mm dengan tulangan utama pada pelat adalah  $\emptyset 10 - 250$  untuk arah memanjang maupun melintang dan tulangan susut  $\emptyset 8 - 200$ . Tebal pelat yang digunakan untuk pelat lantai dan atap konvensional adalah 120 mm dengan tulangan utama  $\emptyset 10 - 200$  untuk arah memanjang dan melintang. Perencanaan balok *grid* lantai menggunakan dimensi 20/40, 23/40. Dan 23,5/40. Penulangan balok *grid* menggunakan tulangan pokok maksimum pada tumpuan adalah 5D19 dan tulangan pokok maksimum pada daerah lapangan adalah 2D19 dengan tulangan sengkang  $\emptyset 10 - 150$  sepanjang balok. Perencanaan balok induk atap dan lantai

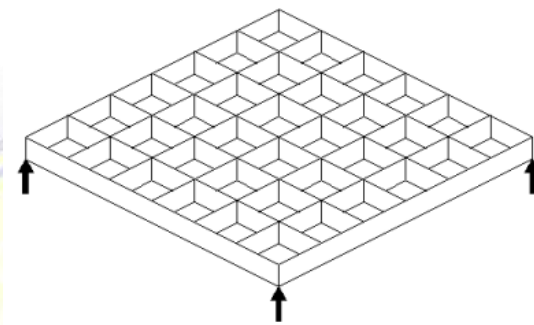
menggunakan dimensi 30/60, 25/50 dan 35/65. Penulangan balok infuk baik atap dan lantai menggunakan tulangan pokok maksimum pada tumpuan 7D28 dengan tulangan sengkang  $\emptyset 10 - 100$ , untuk daerah lapangan menggunakan tulangan maksimum 4D28 dengan tulangan sengkang  $\emptyset 10 - 250$ , kecuali pada balok dimensi 25/50 tulangan sengkang pada daerah lapangan menggunakan  $\emptyset 10 - 200$ . Perencanaan kolom menggunakan dimensi 70/100 (K1), 60/60 (K2), dan 25/50 (K3). Penulangan kolom untuk K1 menggunakan tulangan pokok 24D22 dengan tulangan sengkang  $\emptyset 19 - 100$  dan pengekan  $5\emptyset 10 - 100$ . Untuk kolom K2 digunakan tulangan pokok 14D22 dengan tulangan sengkang  $\emptyset 19 - 100$  dan pengekan  $2\emptyset 19 - 100$ . Kolom K3 digunakan tulangan pokok 14D22 dengan tulangan sengkang  $\emptyset 19 - 100$  dan pengekan  $3\emptyset 10 - 100$  penulangan ini berlaku pada semua lantai. Stabilitas bangunan pada Gedung Hotel Shafira Surabaya dapat dikatakan aman dengan menggunakan sistem pelat balok *grid*, hal ini berdasarkan hasil simpangan antar tingkat terbesar ada pada arah sumbu utama di lantai 3 dengan nilai 50,05 mm dan dengan simpangan ijin 120 mm. Drift ratio pada sumbu utama adalah 0,0020 sedangkan pada sumbu non utama adalah 0,0005 dengan syarat drift ratio harus kurang dari 0,0025.

Hamzah (2022), melakukan penelitian pada gedung Hotel Amarsvati dan didapatkan kesimpulan sistem balok *grid* yang di tempatkan pada pelat lantai efektif untuk struktur gedung yang menginginkan bentang yang panjang dan desain dengan ruangan yang panjang tanpa adanya pendukung yang menopang pada bagian tengah gedung. Pelat bertumpu langsung pada balok *grid* sehingga balok *grid* berfungsi sebagai balok anak dan membuat kekakuan terhadap pelat menjadi lebih besar, sehingga ukuran pelat lantai bisa menjadi lebih luas. Hasil analisa menunjukan bahwa perencanaan ulang menggunakan balok *grid* dengan dimensi yang telah direncanakan aman terhadap beban gempa. Dimensi pelat pada gedung Hotel Amarsvati yaitu 70 mm, dengan tulangan D10. Balok *grid* memiliki dimensi 150/350 mm dan tinggi 300 mm dengan tulangan utama D16 dan sengkang P8. Dimensi balok utama yaitu 300×600 mm, 500×1000 mm, 300×650 mm, 200×400 mm, dengan tulangan utama D22 dan sengkang P10.



## 2.2 Sistem Grid

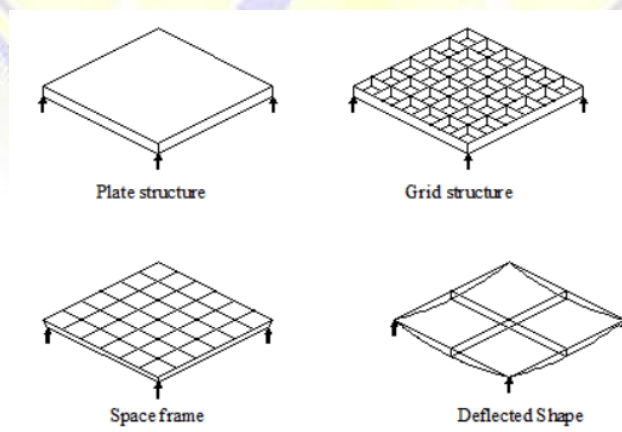
Struktur *grid* merupakan elemen-elemen kaku, Panjang seperti balok atau rangka batang, yang batang-batang tepi atas dan bawahnya sejajar. Struktur *grid* berbutir kasar lebih banyak memikul sederetan beban terpusat, sedangkan komponen dengan banyak elemen struktur kecil (Pelat) cenderung lebih cocok memikul beban terdistribusi merata (Schodek, 1991). Berikut ditampilkan Gambar 2.1 batang tepi atas dan bawah yang sejajar pada struktur *grid*.



Gambar 2.1 Batang tepi atas dan bawah yang sejajar pada struktur *Grid*  
(Sumber : Puspantoro, 1993)

### 2.2.1 Bentuk-bentuk Balok *Grid*

Dari bentuk dan sistem balok silang yang membentuk segmen-segmen wafel, pelat datar biasa memiliki kekakuan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan pelat dengan sistem *grid*, Gambar 2.2 menunjukkan perbedaan antara sistem *grid* dengan pelat datar dan sistem rangka ruang.

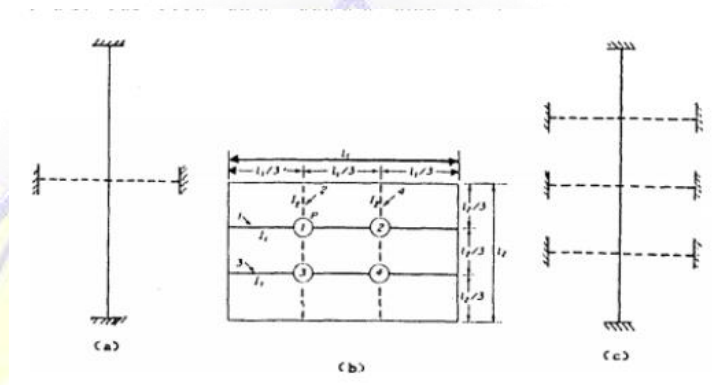


Gambar 2.2 Jenis Struktur Pelat  
(Sumber : Puspantoro, 1993)

Berdasarkan bentuk dan posisi silang baloknya, struktur *grid* dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu : (Puspantoro, 1993).

1. Sistem *Grid* Persegi

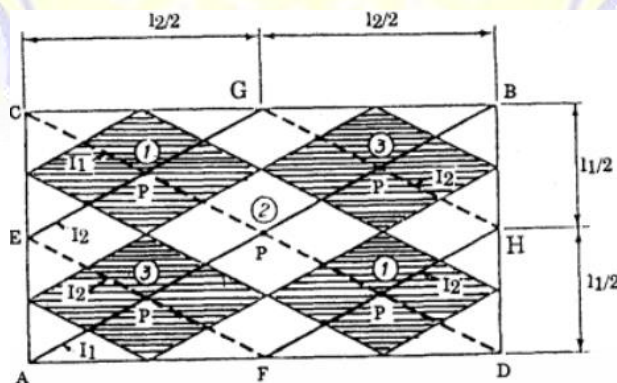
Sistem *grid* persegi dibentuk oleh dua buah balok yang saling bersilang tegak lurus satu terhadap yang lain. *Grid* persegi terdiri hanya dari satu balok atau beberapa balok, yang mempunyai sifat utama mendistribusi beban dalam dua arah atau lebih, adapun bentuk *grid* persegi disajikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sistem *grid* Persegi  
(Sumber : Puspantoro, 1993)

2. Sistem *Grid* Miring/Diagonal

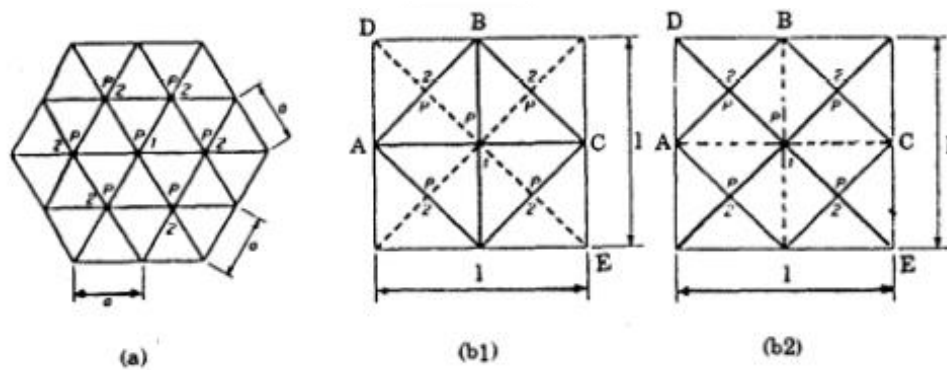
Pada sistem ini arah balok tidak saling tegak lurus, tetapi miring sehingga membentuk diagonal yang saling berpotongan. Balok – balok diagonal ini walaupun mempunyai Panjang yang tidak sama, tapi selalu mempunyai Panjang yang sebanding, seperti sisi EG/AB sebanding dengan sisi EF/CD. Berikut disajikan Gambar 2.4 sistem *grid* miring.



Gambar 2.4 sistem *Grid* Miring  
(Sumber : Puspantoro, 1993)

### 3. Sistem *Grid* Majemuk

Satu titik kumpul dapat dilewati, oleh lebih dari satu balok atas atau balok bawah. Dengan demikian beban terpusat yang bekerja pada titik simpul akan menjadi  $P/n$  untuk masing-masing balok ( $n$  = jumlah balok atas yang lewat titik simpul tersebut). Sistem *Grid* majemuk dapat dilihat pada Gambar 2.5 dibawah ini :



Gambar 2.5 Sistem *Grid* Majemuk

(Sumber : Puspantoro, 1993)

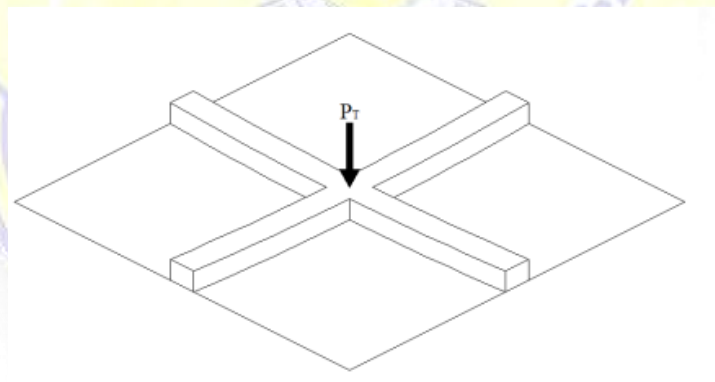
#### 2.2.2 Kelebihan Struktur *Grid*

Beberapa keuntungan dari sistem struktur *Grid* menurut (Puspantoro, 1993)

1. Memberikan kekakuan arah horizontal yang lebih besar pada portal bangunanya, karena memiliki kekakuan yang besar terutama pada bentang lebar.
2. Mempunyai bentuk yang seragam dengan berbagai variasi dan cetaakannya dapat digunakan berulang kali.
3. Pada kedua arah bentangnya bisa mendistribusikan beban dan momen secara merata dengan ukuran modul *grid*.
4. Dalam mengikuti pembagian panel-panel eksterior maupun partisi intoriarnya dpat dilakukan dengan luwes hal ini dikarenakan struktur *grid* mempunyai sifat fleksibilitas ruang yang cukup tinggi dan simpel.
5. Dapat memberikan ruangan yang lebih luas, karena jumlah kolom dapat dikurangi.

### 2.3 Struktur Balok *Grid* Pada Pelat Lantai

Ditinjau dari umur teori, konstruksi dan pemakaiannya struktur *grid* bukanlah sistem struktur yang baru, sifat kaku yang menjadi kelebihanannya dapat mendukung sistem perancangan arsitektur yang menghendaki variasi bentuk pelat atau plafonnya. Umumnya struktur *grid* menggunakan bahan dari konstruksi beton bertulang dengan ketebalan pelat yang tipis dan pemakaian tulangan yang lebih hemat. Sistem *grid* sederhana merupakan sistem balok melintang sederhana yang keempat sisinya ditumpu, selama baloknya benar-benar identik beban akan sama sepanjang kedua balok (setengah dari beban total akan dipikul oleh masing masing balok dan meneruskan ke tumpuannya). Bagian beban yang besar akan dipikul oleh balok yang lebih kaku, hal ini terjadi apabila balok-balok tersebut tidak identik. Apabila balok mempunyai panjang yang tidak sama, maka balok yang lebih Panjang akan menerima beban yang lebih kecil. Kedua balok ini akan mengalami defleksi yang sama, maka balok yang pendek memerlukan gaya yang lebih besar agar defleksi kedua balok sama (Schodek, 1991). Berikut disajikan Gambar 2.6 struktur *grid* sederhana.



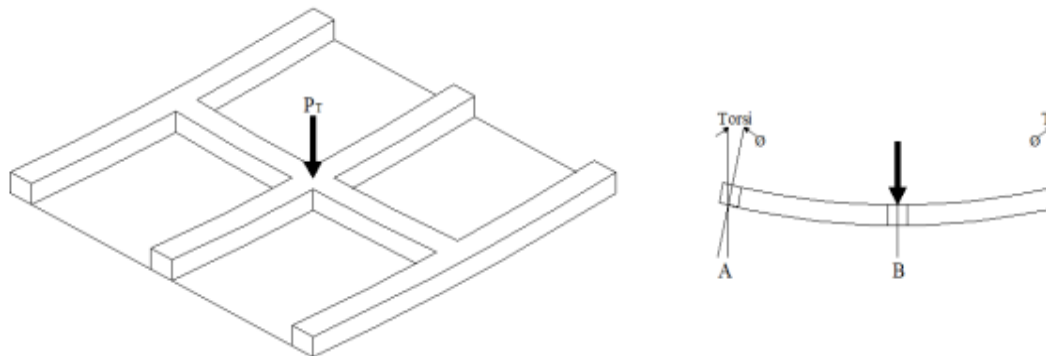
Gambar 2.6 Struktur *Grid* Sederhana

(Sumber : Schodek, 1991)

Gambar 2.7 merupakan *grid* sederhana lain yang berupa sistem satu arah. Balok transversal meneruskan beban ke elemen longitudinal pada saat mengalami defleksi akibat beban yang bekerja padanya, untuk lebih mudah melihat bahwa elemen yang memikul momen lebih besar, dapat ditinjau dengan geometri bentuk balok terdefleksi, sehingga semua elemen *grid* memikul beban. Pada sistem balok



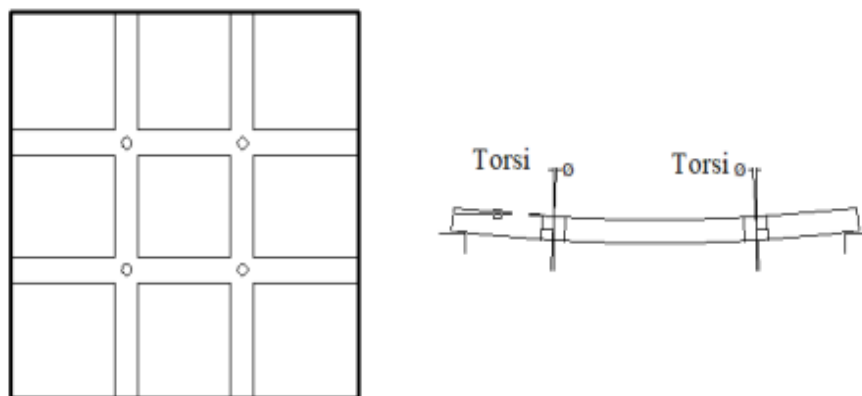
seederhanan, banyak balok yang dibebani langsung serta balok yang memikul beban tidak meneruskan ke balok lainnya.



Gambar 2.7 Struktur *Grid* Satu Arah

(Sumber : Schodek, 1991).

pada *grid* yang lebih kompleks seperti pada Gambar 2.8 baik aksi dua arah maupun semua elemen berpartisipasi untuk memikul beban dengan memberikan kombinasi kekuatan lentur dan kekuatan torsi. Rotasi lentur satu elemen struktur tidak dapat menimbulkan torsi pada elemen struktur lainnya hal ini diakibatkan balok-balok tersebut terletak sederhana dan tidak saling berhubungan secara kaku. Hal ini berdampak pada hilangnya penambahan kekakuan menyeluruh yang dapat diberikan dengan aksi torsi. Dapat disimpulkan struktur *grid* yang terhubung secara sederhana akan lebih besar bila dibandingkan dengan struktur *grid* yang terhubung secara kaku (Schodek, 1991).



Gambar 2.8 Perilaku Struktur *Grid* Kompleks

(Sumber : Schodek, 1991)

## 2.4 Tinjauan Pembebanan

Dalam merencanakan struktur gedung hal yang paling mendasar yang harus diperhitungkan yaitu beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, hal ini dilakukan untuk menciptakan struktur yang memiliki kenyamanan, keamanan serta ketahanan yang baik. Untuk memperoleh struktur yang sesuai tentu harus mengacu pada peraturan serta standar teknis yang memenuhi. Adapun standar teknis yang digunakan dalam perencanaan ini yaitu mengacu pada :

1. SNI 2847:2019 perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung
2. SNI 1726:2019 tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung
3. SNI 1727:2020 beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain

### 2.4.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan *structural* lainnya serta peralatan layan terpasang termasuk berat derek dan sitem pengangkut material. Dalam menentukan beban mati untuk perancangan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang SNI 1727:2020.

Dalam hal ini, nilai yang digunakan dalam penelitian mengacu pada ketentuan berat bahan pada bangunan yaitu tercantum pada SNI 1727:1989 sebagai berikut. Berikut disajikan Tabel 2.1 berat bahan bangunan.

Tabel 2.1 Berat bahan bangunan

No.	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
1.	Baja	7850	kg/m <sup>3</sup>
2.	Batu alam	2600	kg/m <sup>3</sup>
3.	Batu belah, Batu bulat, Batu gunung (Berat tumpuk)	1500	kg/m <sup>3</sup>

No.	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
4.	Batu karang (Berat tumpuk)	700	kg/m <sup>3</sup>
5.	Batu Pecah	1450	kg/m <sup>3</sup>
6.	Besi tuang	7250	kg/m <sup>3</sup>
7.	Beton (1)	2200	kg/m <sup>3</sup>
8.	Beton bertulang (2)	2400	kg/m <sup>3</sup>
9.	Kayu Kelas (1) (3)	1000	kg/m <sup>3</sup>
10.	Kerikil, Koral, (Kering udara lembab tanpa ayakan)	1650	kg/m <sup>3</sup>
11.	Pasangan Bata merah	1700	kg/m <sup>3</sup>
12.	Pasangan baru belah, batu bulat dan batu gunung	2200	kg/m <sup>3</sup>
13.	Pasangan batu cetak	2200	kg/m <sup>3</sup>
14.	Pasangan batu karang	1450	kg/m <sup>3</sup>
15.	Pasir (Kering udara samapai lembab)	1600	kg/m <sup>3</sup>
16.	Pasir (Jenuh air)	1800	kg/m <sup>3</sup>
17.	Pasir kerikil, Koral (Kering udara sampai lembab)	1850	kg/m <sup>3</sup>
18.	Tanah lempung, Lanau (Kering udara lembab)	1700	kg/m <sup>3</sup>
19.	Tanah lempung, dan Lanau (Basah)	2000	kg/m <sup>3</sup>
20.	Tanah hitam	11400	kg/m <sup>3</sup>

(Sumber : SNI 1727:1989)

Tabel 2.2 Berat Sendiri untuk Komponen Gedung

No	Komponen Gedung	Beban	Satuan
1.	Adukan Per cm tebal : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dari semen</li> <li>▪ Dari Kapur, semen, merah atau tras</li> </ul>	21 17	kg/m <sup>3</sup>
2.	Aspal, termasuk bahan – bahan mineral penambahan, per cm	14	
3.	Dinding pasangan batu merah : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Satu batu</li> <li>▪ Setengan batu</li> </ul>		kg/m <sup>3</sup>
4.	Dinding pasangan batako dengan lubang : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tebal dinding 20 cm (HB 20)</li> <li>▪ Tebal dinding 10 cm (HB 10)</li> </ul> Dinding pasangan batoko tanpa lubang : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tebal dinding 15 cm</li> <li>▪ Tebal dinding 10 cm</li> </ul>	450 250 200 120	kg/m <sup>3</sup>
5.	Langit – langit dan dinding (termasuk rusuk – rusuknya, tanpa penggantung langit – langit atau paku terdiri dari :		kg/m <sup>3</sup>

No	Komponen Gedung	Beban	Satuan
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Semen abses (enterit dan bahan lain sejenis) dengan tebal maksimum 4 mm</li> <li>▪ Kaca dengan tebal 3 – 4 mm</li> </ul>	11	
6.	Penggantung langit – langit (dari kayu) dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,80 mm	40	kg/m <sup>3</sup>
7.	Penutup atap reng dan usuk/ kaso per m <sup>2</sup> bidang atap	50	kg/m <sup>3</sup>
8.	Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/ kaso per m <sup>2</sup> bidang atap	40	kg/m <sup>3</sup>
9.	Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10	kg/m <sup>3</sup>
10.	Penutup lantai semen Portland, Terasoda beton tnpa adukan, per cm tebal	24	kg/m <sup>3</sup>
11.	Semen asbes gelombang (tebal 5 cm)	11	kg/m <sup>3</sup>

(Sumber : SNI 1727:1989)

#### 2.4.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktu lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus merupakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 – Beban hidup terdistribusi merata minimum,  $L_o$  dan beban hidup terpusat minimum.

Hunian atau Penggunaan	Merata, $L_o$ Psf (/kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan? (No.Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan?(No.Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
<b>Apartemen</b> (lihat rumah tinggal) <b>Sistem lantai akses</b>	50 (2,4)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
<b>Gudang persenjataan dan ruang Latihan</b>	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
<b>Ruang pertemuan</b>					



Hunian atau Penggunaan	Merata, $L_0$ Psf (/kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan? (No.Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan?(No.Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
<ul style="list-style-type: none"> <li>Kursi tetap (terikat di lantai)</li> <li>Lobi</li> <li>Kursi dapat dipindahkan</li> <li>Panggung pertemuan</li> <li>Lantai podium</li> <li>Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai) Ruang pertemuan lainnya</li> </ul>	60 (2,87) 100 (4,79) 100 (4,79) 100 (4,79) 150 (7,18) 100 (4,79) 60 (2,87) 100 (4,79)	Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5)		4.14 4.14
<b>Balkon dan dek</b>	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,78 psf $kN/m^2$ )	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
<b>Jalur untuk akses pemeliharaan</b>	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	
<b>Koridor</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Lantai pertama</li> <li>Lantai lain</li> </ul>	100,(4,79) Sama sperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
<b>Ruang makan dan restoran</b>	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Hunian atau Penggunaan	Merata, $L_o$ Psf (/kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan? (No.Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan?(No.Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
<b>Hunian (lihat rumah tinggal)</b>					
<b>Dudukan mesin elevator</b> (pada area 2 in.x 2 in. [50 mm x 50 mm])		-	-	300 (1,33)	
<b>Konstruksi pelat lantai finishing ringan</b> (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		-	-	200 (0,89)	
<b>Jalur penyelamatan saat kebakaran</b> Hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,092)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)		
<b>Tangga permanen</b>		-	-	Lihat pasal 4.5.4	
<b>Garasi/ Parkir (Lihat Pasal 4.10)</b> • Mobil penumpang saja • Truk dan Bus	40 (1,92) Lihat Pasal 4.10.2	Tidak (4.7.4) -	Ya (4.7.4) -	Lihat Pasal 4.10.1 Lihat pasal 4.10.2	
<b>Pegangan tangga dan pagar pengaman Batang pegangan</b>	Lihat 4.5.1	-	-	Lihat 4.5.1 Lihat 4.5.2	
<b>Heliped (Lihat Pasal 4.11)</b> • Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang • Helikopter dengan berat lepas landas Lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	40 (1,92) 60 (2,87)	Tidak (4.11.1) Tidak (4.11.1)	- -	Lihat Pasal 4.11.2 Lihat Pasal 4.11.2	
<b>Rumah sakit</b> • Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	

Hunian atau Penggunaan	Merata, $L_0$ Psf (/kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan? (No.Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan?(No.Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ruang pasien</li> <li>Koridor di atas lantai pertama</li> </ul>	40 (1,92) 80 (3,83)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)	1.000 (4,45) 1.000 (4,45)	
<b>Hotel (lihat rumah tinggal)</b>					
<b>Perpustakaan</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ruang baca</li> <li>Ruang penyimpanan</li> <li>Koridor diatas lantai pertama</li> </ul>	60 (2,87) 150 (7,18) 80 (3,83)	Ya (4.7.2) Tidak (4.7.3) Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.3) Ya (4.7.2)	1.000 (4,45) 1.000 (4,45) 1.000 (4,45)	4,13
<b>Pabrik</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ringan</li> <li>Berat</li> </ul>	125 (6,00) 250 (11,97)	Tidak (4.7.3) Tidak 4.7.3	Ya (4.7.3) Ya (4.7.3)	2.000 (8,90) 3.000 (13,35)	
<b>Gedung Perkantoran</b> ruang arsip dan computer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada pekiraan hunian <ul style="list-style-type: none"> <li>Lobi dan koridor lantai pertama</li> <li>Kantor</li> <li>Koridor di atas lantai pertama</li> </ul>	100 (4,79) 250 (11,97) 80 (3,83)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)	2.000 (8,90) 2.000 (8,90) 2.000 (8,90)	
<b>Lembaga hukum</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Blok sel</li> <li>Koridor</li> </ul>	40 (1,92) 100 (4,79)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)		
<b>Tempat rekreasi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tempat bowling, bliard, dan penggunaan sejenis</li> <li>Ruang dansa dan ballroom</li> </ul>	75 (3,59) 100 (4,79) 100 (4,79)	Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5) Tidak (4.7.5)		

Hunian atau Penggunaan	Merata, $L_0$ Psf (/kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan? (No.Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No.Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
<ul style="list-style-type: none"> <li>Gimnasium</li> </ul>		Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
<b>Rumah tinggal</b> Hunian satu dan dua keluarga <ul style="list-style-type: none"> <li>Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang</li> <li>Loteng yang tidak dapat dihuni dengan Gudang</li> <li>Loteng yang tidak dapat dihuni dan ruang tidur</li> <li>Semua ruang kecuali tangga</li> </ul> Semua hunian rumah tinggal lainnya <ul style="list-style-type: none"> <li>Ruang pribadi dan koridornya</li> <li>Ruang publik</li> <li>Koridor ruang publik</li> </ul>	10 (0,48) 20 (0,96) 30 (1,44) 40 (1,92) 40 (1,92) 100 (4,79) 100 (4,79)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Tidak (4.7.5) Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Ya (4.7.2) Tidak (4.7.5) Ya (4.7.2)		4.12.1 4.12.2
<b>Atap</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Atap datar, berhubung, dan lengkung yang digunakan penghuni</li> <li>Atap untuk tempat berkumpul</li> <li>Atap vegetative dan atap lansekap</li> <li>Atap bukan untuk hunian</li> </ul>	20 (0,96) Sama dengan penggunaan yang dilayani 100 (4,70) 20 (0,96) 100 (4,79)	Ya (4.8.2) Ya (4.8.3) Ya (4.8.3) Ya (4.8.2) Ya (4.8.3)	- - - - -		4.8.1



Hunian atau Penggunaan	Merata, $L_0$ Psf (/kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan? (No.Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan?(No.Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atap untuk tempat berkumpul</li> <li>• Atap untuk penggunaan lainnya</li> </ul>	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
<p><i>Awning</i> dan kanopi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan</li> <li>• Rangka penumpu layar penutup</li> </ul>	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-		
<p>Semua konstruksi lainnya</p> <p>Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja</p>	5 (0,24) Berdasarkan area tributary dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	Tidak (4.8.2)	-	2000 (0,89)	
<p>Titik panel tunggal dari kord</p> <p>Bahwa rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, Gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi bengkel</p>	20 (0,96)	Ya (4.8.2)		2000 (8,90)	4.8.1

Hunian atau Penggunaan	Merata, $L_o$ Psf (/kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan? (No.Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan?(No.Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Semua komponen struktur atap utama lainnya		-	-	300 (1,33)	
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		-	-	300 (1,33)	
<b>Sekolah</b>					
• Ruang kelas	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
• Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
• Koridor di atas lantai pertama	100 (4,70)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
<b>Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit – langit yang dapat diakses</b>				200 (0,89)	
<b>Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk – truk</b>	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.73)	8.000 (35,60)	4.15
<b>Tangga dan jalan keluar</b>	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
<b>Gudang diatas langit – langit</b>	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
<b>Gudang penyimpanan dan pekerja</b> (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)					
• Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Tidak (4.7.3)		
• Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Tidak (4.7.3)		

Hunian atau Penggunaan	Merata, $L_0$ Psf (/kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan? (No.Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No.Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
<b>Toko Eceran</b>					
• Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
• Lantai di atasnya	75 (3,59)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
• Grosir, disemua lantai	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	
<b>Penghalang kendaraan</b>				Lihat pasal 4.5.3	
<b>Susuran jalan dan panggung yang ditinggalkan</b> (selain jalan keluar)	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
<b>Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki</b>	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

(Sumber : SNI 1727:2020)

### 2.4.3 Beban Gempa (*Quake Load*)

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi dan mempengaruhi struktur tersebut.

Secara geografis Indonesia terletak pada kawasan cincin api (*ring of fire*) sehingga tek heran gempa bumi sering terjadi, dalam menghadapi situasi ini tentu kita harus mencari solusi untuk meminimalisir resiko pada struktur yang direncanakan hal ini juga untuk mengurangi resiko korban jiwa dalam bencana gempa yang terjadi.

#### 1. Gempa rencana

Tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan nongedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan

sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2% SNI 1726:2019.

## 2. Kategori resiko Struktur Bangunan

Untuk menghadapi resiko gempa yang terjadi, perlu dilakukan pengelompokan bangunan-bangunan gedung atau struktur lainnya hal ini dilakukan untuk menentukan besaran beban-beban gempa berdasarkan resiko terjadinya kinerja yang tidak dapat diterima, untuk berbagai kategori resiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai Tabel 2.4 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa  $I_e$  menurut faktor keutamaan gempa. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori resiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori resiko IV.

Tabel 2.4 Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa.

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatssu untuk, antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>• Fasilitas sementara</li> <li>• Gudang penyimpanan</li> <li>• Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termsuk dalam kategori resiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perumahan</li> <li>• Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>• Pasar</li> <li>• Gedung perkantoran</li> <li>• Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>• Pusat perbelanjaan/ maall</li> <li>• Bangunan industri</li> <li>• Fasilitas manufaktur</li> <li>• Pabrik</li> </ul>	II



Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bioskop</li> <li>• gedung pertemuan stadion</li> <li>• fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>• fasilitas penitipan anak</li> <li>• penjara</li> <li>• bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung, dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari – hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>• fasilitas penanganan air</li> <li>• fasilitas penanganan limbah</li> <li>• pusat komunikasi</li> </ul> <p>gedung dan nongedung, tidak termasuk dalam kategori resiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar yang berbahaya, bahan kimia yang berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika tidak terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <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 dan fasilitas Kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>• Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat.</li> <li>• Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya.</li> <li>• Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>• Pusat pembangkit energi dan fasilitas public lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>• Struktur tambahan (termasuk Menara telekomunikasi, tangka penyimpanan bahan bakar, Menara pendingin, struktur stasiun</li> </ul>	IV

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
listrik, tangka air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori IV.	

(Sumber : SNI 1726:2019)

Berikut disajikan Tabel 2.5 faktor keutamaan gempa.

Tabel 2.5 – Faktor Keutamaan Gempa

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726:2019)

### 3. Analisis respon situs

dalam menganalisis respon situs tentu kita harus mengetahui pengklasifikasian kelas situs. Klasifikasi kelas situs harus dilakukan berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, sehingga situs harus diklasifikasikan sebagai kelas situs SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), dan SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0).

Dalam hal ini kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/ izin keahlian dengan menyiapkan laporan penyelidikan tanah berdasarkan kondisi geotekniknya. Jika sifat tanah yang memadai tidak tersedia untuk menentukan kelas situs, maka kelas situs SE harus digunakan sesuai dengan persyaratan 0, kecuali otoritas yang berwenang atau geoteknik menunjukan situs termasuk kedalam situs lainnya. Penetapan kelas

situs SA dan kelas situs SB tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar, adapun klasifikasi kelas situs sesuai SNI 1726:2019 terdapat pada Tabel 2.6:

Tabel 2.6 - Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras,, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40 \%$ , 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifikasi, lempung sangat sensitive, tanah tanah tersementasi lemah</li> <li>• Lempung sangat organic 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 plastisitas <math>PI &gt; 75</math>)</li> </ul> Lapisan lempung lunak/ setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

(Sumber : SNI 1726:2019)

#### 4. Parameter percepatan perpetakan

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

5. Menentukan koefisien-koefisien situs dan parameter – parameter percepatan respon spectral percepatan gempa.

Faktor amplifikasi seismic pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik di butuhkan dalam penentuan respons spectral percepatan gempa  $MCR_R$  di permukaan tanah. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{MI}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.1 sampai 2.2.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad 2.1$$

$$S_{MI} = F_v S_I \quad 2.2$$

Keterangan :

$S_s$  : parameter respons spectral percepatan gempa  $MCR_R$  terpetakan untuk periode pendek ;

$S_I$  : parameter respons spectral percepatan gempa  $MCR_R$  terpetakan untuk periode 1,0 detik. Berikut disajikan Tabel 2.7 Koefisien Situs,  $F_a$

Tabel 2.7 – Koefisien situs,  $F_a$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko – resiko tertarget ( $MCR_R$ ) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

(Sumber : SNI 1726:2019)

Catatan : (a) SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situk-spesifik. Berikut disajikan Tabel 2.8 Keofisien situs,  $F_v$



Tabel 2.8 Keofisien situs,  $F_v$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko – resiko tertarget ( $MCR_R$ ) terpetakan pada periode 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)

Catatan : (a) SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situk-spesifik, lihat 0

#### 6. Menentukan parameter percepatan sepktral desain

Parameter percepatan *spectral* desain untuk periode pendek,  $S_{DS}$  harus ditentukan sesuai 0 dan nilai  $S_{DI}$  tidak perlu ditentukan melalui Persamaan 2.3 sampai dengan 2.4 berikut ini :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (2.4)$$

#### 7. Spektrum respons disain

Bila spektrum respon disain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respon desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 2.1 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari Persamaan 2.5 ;

$$S_a = \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.5)$$

- b. Untuk periode lebih besar dari atau dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ ;

- c. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$  tetapi lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$ , respons spektral percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan Persamaan 2.6

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.6)$$

- d. Untuk periode lebih besar dari  $T_L$ , respons spectral percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan Persamaan 2.7

$$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \quad (2.7)$$

Keterangan :

$S_{DS}$  : parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek;

$S_{D1}$  : parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 detik

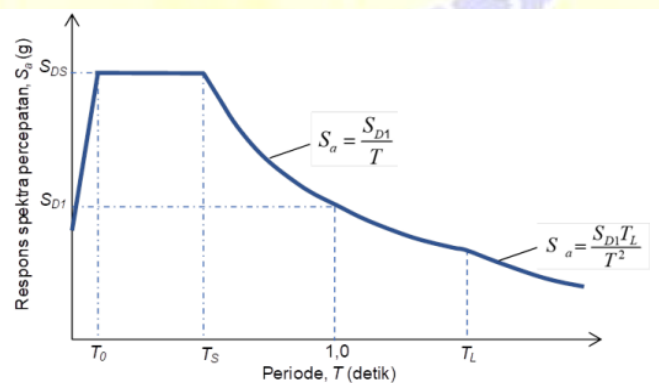
$T$  : periode getar fundamental struktur

Spektrum respon disain dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2.8 sampai 2.9 sebagai berikut :

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.9)$$

Berikut disajikan gambar 2.9 Spektrum respon desain



Gambar 2.9 Spektrum respons desain

(Sumber : SNI 1726:2019)

## 8. Kategori desain seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik, struktur dengan kategori resiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spectral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_I$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain sismik E. struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spectral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_I$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismic F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori resikonya dan parameter respons spectral percepatan desainnya,  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$ , sesuai 0. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetpkan ke dalam kategori desain seismic yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2. 9 dan Tabel 2.10, terlepas dari niali periode fundamental getaran struktur,  $T$ . Apabila  $S_I$  lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismic diizinkan untuk ditentukan sesuai tabel 10 saja, di mana berlaku semua ketentuan di bawah:

- a. Pada masing – masing dua arah *ortogonal*, perkiraan periode fundamental struktur,  $T_a$  adalah kurang dari 0,8  $T_s$ .
- b. Pada masing – masing dua arah *orthogonal*, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari  $T_s$ .
- c. Persamaan 2.28 digunakan untuk menentukan koefisien respon seismik,  $C_S$ .
- d. Diafragma struktural adalah kaku, untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen – elemen vertikal penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m.
- e. Kategori desain sismek percepatan periode pendek dan periode 1 detik dapat dilihat pada Tabel 2.9 dan Tabel 2.10, dibawah ini :

Tabel 2.9 Kategori Desain Seismik Percepatan Periode pendek

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

(Sumber : SNI 1726: 2019 )

Tabel 2. 10 Kategori Desain Seismik Percepatan Periode 1 Detik

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

(Sumber : SNI 1726:2019 )

#### 2.4.4 Arah beban gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019 beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan gedung meliputi:

##### 1. Arah kriteria pembebanan

Arah penerapan beban gempa yang digunakan dalam desain harus merupakan arah yang menghasilkan pengaruh beban paling kritis. Arah penerapan gaya gempa diizinkan untuk memenuhi persyaratan ini menggunakan prosedur pada bagian (2), untuk kategori desain seismik B (3), untuk kategori *seismic* C (4), untuk kategori desain *seismic* D,E dan F.

##### 2. Kategori seismik B

Untuk struktur bangunan yang dirancang untuk kategori desain *seismic* B, gaya gempa disain diizinkan untuk diterapkan secara terpisah dalam masing-masing arah dari dua arah *orthogonal* dan pengaruh interaksi *orthogonal* diizinkan untuk diabaikan.



### 3. Kategori seismik C

Pembebanan yang diterapkan pada struktur bangunan yang dirancang untuk kategori desain *seismic* C harus minimum sesuai dengan persyaratan dalam poin (2), untuk kategori desain seismik B dan persyaratan pasal ini.

Struktur yang mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 5 dalam tabel 10 pada SNI 1726:2019, harus menggunakan salah satu dari prosedur berikut :

- a. Prosedur kombinasi *orthogonal*. Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur analisis gaya lateral ekuivalen dalam SNI 1726:2019, prosedur analisis spektrum respons ragam dalam SNI 1726:2019, atau prosedur riwayat respons linier dalam SNI 1726:2019, seperti diizinkan dalam SNI 1726:2019, dengan pembebanan yang diterapkan secara terpisah dalam semua dua arah *orthogonal*. Pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya gempa pada struktur dianggap terpenuhi jika komponen dan fondasinya didesain untuk memikul kombinasi beban
  - b. Beban yang ditetapkan 100% gaya untuk satu arah ditambah 30% gaya untuk arah tegak lurus. Kombinasi yang mensyaratkan kekuatan komponen maksimum harus digunakan.
  - c. Penerapan serentak gerak tanah *orthogonal*. Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur riwayat respon linier dalam SNI 1726:2019 atau prosedur riwayat respon nonlinier dalam SNI 1726:2019 seperti diizinkan dalam SNI 1726:2019, dengan pasangan *orthogonal* riwayat percepatan gerak tanah yang diterapkan secara serentak.
- ### 4. Kategori desain seismik D samapi F

Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E dan F harus minimum memenuhi, sesuai dengan persyaratan poin ke (3). Sebagai tambahan, semua kolom atau dinding yang membentuk dari bagian dua arah atau lebih sistem penahan gaya yang berpotongan dan dikenai beban aksial akibat gaya gempa yang bekerja sepanjang baik sumbu denah utama sama atau melebihi 20 % kuat desain aksial kolom atau dinding harus didesain untuk pengaruh beban

paling kritis akibat penerapan gaya gempa dalam semua arah. Baik prosedur (3.a) atau (3.b), diizinkan untuk digunakan untuk memenuhi persyaratan ini. Kecuali seperti diisyatkan dalam poin (3), analisis 2 dimensi diizinkan untuk struktur dengan diafragma fleksibel.

#### 2.4.5 Sistem struktur penahan beban gempa

Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan Batasan system struktur dan batasan ketinggian struktur. Koefisien modifikasi respons yang sesuai,  $R$ , faktor kuat lebih sistem,  $\Omega_0$ , dan koefisien amplifikasi defleksi,  $C_d$ , sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.11 harus digunakan dalam penentuan gaya geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat desain.

Parameter sistem

Koefisien modifikasi respon =  $R$

Parameter kuat lebih sistem =  $\Omega_0$

Faktor perbesaran defleksi =  $C_d$

Adapun Batasan tinggi struktur berdasarkan Kategori Desain Seismik (KDS), terdapat pada Tabel 2.11 berikut:

Tabel 2.11 Sistem struktur beton bertulang penahan gaya seismik

Tabel sistem struktur beton bertulang penahan gaya seismik	R	$\Omega_0$	$C_d$	Batasan sistem struktur & Batasan tinggi struktur (m) berdasarkan kategori desain seismic KDS					
				B	C	D	E	F	
1. Sistem dinding penumpu ( <i>bearing wall systems</i> )									
• Dinding geser beton bertulang khusus	5.0	2.5	5.0	TB	TB	48	48	30	
• Dinding geser beton bertulang biasa	4.0	2.5	4.0	TB	TB	TI	TI	TI	
• Dinding geser beton polos didetail	2.0	2.5	2.0	TB	TI	TI	TI	TI	
• Dinding geser polos biasa	1.5	2.5	1.5	TB	TI	TI	TI	TI	
• Dinding geser percetak menengah	4.0	2.5	4.0	TB	TB	12	12	12	
• Dinding geser percetak biasa	3.0	2.5	3.0	TB	TI	TI	TI	TI	
2. Sistem rangka bangunan ( <i>Building frame systems</i> )									

Tabel sistem struktur beton bertulang penahan gaya seismik	R	$\Omega_0$	Cd	Batasan sistem struktur & Batasan tinggi struktur (m) berdasarkan kategori desain seismic KDS				
• Dinding geser beton bertulang khusus	6.0	2.5	5.0	TB	TB	48	48	30
• Dinding geser bertulang biasa	5.0	2.5	4.5	TB	TB	TI	TI	TI
• Dinding geser beton polos didetail	2.0	2.5	2.0	TB	TI	TI	TI	TI
• Dinding geser beton polos biasa	1.5	2.5	1.5	TB	TI	TI	TI	TI
• Dinding geser percetak menengah	5.0	2.5	4.5	TB	TB	12	12	12
• Dinding geser percetak biasa	4.0	2.5	4.0	TB	TI	TI	TI	TI
3. Sistem rangka pemikul momen ( <i>Moment-resisting frame systems</i> )								
• Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8.0	3.0	5.5	TB	TB	TB	TB	TB
• Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5.0	3.0	4.5	TB	TB	TI	TI	TI
• Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3.0	3.0	2.5	TB	TI	TI	TI	TI
4. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus ( <i>Dual system with special moment frames</i> )								
• Dinding geser beton bertulang khusus	7.0	2.5	5.5	TB	TB	TB	TB	TB
• Dinding geser beton bertulang biasa	6.0	2.5	5.0	TB	TB	TI	TI	TI
5. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah ( <i>Dual systems with intermediate moment frame</i> )								
• Dinding geser beton bertulang khusus	6.5	2.5	5.0	TB	TB	48	30	30
• Dinding geser beton bertulang biasa	5.5	2.5	4.5	TB	TB	TI	TI	TI
6. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa ( <i>shear wall-frame interactive systems with ordinary reinforced concrete moment frames and ordinary reinforced concrete shear walls</i> ).								
	4.5	2.5	4.0	TB	TI	TI	TI	TI
Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk: ( <i>Cantilevered column systems detailed to conform to for:</i> )								
• Rangka b.b. pemikul momen khusus	2.5	1.25	2.5	10	10	10	10	10
• Rangka b.b pemikul momen menengah	1.5	1.5	1.5	10	10	TI	TI	TI

Tabel sistem struktur beton bertulang penahan gaya seismik	R	$\Omega_0$	Cd	Batasan sistem struktur & Batasan tinggi struktur (m) berdasarkan kategori desain seismic KDS			
				10	TI	TI	TI
• Rangka b.b pemikul momen biasa	1.0	1.5	1.01	10	TI	TI	TI
<b>Catatan: TB = Tidak dibatasi ; TI = Tidak diijinkan</b>							

(Sumber : SNI 1726:2019)

## 2.4.6 Analisa gaya lateral ekivalen (ELFA)

### 1. Gaya geser seismik (v)

Gaya geser dasar seismic (v) statik ekivalen dan gaya geser masing-masing tingkat yang dihitung berdasarkan persamaan :  $V = C_s \cdot W$ , untuk masing-masing arah pembebanan (X dan Y), dimana:

$C_s$  = koefisien respon seismik

Koefisien respon seismik  $C_s$ , ditentukan berdasarkan persamaan 2.10

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad 2.10$$

dimana:

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek.

$R$  = Faktor modifikasi respons

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa

Niali  $C_s$ , tidak perlu melebihi nilai :  $C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$ , dan tidak kurang dari :  $C_s =$

$$0,004 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$$

### 2. Periode fundamental struktur

Periode fundamental struktur, T dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji.

Periode fundamental struktur, T, tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang diitung ( $C_u$ ) dari Tabel 2.12



Tabel 2.12 parameter percepatan respon Soeutral periode 1 detik  $S_{D1}$

Parameter percepatan respons spectral desain pada periode 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber : SNI 1726:2019 )

dan periode fundamental pendekatan,  $T_a$ , yang ditentukan sesuai dengan persamaan 2.11 berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad 2.11$$

Keterangan :

$h_n$ , adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari Tabel 2.13

Tabel 2.13 Nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$

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

(Sumber : SNI 1726:2019 )

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat.

$$T_a = 0,1 \cdot N$$

N = jumlah tingkat

beban geser dasar ( $v$ ) harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi gaya gempa lateral statik ekuivalen ( $F_x$ ) yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke-I menurut Persamaan 2.12 dan 2.13

$$F_x = C_{VX} \cdot V \text{ dan} \quad 2.12$$

$$C_{VX} = \frac{W_x \cdot h_i^k}{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot h_i^k)} \quad 2.13$$

Keterangan :

- $C_{VX}$  = faktor distribusi vertikal
- $V$  = gaya laeteral desain total atau geser di dasar struktur (kN)
- $W_i$  dan  $W_x$  = bagian berat sesimil efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat I atau x
- $h_i$  dan  $h_x$  = Tinggi dari dasar sampai tingkat I atau x, (m)
- $k$  = Eksponen yang terkait dengan periode struktur
- Untuk struktur  $T \leq 0,5 \text{ detik} \rightarrow k = 1$
  - Untuk struktur  $T \geq 2,5 \text{ detik} \rightarrow k = 2$
  - Untuk struktur  $0,5 \geq T \geq 2,5 \text{ detik} \rightarrow k =$  interpolasi linear antara 1 dan 2

### 3. Distribusi gaya gempa

Geser tingkat desain gaya gempa di semua tingkat,  $v_x$  (kN), harus ditentukan dari persamaan 2.14 berikut :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad 2.14$$

Dimana  $F_i$  = bagian dari geser seismic,  $V$  (kN) yang timbul di Tingkat,  $i$ .

#### 2.4.7 Kombinasi Beban Terfaktor

Kombinasi beban terfaktor harus dirancang dengan mangacu pada kombinasi pembebanan SNI 1726:2019, struktur, komponen-elemen strukrur dan elemen-elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencana sama atau

melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut :

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

## 2.5 Simpangan Antar Lantai Tingkat Ijin

Simpangan antar lantai ijin ( $\Delta_a$ ) tidak boleh kurang dari Simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ), seperti yang terdapat pada Tabel 2.14 sesuai dengan SNI 1726:2019 untuk semua tingkat :

Tabel 2.14 Simpangan antar lantai ijin

Struktur	Kategori resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit – langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur kantilever batau bata <sup>d</sup>	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding gerder batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

(Sumber : SNI 1726:2019)

## 2.6 Faktor Reduksi Kekuatan

Elemen-elemen struktur dalam perencanaan struktur bangunan gedung, sangat perlu di perhatikan dari berbagai segi yang dapat mempengaruhi kekuatan elemen tersebut, seperti beban yang bekerja, fungsi bangunan, sifat material maupun dimensi-dimensi struktur, dalam proses perencanaan sebuah bangunan

gedung, akan banyak ditemui kondisi-kondisi yang tidak sesuai dengan yang sudah direncanakan, oleh karena itu perencanaan struktur dihitung dengan menentukan suatu komponen struktur, maka beban minimum harus direduksi dengan faktor reduksi kekuatan yang sesuai dengan sifat beban untuk memperoleh kapasitas kekuatan atau kuat rencana yang lebih besar.

Faktor reduksi sendiri merupakan koefisien yang menggabungkan angka kekuatan riil dengan kekuatan nominal atau teoritik struktur elemen. Manfaat dari faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) adalah untuk mengantisipasi adanya kemungkinan – kemungkinan yang terjadi di lapangan seperti pemakaian mutu bahan yang bervariasi, mutu pelaksanaan yang tidak sempurna, ukuran elemen – elemen struktur yang kurang sesuai dan lain sebagainya (Pratama, 2017)

Kekuatan desain atau kekuatan yang dapat digunakan dari suatu komponen atau penampang adalah kekuatan nominal yang direduksi dengan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ). Adapun tujuan penggunaan faktor reduksi kekuatan adalah untuk memperhitungkan kemungkinan terjadinya penurunan kekuatan akibat variasi yang terdapat pada kekuatan material dan dimensi pada saat pelaksanaan, pengaruh penyederhanaan dan asumsi di dalam persamaan desain, tingkat daktilitas, potensi mode kegagalan dari komponen, kebutuhan keandalan, dan signifikansi kegagalan dan ketersediaan lintasan beban alternatif pada komponen di dalam struktur SNI 2847:2019.

Faktor reduksi untuk berbagai mekanisme terdapat pada SNI 2847:2019 adapun nilai faktor reduksi dapat dilihat pada Tabel 2.15 berikut :

Tabel 2.15 Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ )

Gaya atau Elemen struktur		( $\phi$ )	Pengecualian
a)	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 - 0,90	Di dekat ujung komponen pratarik ( <i>pretension</i> ) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja,
b)	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa
c)	Torsi	0,75	-
d)	Tumpu ( <i>bearing</i> )	0,65	-



Gaya atau Elemen struktur		$(\phi)$	Pengecualian
e)	Zona angkur pascatarik ( <i>post-tension</i> )	0,85	-
f)	<i>Bracket</i> dan korbel	0,75	-
g)	<i>Strut, ties</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strut-and-tie</i> di pasal 23	0,75	-
h)	Komponen sambungan beton per cetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,9	-
i)	Beton polos	0,6	-
j)	Angkur dalam elemen beton	0,45 - 0,75	-

(Sumber : SNI 2847:2019)

## 2.7 Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang

beton bertulang (*reinforced concrete*) merupakan beton structural yang ditulangi dengan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulangan non prategang minimum yang ditetapkan sesuai dengan standar, termasuk elemen-elemen yang memenuhi persyaratan untuk beton prategang dan non prategang, dalam struktur beton bertulang, tulangan berfungsi untuk menahan tegangan karena kekangan dari rangkai, susut, atau efek suhu SNI 2847:2019.

### 2.7.1 Asumsi perencanaan

Menurut Sudarmoko, 1996, dalam menghitung beban lentur atau aksial atau kombinasi dari beban lentur dan aksial, asumsi yang perlu digunakan dalam perencanaan adalah :

1. Jarak sumbu netral harus diasumsikan berbanding langsung dengan regangan dalam tulangan dan beton.
2. Regangan maksimum yang dapat digunakan pada serat beton terluar harus diasumsikan sama dengan 0,003.
3. Tegangan dalam tulangan di bawah kuat leleh yang ditentukan  $f_y$  untuk mutu tulangan yang digunakan harus diambil sebesar  $E_s$  dikali regangan baja. Untuk tegangan yang lebih besar dari regangan yang memberikan  $f_y$  tegangan pada tulangan harus dianggap tidak tergantung pada regangan dan sama dengan  $f_y$

4. Dalam perhitungan kekuatan Tarik beton diabaikan dan tidak digunakan.
5. Hubungan antara regangan beton dan distribusi tegangan tekan beton dianggap betuk persegi.
6. Distribusi tegangan beton persegi ekuivalen didefinisikan sebagai berikut:
  - a. Tegangan beton sebesar  $0,85 f'c$  harus diasumsikan terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejarak  $a = dc$  dari serat dengan regangan tekan maksimum.
  - b. Jarak  $c$  dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu tersebut.
  - c. Faktor  $\beta_1$  harus diambil sebesar 0,85 untuk kuat tekan beton  $f'c$  antara 17 MPa sampai dengan 28 MPa. Untuk kekuatan diatas 28 MPa,  $\beta_1$  harus direduki sebesar 0,05 untuk kelebihan kekuatan 17 MPa diatas 28 MPa, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,65 MPa. Ketentuan ini dapat dijelaskan sebagai berikut:  
Jika  $17 \text{ MPa} \leq f'c \leq 28 \text{ MPa} : \beta_1 = 0,85$  Jika  $f'c > 28 \text{ MPa} : \beta_1 = 0,85 - 0,05 (f'c - 28/7)$  tidak boleh kurang dari 0,65.

### 2.7.2 Fungsi utama beton dan tulangan

Beton maupun baja-tulangan beton bertulang tersebut mempunyai fungsi atau tugas pokok yang berbeda, sesuai dengan sifat bahan yang bersangkutan. Beton bertulang memiliki fungsi yang berbeda sebagai berikut (Asroni, 2010).

Fungsi utama dari beton, yaitu untuk :

1. Menahan beban/ gaya tekan
2. Menutup baja tulangan agar tidak berkarat

Fungsi utama dari baja tulangan, yaitu untuk :

1. Menahan gaya Tarik (meskipun juga kuat terhadap gaya tekan)
2. Mencegah retak beton agar tidak melebar.

## 2.8 Elemen-elemen Struktur

### 2.8.1 Balok

balok dapat didefinisikan sebagai salah satu dari elemen struktur portal dengan bentang yang arahnya horizontal, sedangkan portal merupakan kerangka utama, dari struktur bangunan, khususnya bangunan gedung (Asroni, 2010).

Berikut adalah ketentuan tinggi minimum balok sesuai dengan SNI 2847:2019 untuk balok nonprategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan seluruh pelat  $h$  tidak boleh kurang dari batas minimum yang dijelaskan pada Tabel 2.16 berikut ini :

Tabel 2.16 Tinggi Minimum Balok

Kondisi Perletakan	Minimum $h$
Perletakan sederhana	$\ell/16$
Menerus satu sisi	$\ell/18,5$
Menerus dua sisi	$\ell/21$
Kantilever	$\ell/8$

(Sumber : SNI 2847:2019)

Untuk  $f_y$  yang lebih besar dari 420 MPa, maka persamaan pada tabel 2.20 harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/700)$ . Untuk balok nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan  $w_c$  berkisaran antara 1440 hingga 1840  $\text{kg}/\text{m}^3$ , persamaan pada Tabel 2.20 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari (a) dan (b).

(a)  $1,65 - 0,0003 w_c$

(b) 1,09

#### 1. Rasio tulangan balok

Pada perencanaan balok lentir rasio tulangan bergantung pada mutu beton ( $F_c'$ ) dan mutu baja tulangan ( $F_y$ ), dan tidak bergantung pada besar-kecilnya ukuran penampang struktur. Nilai rasio sendiri berkaitan dengan keruntuhan yang terjadi pada balok lentir, dimana keruntuhan yang terjadi dikelompokkan menjadi 3 jenis keruntuhan yaitu, keruntuhan tekan, keruntuhan tarik, dan keruntuhan seimbang.

a. Keruntuhan tekan (*over-reinforced*)

Dalam kondisi ini beton akan mengalami kehancuran sebelum baja tulangan leleh, sehingga lendutan yang terjadi pada balok relative tetap. Namun ketika balok diberikan beban yang lebih besar maka akan terjadi keruntuhan mendadak, sehingga keruntuhan seperti ini sangat tidak diperbolehkan. Balok yang mengalami keruntuhan tekan adalah balok yang memiliki rasio yang besar, sehingga rasio tulangan pada balok tidak boleh melebihi rasio tulangan maksimum yang dihitung berdasarkan Persamaan 2.15 berikut ini :

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \frac{382,5 \cdot \beta_1 f'c}{(600 + fy) \cdot fy} \quad (2.15)$$

b. Keruntuhan Tarik (*Under-reinforced*)

Pada kondisi ini baja tulangan sudah leleh sebelum beton hancur, sehingga beton masih kuat menahan beban, dalam hal ini terjadi lendutan yang diakibatkan baja yang mengalami kelelahan dan menjadi plastis. Lendutan ini menjadi salah satu tanda sebelum terjadi keruntuhan, sehingga dianggap aman dan diperbolehkan dalam perencanaan. Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini memiliki rasio tulangan yang kecil, tetapi tidak kurang dari rasio tulangan minimum seperti yang dapat dihitung dengan Persamaan 2.16 berikut :

$$\rho_{maks} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \cdot fy} \text{ atau } \rho_{min} = \frac{1,4}{fy} \quad (2.16)$$

c. Keruntuhan seimbang (*Balance*)

Pada keadaan ini beton akan hancur bersamaan dengan baja tulangan yang leleh, sehingga kekuatan beton dan baja tulangan dapat dimanfaatkan sepenuhnya. Perencanaan balok dengan kebutuhan ini merupakan perencanaan yang ideal namun sulit untuk terpenuhi. Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini memiliki rasio tulangan yang seimbang dan dapat

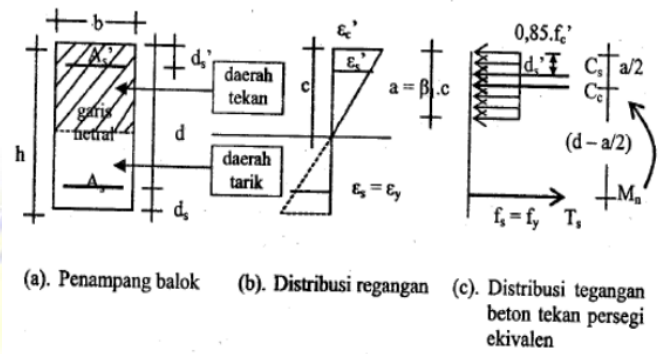


dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.17

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \quad (2.17)$$

## 2. Distribusi tegangan dan regangan Balok

Regangan dan tegangan yang terjadi pada balok dengan penampang beton bertulang rangkap dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut ini :



Gambar 2.10 Distribusi regangan dan tegangan pada balok bertulang rangkap

(Sumber : Asroni, 2010)

Pada perencanaan beton bertulang, regangan tulangan tarik selalu diperhitungkan setelah leleh. Sedangkan untuk tulangan tekan ( $\epsilon'_s$ ) regangan tulangan tekan sebelum leleh. Nilai tegangan tulangan tekan dapat dihiyung dengan menggunakan Persamaan 2.18 berikut :

$$\epsilon'_s \frac{a - \beta_1 \cdot d_{s'}}{a} \times 0,003 \quad (2.18)$$

Dimana :

- $\epsilon'_s$  = Regangan Tarik baja
- $a$  = Tinggi blok tegangan tekan ekivalen
- $\beta_1$  = Konstanta yang merupakan fungsi kuat beton
- $d_s$  = Jarak antar titik beraat tulangan Tarik dan tepi serat beton

Tegangan tekan baja tulangan  $f'_s$  dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.19 berikut :

$$f'_s \frac{a - \beta_1 \cdot d_{s'}}{a} \times 600 \quad (2.19)$$

### 3. Momen Nominal dan rencana balok

Pada balok bertulang rangkap bagian atas bekerja 2 uah gaya tekan ke kiri, sedangkan penampang balok bagian bawah bekerja 1 buah gaya tarik ke kanan. Gaya tekan dan gaya tarik tersebut sama besar dan bekerja berlawanan arah, sehingga menimbulkan momen yang disebut momen nominal actual ( $M_n$ ) yang terdapat pada Persamaan 2.20 sampai dengan Persamaan 2.24.

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \quad (2.20)$$

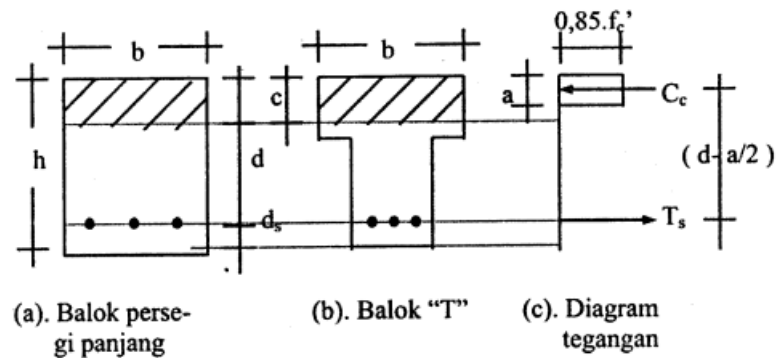
$$M_{nc} = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \text{ dengan } C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad (2.21)$$

$$M_{ns} = T_s \cdot (d - d') \text{ dengan } T_s = A_s f'_s \quad (2.22)$$

$$M_r = \phi \cdot M_n \text{ dengan } \phi = 0,9 \quad (2.23)$$

### 4. Konstrksi balok T

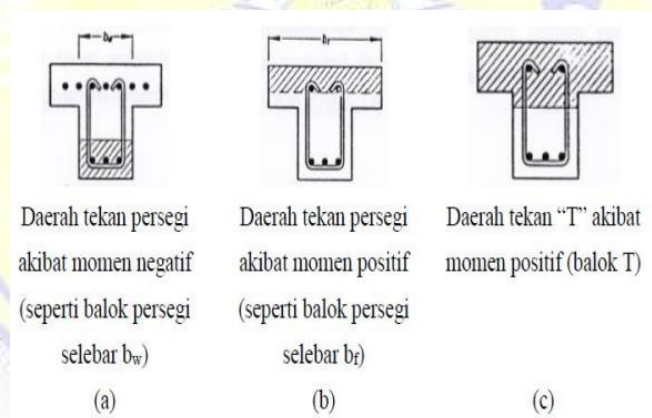
Pada hitungan struktur beton bertulang, dianggap bahwa beton merupakan bahan yang getas, artinya, meskipun beton sangat kuat untuk menahan beban tekan, tetapi tidak kuat menahan beban Tarik, sehingga mudah retak/patah. Jadi beban tarik yang bekerja pada struktur beton bertulang, dilimpahkan/ditahan oleh baja tulangan saja, sedangkan luas penampang pada daerah beton tarik tidak dapat dimanfaatkan untuk mendukung beban. Oleh karena itu, luas penampang beton tarik yang tidak dapat dimanfaatkan ini secara teoritis dapat dikurangi/ dipangkas sedemikian rupa sehingga bentuk balok beton seperti huruf “T”, dan disebut balok “T”, meskipun penampang beton dipangkas pada bagian bawah, kekuatan balok “T” ini secara teoritis masih tetap sama dengan kekuatan balok persegi panjang, asalkan tinggi garis netral (c) kedua balok bernilai sama seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut ini (Asroni,2010).



Gambar 2.11 Balok persegi, Balok "T" dan Diagram Tegangan Balok

(Sumber :Asroni : 2010)

Apabila momen yang bekerja pada penampang adalah momen negatif, maka balok "T" akan berperilaku sebagai balok persegi biasa (bagian yang disir pada gambar a), merupakan bagian dimana beton yang mengalami tekan, berbentuk empat persegi dengan lebar yang tertekan sebesar  $b_w$ , sehingga analisis dan desain yang dilakukan sama seperti balok persegi. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut ini :



Gambar 2.12 Bagian Tekan pada Balok "T"

(Sumber : Simanjuntak, 2016)

Jika momen yang bekerja pada penampang adalah momen positif, maka akan ada 2 kemungkinan yang terjadi yaitu :

- a. Balok akan berperilaku sebagai balok persegi jika bagian yang tertekan hanya pada bagian sayap saja seperti yang terlihat pada gambar (b), dengan lebar pada bagian tekan  $b_f$ .

b. Balok akan berperilaku sebagai balok “T” murni jika bagian yang tertekan meliputi sayap dan badan balok “T”.

Untuk balok- T nonprategang yang dibuat menyatu (monolit) atau pelat komposit, lebar efektif sayap  $b_f$  harus mencakup lebar badan balok  $b_w$  ditambah lebar efektif sayap yang menjorok sesuai Tabel 2.17, dimana  $h$  adalah ketebalan pelat dan  $S_w$  adalah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan.

Tabel 2.17 Batasan dimensi lebar sayap efektif untuk Balok T

Lokasi Sayap	Lebar sayap efektif, di luar penampang balok	
Kedua sisi balok	Sekurangnya	$8h$
		$S_w/2$
		$\ell_n/8$
Satu sisi balok	Sekurangnya	$6h$
		$S_w/2$
		$\ell_n/12$

(Sumber : SNI 2847:2019)

Untuk balok -T nonprategang terpisah, dimana sayap T-nya diperlukan untuk menambah luas daerah tekan, harus mempunyai ketebalan sayap tidak kurang atau sama dengan  $0,5b_w$  dan lebar efektif sayap tidak lebih atau sama dengan  $4b_w$ .

#### 5. Penulangan geser dan torsi balok

Tulangan geser berfungsi untuk menahan gaya geser atau gaya lintang yang bekerja pada bagian ujung balok sehingga dapat mengakibatkan retak miring pada balok. Sedangkan Torsi atau momen punter merupakan momen yang bekerja terhadap sumbu longitudinal balok atau elemen struktur yang dapat terjadi karena adanya beban eksentrik yang bekerja pada balok tersebut. Berdasarkan SNI 2847:2019 pengaruh torsi atau punter dapat diabaikan apabila momen punter terfaktor  $T_u$  memenuhi syarat pada Persamaan 2.24

$$T_u \leq \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} (\sum x^2 y) ; \text{ dengan } \phi = 0,75 \quad (2.24)$$

dengan

$$\sum x^2 y = x_1^2 y_1 + 2 \times 2x_2^2 (3x_2) \text{ untuk balok berpenampang persegi.}$$



Kuat momen torsi yang diberikan balok beton, dapat dihitung dengan Persamaan 2.25

$$T_c = \frac{\sqrt{\frac{f'_c}{15} \sum x^2 y}}{\sqrt{1 + (2,5 \cdot C_t \frac{T_u}{V_u})^2}} \quad (2.25)$$

Kemampuan maksimum menahan geser pada balok beton dihitung dengan Persamaan 2.26

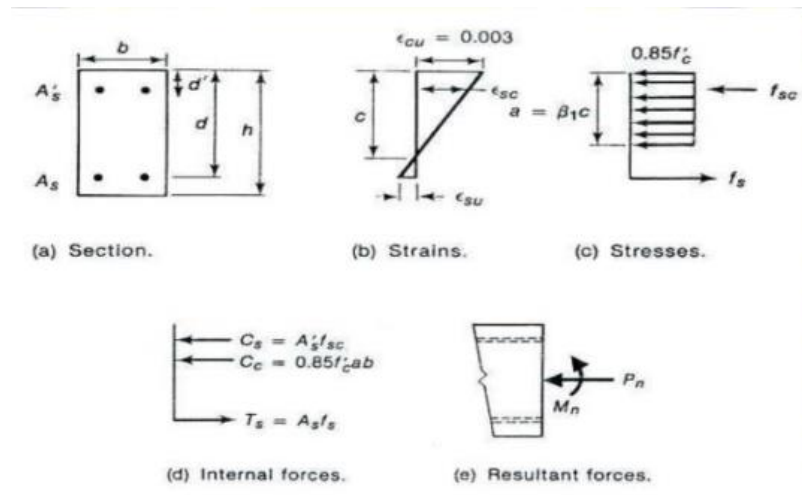
$$T_c = \frac{\sqrt{\frac{f'_c}{15} b_w \cdot d}}{\sqrt{1 + (2,5 \cdot C_t \frac{T_u}{V_u})^2}} \quad (2.26)$$

### 2.8.2 Kolom

pada suatu konstruksi bangunan gedung, kolom berfungsi sebagai pendukung beban-beban dari balok dan pelat, untuk diteruskan ke tanah dasar melalui fondasi. Beban dari balok dan pelat ini berupa beban aksial tekan serta momen lentur (akibat kontinuitas konstruksi), oleh karena itu dapat didefinisikan, kolom ialah suatu struktur yang mendukung beban aksial dengan/ tanpa momen lentur. Apabila kolom mengalami kegagalan, maka dapat berakibat keruntuhan struktur bangunan atas dari gedung secara keseluruhan (Asroni, 2010).

Kolom merupakan batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktur yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui fondasi (Sudarmoko, 1994).

Konsep perencanaan kolom pada dasarnya hampir sama dengan perencanaan balok, hanya saja ada penambahan beban aksial, kondisi penampang kolom bila dibebani tekan dan lentur maka kondisi dari tegangan dan regangan pada kolom digambarkan oleh diagram tegangan dan regangan pada Gambar 2.13 berikut ini :



Gambar 2.13 Diagram tegangan dan Regangan kolom

(Sumber : Ansari, 2019)

#### 1. Batas komponen tulangan struktural

Menurut Sudarmoko, dalam bukunya yang berjudul “Perencanaan dan Analisis Kolom Beton Bertulang tahun 1994, luas tulangan komponen structural tekan dibatasi oleh ketentuan berikut :

- a. Luas tulangan longitudinal komponen struktur tekan non komposit tidak boleh kurang dari 0,01 ataupun lebih dari 0,08 kali luas bruto penampang  $A_g$  (1%-8%)
- b. Jumlah minimum batang tulangan longitudinal pada komponen struktur tekan adalah 4 untuk batang tulangan di dalam Sengkang ikat segiempat dan lingkaran, tiga untuk batang tulangan di dalam Sengkang ikat segitiga, dan 6 untuk batang tulangan yang dikelilingi oleh tulangan spiral.

Berdasarkan SNI 2847:2019, Batasan untuk komponen tulangan longitudinal adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata-rata  $f_{pe} < 1,6$  MPa, luas tulangan longitudinal harus sekurang-kurangnya  $0,01A_g$ , namun tidak boleh melebihi  $0,08A_g$ .

- 2) Untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata – rata  $f_{pe} < 1,6$  MPa, jumlah minimum tulangan longitudinal adalah berdasarkan point a),b), dan c) berikut :
  - a) Tiga dalam Sengkang ikat segitiga
  - b) Empat dalam Sengkang ikat segi empat atau lingkaran
  - c) Enam dalam Sengkang spiral atau untuk kolom pada sistem pemikul momen khusus dalam Sengkang spiral melingkar.

## 2. Panjang tekuk kolom

Panjang tekuk kolom merupakan Panjang bersih antara pelat lantai atau balok yang ujung-ujungnya dikalikan dengan suatu faktor tekuk ( $k$ ) yang nilainya adalah sebagai berikut :

1.  $k \geq 1$  untuk kolom tanpa pengaku samping (*unbraced*)
2.  $k \geq 1$  untuk kolom pengaku samping (*braced*)

Faktor tekuk ( $k$ ) merupakan fungsi dari tingkat penjepitan ujung atas ( $\mu A$ ) dan tingkat penjepitan bawah ( $\mu B$ ) dimana tingkat penjepitan ujung kolom tersebut dihitung dengan Persamaan 2.27 berikut ini :

$$\mu \frac{\sum EI/L_u \text{ kolom}}{\sum EI/L_u \text{ Balok}} \quad (2.27)$$

Dengan :

$\mu$  : Tingkat penjepitan ujung kolom

$EI/L_u$  : Faktor kekuatan kolom atau balok yang ditinjau

Nilai dari faktor tekuk ( $k$ ) dapat diperoleh dari nimogram atau grafik alignment dari structure stability research council guide dengan memasukan nilai – nilai ( $\mu A$ ) dan ( $\mu B$ ) kemudian menarik garis lurus melewati titik – titik ( $\mu A$ ) dan ( $\mu B$ ) tersebut sehingga didapatkan nilai  $k$ .

Kenyataan dilapangan menunjukkan bahwa struktur tekan pada kolom/portal dengan beban aksial murni ( $e = 0$ ) merupakan hal yang sangat mustahil. Umumnya kolom memikul beban aksial dan momen. Momen pada kolom terjadi akibat :

- a. Kekuatan ujung
- b. Pengecoran yang monolit dengan balok – balok lantai
- c. Ketidaktepatan letak ukuran kolom
- d. Beton yang tidak simetris akibat perbedaan tebal pelat disekitar kolom
- e. Ketidaksempurnaan pelaksanaannya dan lain sebagainya.

Apabila menurut hitungan, suatu kolom secara teoritis hanya mendukung gaya aksial sentris dan untuk eksentris tambahan harus diperhitungkan. SNI 2002 pasal 10.8 menetapkan eksentritas minimum dalam (mm) dengan Persamaan 2.28 sebesar :

$$e_{min} = 15 + 0,03 h \quad (2.28)$$

Dengan  $h$  = tinggi kolom (mm)

### 3. Perencanaan kolom

Dalam perencanaan kolom yang dibebani beban aksial dan lentur atau kombinasi dari beban lentur dan aksial harus memenuhi peraturan pasal SNI 2847:2019, yaitu sebagai berikut :

- a. Perencanaan penampang yang dibebani lentur dan aksial atau kombinasi beban lentur harus didasarkan atas kompatibilitas regangan dan tegangan dengan menggunakan asumsi dalam pasal SNI 2847:2019.
- b. Kondisi regangan seimbang terjadi pada penampang ketika tulangan tarik tepat mencapai regangan yang berhubungan dengan tegangan leleh  $f_y$  pada saat yang bersamaan dengan tercapainya regangan batas 0,003 pada bagian beton tertekan.
- c. Penampang adalah terkendali tekan jika regangan resiko neto dalam baja tarik terjauh,  $\varepsilon_t$  sama dengan atau kurang batas regangan terkontrol tarik bila tekan mencapai batas reganga asumsi sebesar 0,003. Batas regangan terkendali tekan adalah regangan tarik neto dalam tulangan pada kondisi regangan seimbang. Untuk tulangan dengan mutu 420 MPa, dan untuk semua tulangan prategang, diizinkan untuk menetapkan batas regangan, terkendali tekan sama dengan 0,002.



- d. Penampang adalah terkendali tarik jika tegangan tarik neto dalam baja tarik terjauh,  $\varepsilon_t$  sama dengan atau lebih besar dari 0,005 bila beton tekan mencapai batas regangan asumsi sebesar 0,003. Penampang dengan  $\varepsilon_t$  antara batas regangan terkendali tekan dan 0,005 membentuk daerah transisi antara penampang terkendali tekan dan terkendali tarik.
- e. Untuk komponen struktur lentur non-prategang dan komponen struktur non-prategang dengan beban aksial terfaktor kurang dari 0,10  $f'_c A_g \varepsilon_t$  pada kekuatan nominal tidak boleh kurang dari 0,004. Pemakaian tulangan tekan diizinkan terkait dengan tulangan tarik tambahan untuk meningkatkan kekuatan komponen struktur lentur.
- f. Desain beban aksial  $\phi P_n$  dari komponen struktur tekan tidak boleh lebih besar dari  $\phi P_{n(max)}$  yang dihitung dengan Persamaan 2.29 dan Persamaan 2.30
- 1) Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan spiral yang memenuhi pasal 7.10.4 atau komponen struktur komposit yang memenuhi pasal 10.13.
 
$$\phi P_{n(max)} = 0,85 \cdot \phi (0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) f_y A_{st}) \quad (2.29)$$
  - 2) Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat yang memenuhi pasal 7.10.5.
 
$$\phi P_{n(max)} = 0,80 \cdot \phi (0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) f_y A_{st}) \quad (2.30)$$
  - 3) Untuk komponen struktur prategang, kekuatan aksial desain,  $\phi P_n$  tidak boleh diambil lebih besar dari 0,85 (untuk komponen struktur dengan tulangan spiral) atau 0,80 (untuk komponen struktur dengan tulangan pengikat) dengan kekuatan aksial desai pada eksentrisitas nol  $\phi P_o$ .
  - 4) Komponen struktur yang dibebani aksial tekan harus didesain terhadap momen maksimum yang mungkin menyertai beban aksial. Beban aksial terfaktor  $P_u$  dengan eksentrisitas yang ada tidak boleh melampaui nilai yang diberikan dalam pasal 10.3.6. Momen terfaktor maksimum  $M_u$  harus diperbesar untuk memperhitungkan pengaruh kelangsingan sesuai dengan pasal 10.10.

#### 4. Kolom pendek

Suatu komponen struktur tekan dikatakan pendek apabila perbandingan kelangsingan yaitu perbandingan Panjang ketuk kolom ( $kl_n$ ) terhadap radius girasi ( $r$ ) dapat dilihat pada Persamaan 2.31 :

$$\frac{kl_n}{r} \left( 34 - 12 \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \right) \quad (2.31)$$

Dengan :

$M_{1b} / M_{2b} = 1$  untuk unbraced frame

Nilai  $r = 0,3 h$  untuk kolom persegi

##### a. Kekuatan kolom pendek dengan beban sentris

Beban sentris menyebabkan tegangan tekan yang merata di seluruh bagian penampang. Pada SNI-2847-2002 mengenai prinsip perencanaan didapat Persamaan 2.32

$$P_{n(max)} = 0,80(0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (2.32)$$

##### b. Kekuatan kolom pendek dengan akibat beban uniaksial

Penampang melintang suatu kolom segi empat tipikal dengan distribusi regangan dan tegangan dan gaya yang bekerja. Persamaan keseimbangan gaya dan momen pada kolom pendek dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.33

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= 0,85f'_c \cdot b \cdot a + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_y \end{aligned} \quad (2.33)$$

Momen tahanan nominal dihitung dengan Persamaan 2.34 keseimbangan momen terhadap sumbu lentur kolom.

$$\begin{aligned} M_n &= P_n \cdot e \\ &= C_c(y - a/2) + C_s e(y - d') + T_s(d - y) \\ &= 0,85f'_c \cdot b \cdot a (y - a/2) + A'_s \cdot f'_s (y - d) + (A_s + F_s)(d - y) \end{aligned} \quad (2.34)$$

Apabila  $P_n$  adalah beban aksial dan  $P_{nb}$  adalah beban aksial dalam kondisi *balance* maka ada tiga kemungkinan jenis keruntuhan :

- 1)  $P_n < P_{nb}$  terjadi keruntuhan tarik
- 2)  $P_n = P_{nb}$  terjadi keruntuhan *balanced*
- 3)  $P_n > P_{nb}$  terjadi keruntuhan tekan

a) Kekuatan tarik menentukan

Awal keadaan runtuh dalam hal eksentrisitas yang besarnya dapat terjadi dengan lelehnya tulangan baja yang tertarik. Jika  $e > eb$  atau  $P_n > P_{nb}$  maka keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tarik yang diawali dengan lelehnya tulangan tarik beban aksial nominal pada kondisi tarik. Dapat dilihat pada Persamaan 2.35

$$P_n = 0,85f'_c \cdot b \left[ \left( \frac{h-2e}{2d} \sqrt{\left( \frac{h-2e}{2d} \right)^2 + 2mp(1 - \frac{d'}{d})} \right) \right] \quad (2.35)$$

b) Kondisi keruntuhan balanced

Jika eksentrisitas semakin kecil maka ada ada suatu transisi dari keruntuhan tarik ke keruntuhan tekan. Kondisi keruntuhan balanced tercapai apabila tulangan tarik mengalami regangan leleh dan saat itu pula beton mengalami regangan batasnya. Persamaan 2.36 tinggi balok tekan pada kondisi seimbang :

$$ab = \beta_1 \cdot e_b = \beta_1 \cdot \frac{600d}{600 + f_y} \quad (2.36)$$

Besarnya gaya aksial dan momen yang mampu ditahan kolom pada kondisi balanced dapat dihitung dengan Persamaan 2.37 sampai 2.38 berikut ini :

$$P_{nb} = 0,85f'_c \cdot b \cdot a + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_y \quad (2.37)$$

$$M_{nb} = 0,85f'_c \cdot b \cdot a_b \left( \frac{h}{2} - \frac{a_b}{2} \right) + A'_s f'_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) A_s f_y \left( d - \frac{h}{2} \right) \quad (2.38)$$

c) Kondisi tekan menentukan

Terjadinya keuntungan tekan diawali dengan hancurnya beton. Eksentrisitas yang terjadi lebih daripada eksentrisitas *balanced* dan beban tekan melampaui kekuatan berimbang. Besar beban aksial nominal dapat dihitung dengan Persamaan 2.39 berikut ini :

$$P_n = \frac{A_s \cdot f_y}{\frac{e}{d} - d' + 0,5} + b \cdot h \frac{f'_c}{\frac{3h \cdot e}{d^2} + 1,18} \quad (2.39)$$

## 5. Kolom Panjang

Apabila perbandingan kelangsingan untuk kolom pendek tidak terpenuhi, maka komponen struktur tekan dikatakan kolom Panjang. Sehingga diperlukan suatu faktor pembesaran momen agar dapat menambah kekuatan nominal dari kolom Panjang tersebut yang dinyatakan dengan Persamaan 2.40 berikut ini :

$$\delta s_y = \frac{1}{1 - (\sum p_u / \phi \sum p_c)} > 1 \quad (2.40)$$

Sehingga diperoleh momen rencana terfaktor yang diperbesar dinyatakan dengan Persamaan 2.41 sampai dengan Persamaan 2.46.

$$M_c = M_{2b} + \delta s M_{2s} \quad (2.41)$$

Dengan :

$$\delta b = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{\phi P_c}} \geq 1 \quad (2.42)$$

$$\delta s = \frac{C_m}{1 - \frac{\sum P_u}{\phi \sum P_c}} \geq 1 \quad (2.43)$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 M_{1b} / M_{2b} \geq 0,4 \quad (2.44)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{kLu^2} \quad (2.45)$$

$$EI = \frac{E_c I_g}{2,5(1 + \beta d)} \quad (2.46)$$

## 6. Penulangan geser kolom

Penulangan geser kolom pada dasarnya adalah sama dengan penulangan geser yang ada pada balok. Hanya pada kolom daerah ujung-ujung kolom harus mendapat perhatian khusus sebagai syarat bagi suatu struktur bangunan bertulang yang tahan gempa. Berdasarkan SNI 2847:2019 mengenai kemampuan geser yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial dan untuk komponen struktur yang mengalami gaya tarik aksial yang besar yaitu dengan Persamaan 2.47- 2.48



$$V_c = \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (2.47)$$

Untuk komponen struktur yang mengalami gaya tarik aksial yang besar

$$V_c = \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d \quad (2.48)$$

Tapi tidak kurang daripada nol, dengan  $N_u$  adalah negative untuk tarik. Besaran  $N_u/A_g$  harus dinyatakan dalam MPa. Kekuatan geser satu arah nominal dalam penampang ( $V_n$ ) dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.49 berikut:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.49)$$

Dimensi untuk desain penampang harus memenuhi Persamaan 2.50, persamaan ini ditunjuk agar dapat meminimalisir keruntuhan diagonal tekan dalam beton dan batas perkembangan retak.

$$V_u \leq \phi (V_c + 0,066 \sqrt{f'_c} b_w d) \quad (2.50)$$

Luas minimum tulangan geser,  $A_{ymin}$ , harus disediakan disemua wilayah dimana  $V_u > 0,5\phi V_c$ . Apabila tulangan geser diperlukan,  $A_{ymin}$  harus lebih besar dari point a) dan b) pada Persamaan 2.51 dan 2.52

$$a) 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (2.51)$$

$$b) 0,35 \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (2.52)$$

Apabila tulangan geser harus menggunakan sengkang ikat, sengkang pengekang atau sengkang spiral. Spasi maksimum untuk tulangan sengkang geser harus sesuai dengan Tabel 2.18 berikut ini.

Tabel 2.18 Spasi maksimum untuk tulangan geser

$V_s$	Spasi maksimum, s, mm		
		Kolom nonprategang	Kolom prategang
$\leq 0,33 \sqrt{f'_c} b_w d$	Terkecil dari	d/2	3h/4
		600	
$> 0,33 \sqrt{f'_c} b_w d$	Terkecil dari	d/4	3h/8
		300	

(Sumber: SNI 2847:2019)

### 2.8.3 Pelat

Pelat beton bertulang merupakan pelat yang direncanakan dengan menggunakan sistem beton bertulang yang arahnya horizontal, dan bidang struktur bekerja tegak lurus pada beban yang bekerja. Ketebalan pada bidang *relative* sangat kecil apabila dibandingkan dengan bentang Panjang atau lebar bidangnya. Pelat beton bertulang sangat kaku, serta memiliki arah horizontal, sehingga pada bangunan gedung, pelat berfungsi sebagai diafragma/ unsur pengaku horizontal yang bisa membantu ketegaran yang terjadi pada balok portal (Asroni 2010).

Pelat merupakan suatu elemen struktur yang mempunyai ketebalan relatif kecil jika dibandingkan dengan lebar dan panjangnya. Menurut Sudarmoko, 1996 pelat merupakan struktur bidang (permukaan) yang lurus, (datar atau melengkung) yang tebalnya jauh lebih kecil dibanding dengan dimensi yang lain. Dimensi suatu pelat bisa dibatasi oleh suatu garis lurus atau garis lengkung. Ditinjau dari segi statika, kondisi tepi *boundary condition* pelat bisa bebas *free*, bertumpu sederhana *simply supported*, dan jepit. Beban statis atau dinamis yang dipikul oleh pelat umumnya tegak lurus permukaan pelat.

Ukuran ketebalan pelat yang *relative* kecil bila dibandingkan dengan Panjang bentangnya sangat kurang, sehingga pelat mengalami defleksi atau lendutan yang besar. Dari peraturan dan keamanan konstruksi, lendutan yang terjadi harus dicegah agar pelat lantai dapat berfungsi dan memberikan kenyamanan berpijak bagi penghuninya. Dari ilmu struktur dan bahan konstruksinya, dapat dilakukan berbagai alternatif teknis untuk memberikan kekakuan dan menambah kekuatan pada pelat lantai diantaranya yaitu :

- a. Mengurangi lebar bentang pelat dengan cara menggunakan balok-balok silang berupa balok-induk dan balok-anak. Secara umum alternatif ini banyak digunakan karena lebih mudah, baik dalam analisi maupun pelaksanaannya.
- b. Menambah ukuran tebal pelat, namun cara ini tidak dianjurkan karena apabila tebal pelat di tambah maka akan mempengaruhi berat dari struktur itu sendiri, serta dapat mengakibatkan pemborosan pada pemakaian bahan.

- c. Dengan menggunakan struktur *grid*, struktur *grid* sendiri merupakan struktur yang menggunakan balok *grid* sebagai alternatif untuk menghasilkan kekakuan dan menambah kekuatan pada pelat lantai, struktur *grid* juga biasa digunakan pada bentangan besar, struktur *grid* juga mempunyai sifat utama dimana dapat mendistribusikan beban pada kedua arah secara seimbang, selain pada kekuatan struktur, penggunaan struktur *grid* sendiri dapat mendukung sistem perencanaan arsitektur yang menghendaki variasi bentuk dan atau platformnya.

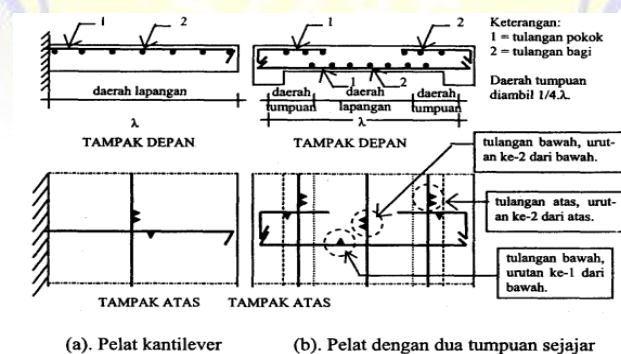
## 2.9 Tipe-tipe Pelat

### 2.9.1 Pelat rusuk (joins construction)

Pelat rusuk merupakan pelat yang ditopang dengan sejumlah rusuk dengan jarak beraturan serta memiliki ketebalan 50 hingga 100 mm. Rusuk mempunyai tinggi lebih dari 3,5 kali lebar minimumnya, dan mempunyai lebar minimum 100 mm. Rusuk ditopang oleh balok induk utama yang langsung menumpu pada kolom. Untuk perencanaan struktur pelat dengan bentang 6-9 m, sangat cocok menggunakan sistem pelat rusuk.

### 2.9.2 Pelat satu arah

Pelat satu arah merupakan pelat yang mengalami lentur atau lendutan dalam arah tegak lurus dari sisi tumpuan, hal ini diakibatkan karena pelat hanya di tumpu di kedua sisi, beban yang didistribusikan oleh pelat dalam satu arah yaitu arah tumpuan. Contohnya dapat dilihat pada Gambar 2.14 berikut :



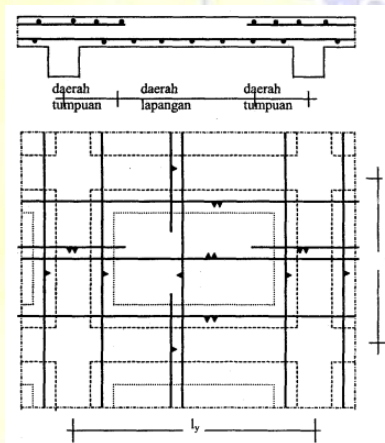
Gambar 2.14 Pelat dengan Tulangan Pokok Satu Arah

(Sumber : Asroni, 2010)

### 2.9.3 Pelat dua arah

Pelat dua arah merupakan pelat yang ditumpu oleh empat sisi yang sejajar, karena momen lentur bekerja pada dua arah, yaitu searah dengan bentang  $I_x$  dan bentang  $I_y$ , maka tulangan pokok juga dipasang pada dua arah yang saling tegak lurus (bersilangan), sehingga tidak perlu tulangan bagi. Dikarenakan pelat pada daerah tumpuan hanya bekerja momen lentur satu arah, maka pada daerah tumpuan harus tetap dipasang tulangan pokok dan tulangan bagi (Asroni, 2010), adapun contohnya dapat dilihat pada Gambar 2.15

Pelat dua arah merupakan pelat yang ditopang di keempat sisi, dengan rasio bentang Panjang terhadap bentang pendeknya kurang dari 2. Adapun sistem pelat dua arah dapat dibedakan kedalam beberapa jenis diantaranya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.15 Pelat dengan Tulangan Pokok Dua Arah

(Sumber : Asroni, 2010)

#### 1. Sistem balok-pelat dua arah

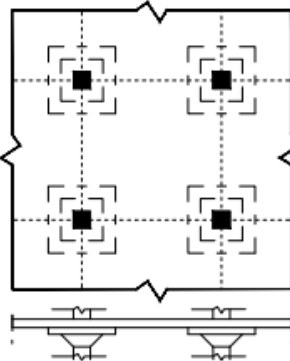
Pada sistem pelat ini balok ditumpu oleh balok di keempat sisinya. Beban yang berada pada pelat akan di salurkan pada ke empat penumpu balok yang selanjutnya beban akan di transfer ke kolom. Balok akan meningkatkan kekakuan pelat, sehingga lendutan yang terjadi akan *relative* lebih kecil.



## 2. Sistem slab datar (*flat slab*)

*Slab* datar merupakan sistem struktur pelat beton dua arah yang pada masing-masing sisinya tidak memiliki balok penumpu. Beban pada pelat akan langsung di transfer ke kolom, sehingga kolom cenderung akan menimbulkan kegagalan geser pons, namun hal ini dapat diatasi dengan menggunakan beberapa alternatif, diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Memberikan penebalan setempat pada pelat (*drop panel*) serta menyediakan kepala kolom (*column capital*).
- b. Menyediakan penebalan panel namun tanpa kepala kolom, panel disekitar kolom harus cukup tebal untuk memikul terjadinya tegangan Tarik diagonal yang muncul akibat geser pons.
- c. Menggunakan kepala kolom tanpa adanya penebalan panel, namun hal ini jarang di gunakan. Sistem *slab* datar digunakan pada bentang 6 -9 meter, dengan beban hidup yang dipikul sebesar 4 -7 kN/m<sup>2</sup>. Berikut ditampilkan Gambar 2.16 *Slab* datar (*Flat slab*)



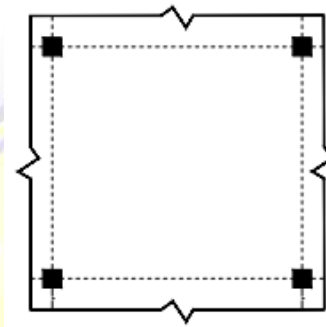
Gambar 2.16 *Slab* datar (*Flat Slab*)  
(Sumber :Setiawan, 2016)

## 3. Sistem Pelat datar (*Flat Plate*)

Sistem pelat lantai datar merupakan pelat lantai tanpa adanya balok – balok pada sepanjang garis kolom dalam, namun balok – balok tepi tepi luar lantai boleh jadi ada atau tidak ada (Sudarmoko,1996).

Sistem pelat datar adalah sistem pelat yang bertumpu langsung ke kolom tanpa adanya penebalan panel dan kepala kolom. Akibat geser pons, potensi kegagalan struktur terbesar akan timbul, yang akan mengakibatkan tegangan Tarik

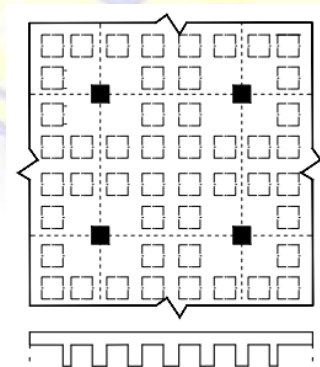
diagonal. Untuk mengatasi tidak adanya penebalan panel dan kepal kolom, maka dibutuhkan ketebalan panel yang lebih besar atau dapat juga diatasi dengan memberikan penulangan ekstra pada area sekitar kolom. Sistem pelat datar dapat digunakan pada struktur dengan bentang pelat 6 – 7,5 meter, dan menopang beban hidup sebesar 2,5 – 4,5 kN/m<sup>2</sup>. Berikut ditampilkan Gambar 2.17 Pelat datar (*Flat plate*).



Gambar 2.17 Pelat Datar (*Flat plate*)  
(Sumber :Setiawan, 2016)

4. Pelat dua arah berusuk

pelat dua arah berusuk merupakan sitem pelat yang memiliki ketebalan antara 50 sampai 100 mm dan ditumpu oleh rusuk – rusuk dalam dua arah. Jarak antar rusuk berkisar antara 500 – 750 mm. tepi -tepi pelat ditopang oleh balok namun pelat juga dapat langsung menumpu pada kolom namun pelat yang berada di sekitar kolom harus diberikan penebalan. Berikut ditampilkan Gambar 2.18 Pelat rusuk dua arah (*waffle*).



Gambar 2.18 Pelat rusuk dua arah (*waffle*)  
(Sumber : Setiawan , 2016)

## 2.10 Persyaratan Struktur Pelat Lantai

Dalam merencanakan sebuah konstruksi bangunan gedung terdapat standar serta peraturan yang menjadi acuan persyaratan, dalam hal ini, standar yang digunakan sebagai acuan adalah SNI 2847:2019 persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Standart ini juga berisi ketentuan – ketentuan yang menjadi pedoman dalam proses analisis dan desain pelat lantai, terlepas dari metode apa yang digunakan dalam analisis pelat lantai.

### 1. Tebal minimum Pelat

#### a. Pelat satu arah

Berdasarkan SNI 2847:2019, pelat satu arah dapat di desain dengan memberikan batasan perencanaan sebagai berikut :

- 1) Untuk  $f_y$  lebih dari 420 Mpa, maka persamaan pada Tabel 2.17 harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/700)$
- 2) Untuk pelat nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan  $W_c$  berkisar antara 1440 hingga 1840  $kg/m^3$ , maka persamaan pada tabel 2.13 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari (a) dan (b).

Dimana : (a) =  $1,65 - 0,0003$

(b) = 1,09

- 3) Untuk pelat solid nonprategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan pelat  $h$  tidak boleh kurang dari batas minimum. Berikut disajikan Tabel 2.19 ketebalan minimum pelat

Tabel 2.19 Ketebalan minimum pelat

Kondisi tumpuan	$h$ Minimum
Tumpuan sederhana	$l / 20$
Satu ujung menerus	$l / 24$
Kedua ujung menerus	$l / 28$
Kantilever	$l / 10$

(Sumber : SNI 2847:2019)

- b. Untuk meminimalisir kerusakan akibat lendutan , maka lendutan harus diperkirakan apabila memikul konstruksi yang akan mengalami kerusakan

akibat lendutan yang besar, adapun batas lendutan ditentukan dalam Tabel 2.20 dibawah ini :

Tabel 2.20 Batas Lendutan

Jenis komponen struktur	Kondisi		Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen – elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar		Lendutan seketika akibat $L_r$ dan $R$ maksimum	$l/180$
Lantai			Lendutan seketika akibat $L$	$l/360$
Atap atau lantai	Memikul atau disatukan dengan elemen – elemen nonstruktural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen nonstruktural, yaitu jumlah dari lendutan jangka Panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban <i>hidup</i> <sup>[2]</sup>	$l/480$
		Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar		$l/240$

(Sumber : SNI 284:2019)

4) Ketentuan selimut beton yang sudah diisyaratkan terdapat pada SNI 2847:2019, adapun ketentuannya terdapat pada Tabel 2.21 berikut :

Tabel 2.21 Ketebalan selimut beton

Paparan	Komponen struktur	Tulangan	Ketebalan selimut, mm
Dicor dan secara permanen kontak dengan tanah	semua	semua	75
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanag	semua	Batang D19 hingga D57	50
		Batang D16, kawat $\emptyset 13$ atau D13 dan yang lebih kecil	40
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk dan dinding	Batang D43 dan D57	40
		Batang D36 dan yang lebih kecil	20



Paparan	Komponen struktur	Tulangan	Ketebalan selimut, mm
	Balok, kolom, pedestal dan batang tarik	Tulangan utam, Sengkang, Sengkang ikat, spiral dan Sengkang pengekang	40

(Sumber : SNI 2847:2019)

- 5) Persyaratan untuk tulangan susut dan suhu pelat satu arah sudah diisyaratkan pada SNI 2847:2019, adapun ketentuannya terdapat pada Tabel 2.22 berikut ini :

Tabel 2.22 Rasio luas tulangan ulir susut dan suhu minimum

Jenis tulangan	$f_y$ MPa	Rasio tulangan minimum	
Batang ulir	$< 420$	0,0020	
Batang ulir atau kawat las	$\geq 420$	Terbesar dari	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$ 0,0014

(Sumber : SNI 2847:2019)

c. Pelat dua arah

Dalam SNI 2847:2019 sebuah *drop panel* pada pelat diperlukan untuk mengurangi jumlah tulangan momen negative atau untuk memenuhi ketebalan pelat minimum yang sudah diizinkan, ketebalan perlu minimum yang dikurangi, dan jumlah tulangan ulir momen negative pada tumpuan harus memenuhi (a) dan (b)

- 1) *Drop panel* harus menjorok di bawah pelat paling sedikit seperempat tebal pelat bersebelahan.
- 2) *Drop panel* harus diteruskan di setiap arah dari garis pusat tumpuan dengan jarak tidak kurang dari sepeenam Panjang bentang yang diukur dari pusat ke pusat tumpuan dalam arah tersebut.

a) Tebal minimum pelat

Ketebalan minimum pelat untuk pelat beton nonprategang tanpa balok interior tidak tergantung pada pembebanan dan modulus elastisitas beton, keduanya memiliki pengaruh yang signifikan pada lendutan.ketebalan minimum ini tidak berlaku untuk pelat dengan

beban tambahan yang sangat besar atau untuk beton dengan modulus elastisitas yang relative rendah dibandingkan beton normal. Lendutan harus dihiyung untuk situasi tersebut Pelat nonpartegang tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya yang memiliki rasio bentang Panjang terhadap bentang pendek maksimum 2, ketebalan pelat keseluruhan  $h$  tidak boleh kurang dari batasan pada Tabel 2.23, dan memiliki nilai terkecil antara a) atau b), berikut ini :

- a) Pelat tanpa *drop panel* 125 mm
- b) Pelat dengan *drop panel* 100 mm

Tabel 2.23 ketebalan pelat dua arah tanpa balok interior (mm)

$f_y$ , MPa	Tanpa <i>drop panel</i>			Dengan <i>drop panel</i>		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi		Tanpa balok interior	Dengan balok tepi	
280	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

(Sumber : SNI 2847:2019)

Untuk pelat nonprategang dengan balok membentang di antara tumpuan di semua sisi, ketebalan pelat keseluruhan  $h$  harus memenuhi Batasan pada Tabel 2.24 berikut ini :

Tabel 2.24 ketebalan minimum pelat dua arah dengan balok di antara tumpuan pada semua sisi

$\alpha_{fm}$	$h$ minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 0,2$	Terbesar dari :	$\frac{\ell_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b)
		125	(c)
$\alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari :	$\frac{\ell_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$	(d)
		90	(e)

(Sumber : SNI 2847:2019)

## 2. Tulangan pelat

### a. Tulangan geser (Sengkang)

#### 1) Spasi tulangan geser

tulangan geser yang terdiri dari tulangan atau kawat yang terangkur dengan baik dan satu atau banyak kaki Sengkang, atau Sengkang tertutup dapat meningkatkan tahanan geser punching (*punching shear*) pelat. Apabila Sengkang dipasang sesuai dengan Tabel 2.19, dan dipasang secara detail, tulangan geser pelat akan menjadi lebih efektif. maka batas lokasi dan spasi sengkang harus sesuai dengan Tabel 2.25 berikut ini :

#### 2) Luas minimum tulangan geser

Luas minimum tulangan geser,  $A_{v,min}$ , harus disediakan pada semua penampang dimana  $V_u > \phi V_c$ . untuk pelat per cetak berongga tanpa beton penutup  $h > 315$  mm,  $A_{v,min}$ , harus disediakan di semua penampang dimana  $V_u > 0,5 \phi V_{cw}$ .

### b. Tulangan utama

Rasio tulang utama mencakup tumpuan maupun lapangan, rasio tulangan utama yang digunakan tidak boleh melebihi rasio maksimum ataupun kurang dari rasio minimum yang telah ditetapkan. Perhitungan rasio yang digunakan adalah sebagai berikut, yaitu pada Persamaan 2.53 sampai dengan Persamaan 2.55

$$\rho b = \frac{f'_c}{f_y} \beta \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.53)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho b \quad (2.54)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ atau } \rho_{min} = 0,0025 \quad (2.55)$$

## 2.11 Metode Koefisien Momen

Ada beberapa metode yang bisa dilakukan dalam analisa pelat lantai, dua diantaranya adalah koefisien momen dan metode perancangan langsung, metode koefisien momen dilakukan dengan cara menggunakan nilai – nilai tertentu sebagai

koefisien dalam menentukan besarnya momen yang terjadi, baik momen yang terjadi di daerah lapangan maupun pada daerah tumpuan. Karena nilai -nilai koefisien momen sudah di sediakan, metode koefisien momen ini cukup mudah dan praktis diterapkan, namun metode ini menjadi kurang efektif untuk digunakan pada pelat dengan bentangan yang cukup Panjang. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan momen ini dapat dilihat pada Persamaan 2.56 berikut:

$$M = 0,001. qu. lx^2 \quad (2.56)$$

Dimana  $qu$  sebagai beban total pada pelat dan  $lx$  sebagai jarak pada bentang terpendek Persamaan perhitungan ketebalan pelat. Untuk nilai  $x$  yang merupakan koefisien momen dapat diperoleh pada tebal koefisien momen yang terdapat dalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia Tahun 1971.

### 2.12 Persamaan perhitungan ketebalan pelat

Pelat lantai dengan menggunakan sistem *waffle slab* terdiri dari pelat dan balok rusuk. Perhitungan ketebalan pelat lantai untuk mengendalikan lendutan yang mungkin terjadi pada struktur *waffle slab*, mengacu pada SNI 2847:2019, dimana tebal *slab* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.57 berikut ini :

$$\frac{S - b}{12} \leq t \leq 50 \text{ mm} \quad (2.57)$$

Keterangan :

$S$  = jarak bersih antara rusuk balok *waffle slab* dimana harus lebih kecil dari 750 mm (SNI 2847:2019)

$t$  = Tebal pelat

$b$  = Lebar balok *grid*

### 2.13 Dinding Penahan Tanah (*Retaining Wall*)

Dinding penahan tanah merupakan komponen penting pada struktur bangunan utama. Dinding penahan tanah merupakan dinding yang dibangun untuk menahan massa tanah di atas struktur atau bangunan yang dibuat. Dinding penahan tanah juga berfungsi mencegah keruntuhan tanah yang miring, dan keruntuhannya



tidak dapat dijamin oleh tanah itu sendiri. Tanah yang tertahan memberikan dorongan secara aktif pada struktur dinding sehingga struktur cenderung akan terguling atau akan tergeser. Berdasarkan bentuk dan penahan terhadap tanah, dinding *retaining wall* dapat dibedakan menjadi dinding *gravity*, dinding *semigravity* dan dinding *nongravity* (Putri, 2016).

Dinding penahan tanah diizinkan didesain untuk beban seismik baik sebagai dinding yang leleh atau tidak leleh. Dinding penahan beton bertulang atau dinding pasangan bata kantilever diasumsikan dinding yang leleh dan harus didesain sebagai elemen dinding lentur sederhana (SNI 1726:2019).

### **2.13.1 Jenis-jenis retaining wall**

Berdasarkan cara untuk mencapai stabilitasnya *Retaining wall* dapat dikelompokkan dalam beberapa jenis yaitu:

1. Dinding gravitasi (*Gravity wall*)

Dinding yang biasanya dibuat dari beton murni (tanpa tulangan atau dari pasangan batu kali. Stabilitasnya diperoleh hanya dengan mengandalkan berat sendiri konstruksinya. Tinggi dinding ini hanya berkisar tidak lebih dari 4 meter.

2. Dinding kantilever (*Cantilever Wall*)

Dinding ini merupakan dinding yang terbuat dari beton dan tulangan yang tersusun dari suatu dinding vertikal dan tapak kaki. Masing-masing berperan sebagai balok atau pelat kantilever. Stabilitas dinding diperoleh dari berat sendiri dan berat tanah. Tinggi dinding tidak lebih 6-7 meter.

3. Dinding kontrafort (*Counterfort Wall*)

Kontrafort berfungsi sebagai pengikat tarik dinding vertikal dan ditempatkan pada bagian timbunan dengan interval jarak tertentu. Dinding kontrafort lebih ekonomis, apabila digunakan pada dinding dengan ketinggian lebih dari 7 meter.

4. Dinding *butterss* (*Butterss Wall*)

Dinding *butterss* hampir sama dengan dinding kontrafort, hanya berbeda pada bagian kontrafort diletakan di depan dinding. Dinding ini lebih ekonomis untuk dinding dengan ketinggian lebih dari 7 meter.

5. Abutment Jembatan (*Bridge Abutment*)

Struktur ini berfungsi seperti dinding penahan tanah yang memberikan tahanan horizontal dari tanah timbunan yang ada dibelakangnya.

6. *Box culvert*

*Box culvert* merupakan beton bertulang pra cetak berbentuk segiempat yang memiliki spigot socket. *Box culvert* umumnya digunakan untuk saluran drainase. Untuk ukuran yang lebih besar *box culvert* dapat dijadikan trowongan ataupun jembatan.

### 2.13.2 Tekanan tanah

Tekanan tanah merupakan tekanan yang berasal dari tanah ke struktur, konsep tekanan tanah sangat penting untuk masalah stabilitas tanah. Tekanan tanah dapat dibagi menjadi 2 yaitu, tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif

1. Tekanan tanah aktif

Tekanan tanah aktif merupakan tekanan tanah yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah sebagai akibat dari Gerakan retaining wall menjauhi tanah dibelakangnya. Dalam menentukan tekanan tanah aktif perlu dilakukan Analisa terhadap koefisien tanah aktif ( $K_a$ ). Adapun perhitungan nilai koefisien tanah aktif ( $K_a$ ) dan perhitungan tekanan tanah aktif ( $P_a$ ) terdapat pada Persamaan 2.58 sampai persamaan 2.59 berikut:

$$K_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.58)$$

$$P_a = \frac{1}{2} \times H^2 \times \gamma \times K_a \quad (2.59)$$

2. Tekanan tanah pasif

Tekanan tanah pasif merupakan tekanan tanah yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah sebagai akibat Gerakan retaining wall menekan tanah

dibelakangnya. Adapun perhitungan nilai koefisien tanah pasif ( $Kp$ ) dan perhitungan tekanan tanah aktif ( $Pa$ ) terdapat pada Persamaan 2.60 sampai persamaan 2.61 berikut:

$$Kp = tg^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (2.60)$$

$$Pa = Kp \times \gamma \times H \quad (2.61)$$

### 2.13.3 Stabilitas *retaining wall*

Untuk menjamin stabilitas *retaining wall* Langkah pertama yang harus dilakukan yaitu menetapkan ukuran *retaining wall*, *retaining wall* harus memiliki stabilitas yang cukup terhadap guling dan geser akibat dilampauinya daya dukung tanah.

#### a. Stabilitas terhadap geser

Akibat tekanan tanah aktif horizontal yang kua, maka *retaining wall* tergeser atau terdorong. Gaya geser ini dapat dilawan oleh berat sendiri *retaining wall*, berat tanah di atas tumit dan tekanan tanah pasif. Faktor aman terhadap geser dapat dihitung dengan Persamaan 2.62 berikut:

$$FS_{geser} = \frac{\sum RH}{\sum Ph} \geq 1,5 \quad (2.62)$$

Faktor aman terhadap penggeseran dasar fondasi ( $F_{gs}$ ), diambil 1,5. Menurut Bowles (1977) nilai  $F_{gs} \geq 1,5$

#### b. Stabilitas terhadap guling

Tekanan tanah aktif horizontal yang kuat dapat menyebabkan *retaining wall* terguling pada titik guling. Gaya guling ini akan dilawan oleh berat sendiri *retaining wall*, berat tanah di atas tumit dan tekanan tanah pasif. Faktor aman terhadap guling dapat dihitung berdasarkan Persamaan 2.63 berikut:

$$FS_{guling} = \frac{\sum MR}{\sum Mo} \geq 1,5 \quad (2.63)$$

Faktor aman terhadap guling dasar pondasi ( $F_{gl}$ ), diambil 1,5. Menurut Bowles (1977) nilai  $F_{gs} \geq 1,5$ .

## **2.14 Pondasi**

Pondasi merupakan elemen struktur paling bawah dan berfungsi meneruskan beban yang diterima dari bangunan yang ada di atasnya. Secara umum pondasi dibagi menjadi dua yaitu pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*) (Sardojo, 1991).

Karena pondasi harus memikul bangunan beserta beban-beban yang bekerja pada bangunan, maka dalam perencanaan pondasi harus diperhitungkan dengan cermat terhadap 2 macam beban, yaitu beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi merupakan beban vertikal dengan arah dari atas ke bawah, dan berasal dari struktur bangunan, baik berupa beban mati, maupun beban hidup. Sedangkan beban lateral merupakan beban horizontal dengan arah dari kiri ke kanan atau dari kanan ke kiri dan berasal dari luar struktur bangunan, baik berupa beban yang diakibatkan oleh angin maupun beban yang diakibatkan oleh gempa (Asroni, 2010).

### **2.14.1 Persyaratan Pondasi**

Struktur pondasi dari suatu bangunan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga proses pemindahan beban bangunan ke tanah dasar dapat berlangsung dengan baik dan aman, untuk memenuhi keperluan tersebut, pondasi harus direncang berdasarkan persyaratan berikut.

1. Pondasi harus cukup kuat untuk mencegah penurunan (*settlement*) dan perputaran (rotasi) yang berlebihan.
2. Tidak terjadi penurunan setempat yang terlalu besar bila dibandingkan dengan penurunan pondasi di dekatnya.
3. Cukup aman terhadap bahaya longsor
4. Cukup aman terhadap gaya guling.

### **2.14.2 Daya Dukung Tanah Pondasi**

Jenis dan besar kecilnya ukuran pondasi sangat ditentukan oleh kekuatan/daya dukung tanah dibawah pondasi tersebut. Sebagai contoh untuk jenis pondasi telapak tunggal, semakin kuat daya dukung tanah, semakin kecil ukuran pondasi



yang akan direncanakan, dan sebaliknya. Untuk tanah dengan daya dukung lemah, harus menggunakan jenis pondasi lain contohnya fondasi sumuran atau bahkan digunakan tiang pancang.

Kekuatan/daya dukung tanah pada umumnya dapat diketahui melalui berbagai usaha berikut.

1. Peraturan bangunan setempat yang dikerluarkan oleh lembaga terkait.
2. Pengalaman tentang pembuatan pondasi yang sudah ada, atau keterangan yang berkaitan dengan pondasi di sekitarnya.
3. Hasil pelaksanaan/pengujian tanah, baik pengujian di laboratorium maupun pengujian di lapangan.

### 2.14.3 Jenis Pondasi

Menurut Asroni, 2010 berdasarkan letak kedalaman tanah kuat yang digunakan sebagai pendukung pondasi, maka pondasi digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Pondasi dangkal

Kedalaman tanah kuat untuk pondasi dangkal diperkirakan mencapai 3 meter di bawah permukaan tanah. Yang termasuk golongan. Beberapa contoh pondasi dangkal yaitu :

- a) Pondasi *Staal* atau pondasi lajur

Pondasi *staal* dibuat dari pasangan bata atau pasangan batu kali, dengan kedalaman tanah kuat sampai 1,20 meter di bawah permukaan tanah. Jika kedalaman tanah kuat mencapai 2 meter, dapat pula digunakan pondasi *staal* yang diletakan di atas timbunan pasir yang dipadatkan secara berlapis setiap  $\pm 20$  cm.

- b) Pondasi telapak (*foot plate*)

Pondasi telapak dibuat dari beton bertulang, dengan kedalaman tanah kuat sampai mencapai 2 meter di bawah permukaan tanah.

c) Pondasi *pyler*

Pondasi *pyler* di buat dari pasangan batu kali, berbentuk piramida terpancung. Pondasi ini biasanya di pasang pada sudut-sidut bangunan dan pada pertemuan tembok-tembok dengan jarak  $\pm 2,50 - 3,50$  m, dengan kedalaman tanah kuat  $2,50$  m –  $3$  m di bawah permukaan tanah diatas pondasi *pyler* dipasang balok *sloof*.

2. Pondasi sedang.

Kedalaman tanah kuat untuk pondasi sedang diperkirakan mencapai  $4$  meter di bawah permukaan tanah. Pondasi yang cocok pada kedalam ini yaitu pondasi sumuran. Pondasi sumuran dibuat dari pipa beton biasa atau pipa beton bertulang dengan tebal dinding berkisar antara  $8$  cm sampai  $12$  cm dimasukan ke dalam tanah, kemudian diisi dengan campuran beton. Pondasi sumuran dipasang pada sudut sudut bangunan seperti pondasi *pyler*.

3. Pondasi dalam

Kedalaman tanah kuat untuk pondasi dalam minimal mencapai  $4,50$  m di bawah permukaan tanah. Pondasi yang cocok pada kedalam ini ialah pondasi Tiang Pancang. Pondasi tiang pancang dibuat dari bahan kayu, besi profil, pipa baja maupun beton bertulang, yang dapat dipancang sampai kedalaman  $\pm 60$  m di bawah permukaan tanah.

Secara umum pondasi yang umumnya digunakan untuk bangunan gedung tinggi adalah pondasi tiang pancang. Pondasi tiang digunakan untuk mendukung struktur atau bangunan bila lapisan kuat atau lapisan tanah keras terletak sangat dalam. Daya dukung pada tiang merupakan kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung / memikul beban. Dalam beberapa leteratur digunakan istilah pile capacity atau pile carrying capacity. Daya dukung tiang dikelompokan menjadi dua yaitu daya dukung untuk tiang tunggal dan daya dukung tiang kelompok.

1. Daya dukung untuk tiang tunggal

Perhitungan kapasitas dukung aksial dan lateral tiang tunggal dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

- a) Kapasitas dukung aksial berdasarkan uji SPT
  - b) Kapasitas dukung aksial berdasarkan kekuatan bahan
  - c) Kapasitas dukung aksial berdasarkan uji sondir (Bgemenn)
  - d) Kapasitas dukung aksial berdasarkan metode bro
2. Kapasitas pendukung untuk tiang kelompok

Kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berada dalam kelompoknya. Hal ini terjadi jika tiang dipancang dalam lapisan pendukung yang mudah mampat atau dipancang pada lapisan tanah yang tidak mudah mampat, namun dibawahnya terdapat lapisan lunak. Dalam kondisi tersebut, stabilitas kelompok tiang tergantung dari dua hal yaitu:

- a. Kapasitas dukung tanah di sekitar dan di bawah kelompok tiang dalam mendukung beban total struktur.
- b. Pengaruh penurunan konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang.

Pondasi harus dirancang untuk mampu menahan semua beban rencana dan reaksi – reaksi yang dapat terjadi dari gaya aksial, geser dengan momen yang harus ditahan oleh dasar pondasi (Nawy, 1998). Dalam hal beban eksentris atau momen yang disebabkan kombinasi pembebanan, tekanan tanah yang diakibatkan oleh kombinasi pembebanan tidak boleh melebihi harga yang diizinkan. Tegangan tanah yang terjadi pada dasar pondasi dapat dilihat pada Persamaan 2.64 dan Persamaan 2.65

$$\sigma_{maks} = \frac{P}{BL} \left( 1 + \frac{6e}{L} \right) + q \quad (2.64)$$

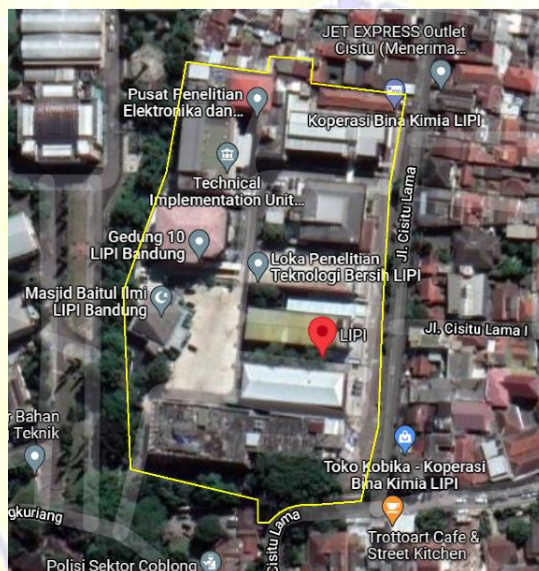
$$\sigma_{maks} = \frac{P}{BL} \left( 1 + \frac{6e}{L} \right) + q \quad (2.65)$$

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Struktur Gedung

Proyek Pembangunan Gedung Infrastruktur BASICS terletak di Kawasan Kampus Bandung - LIPI. Jl. Sangkuriang, Komplek Lipi Gd. 20, Jl. Cisitu Lama, Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40135 Indonesia. Lokasi proyek timur dan utara berbatasan dengan Jl. Cisitu Lama, sisi barat berbatasan dengan Balai Besar Logam dan Mesin, Metal Industries Development Center - MIDC, Kementerian Perindustrian, dan bagian utara proyek berbatasan dengan Kampung Parigi RT.05. Lokasi proyek dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Lokasi Gedung BASICS

(Sumber : Google earth, 2023)

#### 3.2 Deskripsi Model Struktur

Gedung BASICS merupakan struktur bangunan yang terdiri dari gedung Tower 1 dan Tower 2 terdiri dari masing-masing massa bangunan dari empat (4) lantai sistem struktur atas, 1 lantai basement dan 1 lantai dak atap beton sebagai struktur penutup atap.



### 3.3 Pengumpulan Data

#### 3.3.1 Data umum bangunan

1. Nama Gedung : Infrastruktur *Bandung Advanced Science and Creative Engineering Space* (BASICS)
2. Fungsi : Gedung Lembaga Ilmu penelitian
3. Zona Gempa : 4
4. Jumlah Lantai : 6
5. Sitem Pelat : Konvensional
6. Struktur Utama : Beton Bertulang

#### 3.3.2 Data bahan

1. Mutu beton
  - a. *Pile Cap* :  $f'_c = 29,05$  Mpa
  - b. *Tie Beam* :  $f'_c = 29,05$  Mpa
  - c. Pelat Lantai :  $f'_c = 29,05$  Mpa
  - d. Kolom :  $f'_c = 29,05$  Mpa
  - e. Balok :  $f'_c = 29,05$  Mpa
  - f. *Bore Pile* :  $f'_c = 29,05$  Mpa
2. Mutu baja tulangan
  - Ulir ( $D$ ) : BJTS 420B ASTM A7-6M,  $f_y$  : 420 Mpa
  - Polos ( $\emptyset$ ): BJTS 240,  $f_y$  : 240 Mpa
3. Baja (*Hot Rolled Form*)
  - Baja Pipa : BJ 37 (SS400)
  - Baja Siku : BJ 37 (SS400)
  - Gording : BJ 37 (SS400)
  - Baja Pelat : BJ 37 (SS400)
  - IWF : BJ 37 (SS400)
  - H-BEAM : BJ 37 (SS400)

#### 4. Sambungan

- Baut dan Mur ASTM A325
- Angkur ASTM A36
- Las AWS D1.1/Elektroda A5.1(Elektroda E7016/E7018)

#### 5. Modulus elastisitas beton

Mutu beton dengan kuat tekan ( $f'_c$ ) = 29,05 MPa = 4700

$$\sqrt{f'_c} = 23500 \text{ MPa.}$$

### 3.3.3 Data tanah dan pondasi

Data tanah yang digunakan berasal dari tempat yang dijadikan sebagai lahan pembangunan gedung BASIC, yang berada pada jalan Sangkuriang. Pemilihan jenis pondasi dilakukan berdasarkan data hasil uji SPT (*Standart Penetration Test*) dimana daya dukung tiang ditinjau berdasarkan kekuatan ijin tekan dan kekuatan ijin tarik, hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi tanah dan kekuatan material tiang itu sendiri. Adapun jenis pondasi yang digunakan berdasarkan hasil Uji SPT yaitu pondasi dalam (*bored pile*).

Pengujian SPT dilakukan pada dua titik yaitu titik BH-1 dan BH-2. Dari hasil pengujian pada titik BH-1 diperoleh tanah keras pada kedalaman 16 meter dengan jenis tanah pasir kerikilan, warna coklat, dan kepadatan tanah sangat padat dan untuk BH-2 tanah keras diperoleh pada kedalaman 12 meter dengan jenis tanah pasir kerikilan warna coklat, dan kepadatan tanah sangat padat. Hasil uji bor mesin pada BH-1 dan BH-2 akan ditampilkan pada Lampiran 1.

### 3.3.4 Analisa struktur menggunakan ETABS V.18

#### 1. Proses input data

Proses input data untuk struktur dengan menggunakan *software* ETABS V.18, terdiri dari beberapa tahapan diantaranya, yaitu permodelan struktur, pembuatan *Grid Lines* (Geometri struktur), pendefinisian struktur, perencanaan dimensi elemen untuk struktur, pembebanan struktur dan Analisa struktur.

## 2. Proses output data

Adapun proses output dengan menggunakan *software* ETABS v.18 yaitu dengan membuat tabulasi dari hasil analisis struktur yang dilakukan pada struktur bangunan. Dari hasil analisa struktur akan digunakan untuk merencanakan serta mendesain sistem pelat dengan menggunakan balok *grid* pada lantai bangunan yang aman sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan. Sebelum merencanakan elemen struktur, hasil Analisa struktur harus memenuhi struktur yang di tabulasi. Jika belum memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan dalam SNI yang berlaku, maka akan di analisa kembali.

### 3.4 Perencanaan Struktur

#### 3.4.1 Perencanaan pelat dengan balok *grid*

Langkah -langkah dalam perencanaan pelat adalah sebagai berikut :

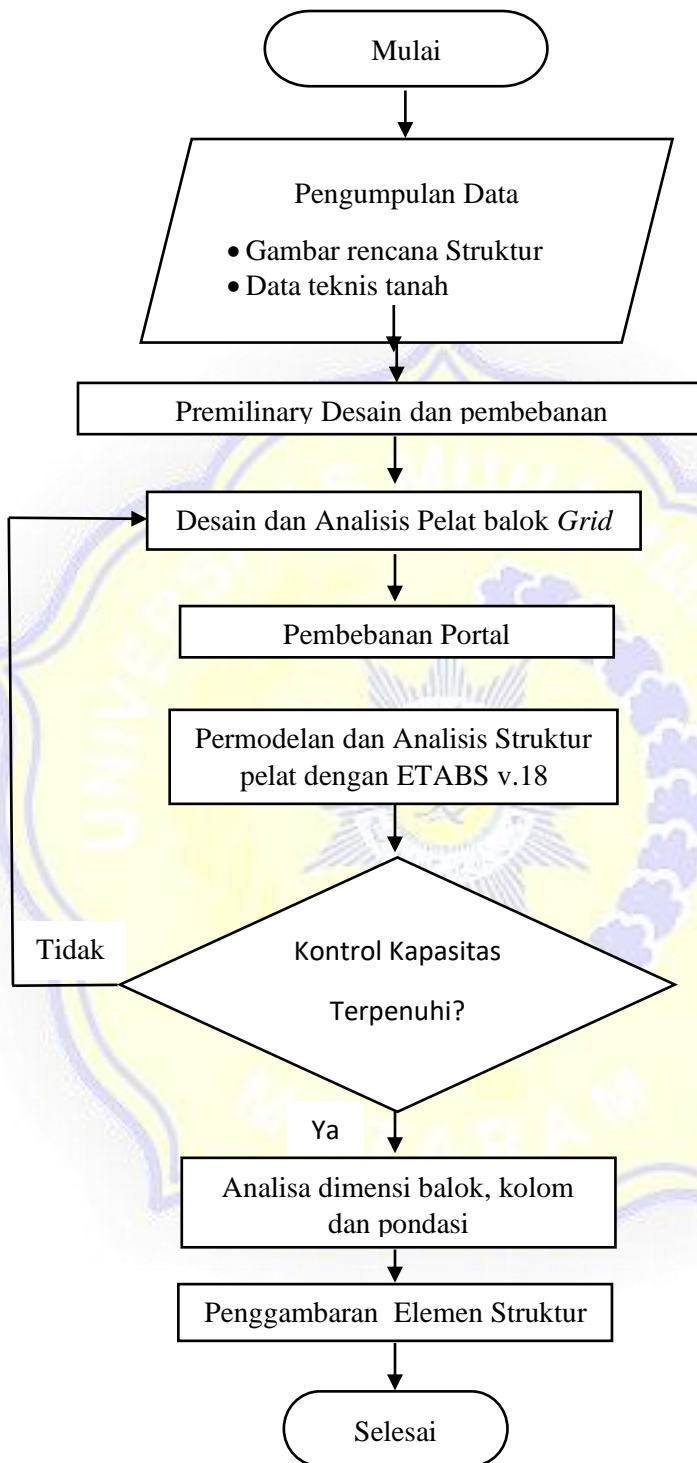
1. Menentukan jarak antar pelat,
2. Menentukan dimensi pelat
3. Menghitung pembebanan yang ada pada pelat
4. Menghitung jumlah penulangan pada pelat
5. Menentukan dimensi balok
6. Menghitung pembebanan yang ada pada balok
7. Menghitung statika balok dengan menggunakan *Software* ETABS v.18
8. Menghitung tulangan pada balok

#### 3.4.2 Perencanaan kolom

Langkah – Langkah dalam perencanaan kolom yaitu :

- a) Menghitung dimensi kolom
- b) Menghitung pembebanan yang ada pada kolom
- c) Menghitung statika dengan menggunakan *software* ETABS v.18
- d) Menghitung Tulangan pada Kolom

### 3.5 Bagan Alir Perencanaan Gedung



Gambar 3.2 Bagan alir penelitian