

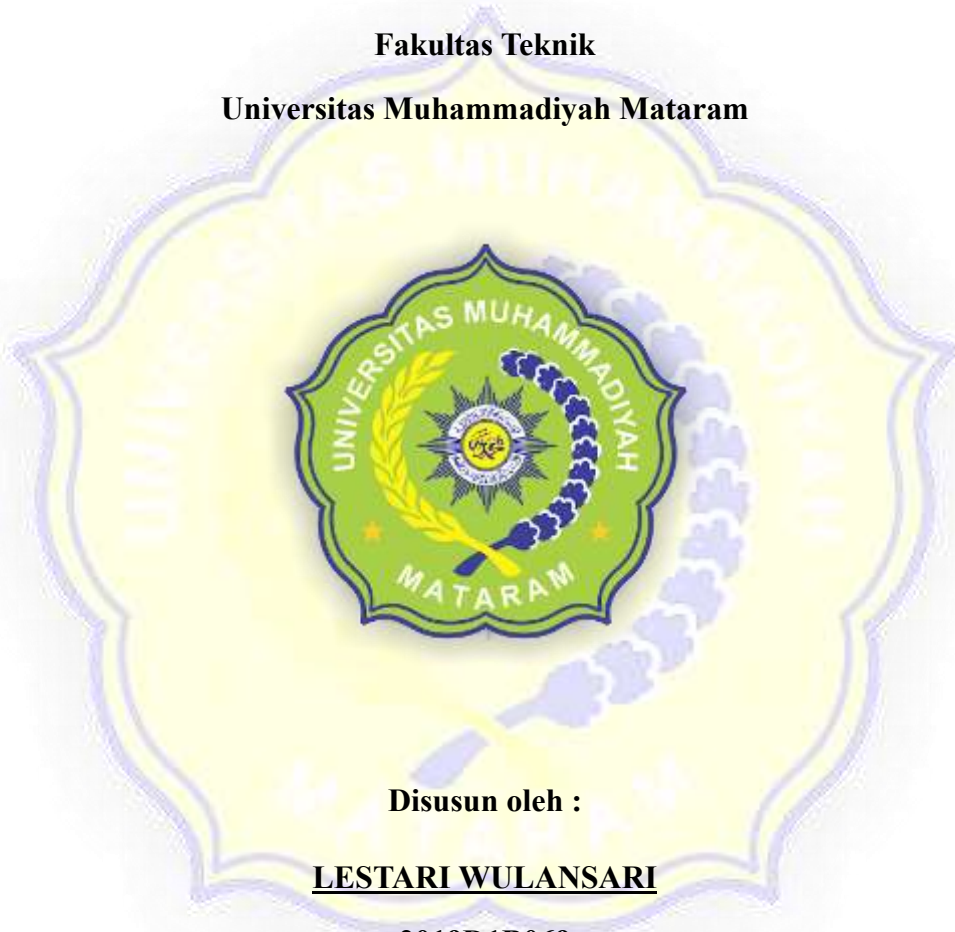
**SKRIPSI**

**PERANCANGAN STRUKTUR GEDUNG COVID-19 RSUD PROVINSI  
NTB DENGAN LANTAI SISTEM *WAFFLE***

**Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi  
Pada Program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata 1**

**Fakultas Teknik**

**Universitas Muhammadiyah Mataram**



**Disusun oleh :**

**LESTARI WULANSARI**

**2019D1B069**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM**

**TAHUN 2023**

**HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING  
SKRIPSI**

**PERANCANGAN STRUKTUR GEDUNG COVID-19 RSUD PROVINSI  
NTB DENGAN LANTAI SISTEM *WAFFLE***

Disusun oleh:

Lestari Wulansari

2019D1B069

Mataram, 17 Juni 2023

Pembimbing I,



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

NIDN. 0027107301

Pembimbing II,



Ahmad Zarkasi, ST., M.T

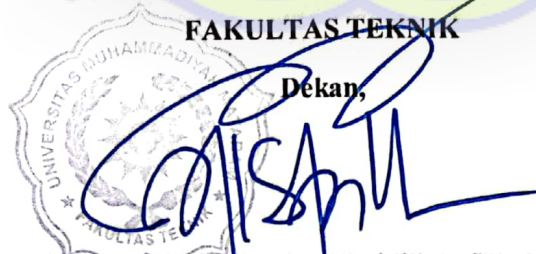
NIDN. 0819068903

Mengetahui,

**UNIVERSITAS MUHAMADIYAH MATARAM**

**FAKULTAS TEKNIK**

Dekan,



Dr. H. Aji Svailendra Ubaidillah, ST., M.Sc

NIDN.0806027101

**HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI**  
**SKRIPSI**  
**PERANCANGAN STRUKTUR GEDUNG COVID-19 RSUD PROVINSI**  
**NTB DENGAN LANTAI SISTEM *WAFFLE***

Disusun Oleh:

**Lestari Wulansari**

**2019D1B069**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji

Pada hari Sabtu, 24 Juni 2023

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

**Susunan Tim Penguji**

1. Penguji I : Dr. Eng Hariyadi, ST., M.Sc
2. Penguji II : Ahmad Zarkasi, ST., M.T
3. Penguji III : Ir. Isfanari, ST., MT

Mengetahui,

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM**

Dekan,

**Dr.H. Aji Svailendra Ubaidillah, ST.,M. Sc**

**NIDN. 0806027101**

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tugas Akhir/Skripsi dengan judul:

“PERANCANGAN STRUKTUR GEDUNG COVID-19 RSUD PROVINSI NTB  
DENGAN LANTAI SISTEM *WAFFLE*”

Benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil jiplakan atau pengutipan karya penulis lain. Adapun bagian-bagian tertentu yang dikutip dari karya orang lain telah dilampirkan sumbernya dengan jelas dan disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa Tugas Akhir/Skripsi ini merupakan hasil kutipan karya orang lain, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya bersedia di tuntutan sesuai dengan hukum yang berlaku.

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

Mataram, 13 Juli 2023



LESTARI WULANSARI

2019D1B069



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 : LESTARI WULANSARI  
NIM : 2019D1B069  
Tempat/Tgl Lahir : PENYARING, 24 JANUARI 2002  
Program Studi : TEKNIK SIPIL  
Fakultas : TEKNIK  
No. Hp : 085 238 927 027  
Email : lestariwlnsr@gmail.com

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

PERANCANGAN STRUKTUR GEDUNG COVID-19 RSUD PROVINSI NTB DENGAN  
PELAT SISTEM WAFFLE

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 4/3

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, ..... 06 Juli ..... 2023

Penulis



LESTARI WULANSARI  
NIM. 2019D1B069

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 : LESTARI WULANSARI  
NIM : 2019D1B069  
Tempat/Tgl Lahir : PENYARING, 24 JANUARI 2002  
Program Studi : TEKNIK SIPIL  
Fakultas : TEKNIK  
No. Hp/Email : 085 238 927 027  
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 ijin dari saya selama ***tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta*** atas karya ilmiah saya berjudul:

PERANCANGAN STRUKTUR GEDUNG COVID-19 RSUD PROVINSI NTB  
DENGAN LANTAI SISTEM WAFFLE

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, ..... 06 Juli .....2023  
Penulis

Mengetahui,  
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



LESTARI WULANSARI  
NIM. 2019D1B069



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

## MOTTO

*“Siapa yang mendahulukan akhirat dalam kehidupannya, maka dunianya akan ikut. Dan siapa yang mendahulukan dunia dalam kehidupannya, maka akhiratnya akan luput”*

*~ Ust. Khalid Basalamah ~*

*“The only way to do great work is to love what you do”*

*~ Unknown ~*

*“Jika kamu berbuat baik maka, sesungguhnya kamu berbuat baik bagi dirimu sendiri”*



## PRAKATA

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, karena dengan taufik, hidayah dan limpahan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat pada waktunya. Dalam penyusunan tugas akhir ini tidak sedikit pihak yang ikut terlibat memberikan bantuan baik dari segi materi maupun dari Teknik penulisan hingga tugas akhir ini selesai sebagaimana mestinya.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat kelulusan guna mencapai gelar kesarjanaan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram, dengan judul tugas akhir “Perancangan Struktur Gedung Covid-19 RSUD Provinsi NTB dengan Lantai Sistem *Waffle*”.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun dari semua pihak agar menyempurnakan tugas akhir ini. Akhir kata semoga karya ini bisa bermanfaat bagi pembaca.

Mataram, Juni 2023

Penulis,





## UCAPAN TERIMAKASIH

Tugas akhir ini dapat selesai berkat rahmat dan karunia Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram,
2. Bapak Adryan Fitrayudha, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram,
3. Bapak Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama, atas waktu yang diberikan selama bimbingan dan atas saran serta masukan yang memotivasi juga dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini secepatnya,
4. Bapak Ahmad Zarkasi, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Pemdamping, terimakasih atas arahan dan masukan-masukan yang sangat bermafaat dalam penyusunan Tugas Akhir ini,
5. Bapak Ir. Isfanari, ST., MT., selaku dosen penguji, terimakasih atas arahan dan masukan sebagai penyempurna Tugas Akhir ini,
6. Kedua orang tua tercinta Saparuddin dan Masri yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan semangat,
7. Kakak saya Eka Supriani, Agus Very Kurniawan, Suwardi, Pebrianti, Muhammad Jiapril dan adik Saya Nurhidayat terimakasih atas dukungan dan semangat, serta saran moral yang sangat membangun bagi penulis,
8. Teruntuk sahabat saya Apriani, Mahani, Dae, Tyara atas pengalaman hidup yang sangat berkesan dan selalu berjuang bersama-sama sampai di titik ini, serta kepada teman saya M. Razin, M. Ahyar, Al-ghifary, Mashul Wathoni dan Irwan terimakasih atas bantuannya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
9. Kepada pemilik nim 2020D1B067 yang selalu memberikan dukungan semangat dan bantuan, terimakasih juga atas kata-kata motivasi sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan penuh semangat.

## ABSTRAK

Salah satu perkembangan sistem konstruksi saat ini yaitu penggunaan *waffle slab*, yakni pelat tipis dengan sekumpulan balok rusuk berbentuk T yang saling bersilang. Penggunaan *waffle slab* lebih efisien dibanding dengan pelat lainnya karena pelatnya sendiri memiliki ketebalan yang relatif sangat tipis sehingga menghemat penggunaan besi tulangan, serta penggunaan kolom yang sedikit karena pelat *waffle* direncanakan untuk lantai dengan bentang 7,5 – 12,5 meter.

Studi kasus pada perancangan ini yaitu menggunakan gedung Covid-19 RSUD Provinsi NTB. Gedung ini memiliki lebar 30 m, panjang 48 m, dan tinggi bangunan 25,2 m. mutu bahan yang digunakan yaitu beton  $f'c$  25 MPa, mutu baja tulangan ulir  $f_y$  400 MPa, dan mutu baja tulangan polos  $f_y$  240 MPa. Tahapan analisa struktur terdiri dari permodelan dan Analisa struktur menggunakan *software* ETABS V.18 sehingga diperoleh gaya dalam, kemudian tahapan selanjutnya perencanaan elemen struktur dan penggambaran elemen struktur.

Perancangan pada gedung Covid-19 menggunakan *waffle slab* diperoleh tebal pelat 60 mm dengan penulangan  $\emptyset 10-175$ , balok *waffle* dengan lebar 150 mm dan tinggi 300 mm dan tinggi 350 mm serta penulangan D16, dimensi band beam diperoleh lebar 900 mm dan tinggi 350 mm serta tinggi 300 dengan diameter tulangan D22.

Kata kunci: Gedung Covid-19, Pelat, *Waffle Slab*, *Band Beam*.

## ABSTRACT

One of the advancements in construction systems today is the use of waffle slabs, which are thin plates with a collection of T-shaped ribs that intersect each other. Waffle slabs are more efficient than other types of plates due to their relatively thin thickness, which saves reinforcement steel and reduces the number of columns required for floor spans between 7.5 and 12.5 meters. This design's case study utilizes the Covid-19 building at RSUD Provinsi NTB. The building is 30 meters wide, 48 meters long, and 25.2 meters tall. Concrete with a strength of  $f_c$  25 MPa, threaded reinforcement steel with a yield strength of  $f_y$  400 MPa, and ordinary reinforcement steel with a yield strength of  $f_y$  240 MPa are among the materials used. The structural analysis procedure comprises modelling and structural analysis utilizing ETABS V.18 to determine internal forces. Planning and drawing of structural elements are the following stages. In constructing the Covid-19 building, 60-mm-thick waffle slabs with 10-175 reinforcements are utilized. The D16-reinforced waffle joists have a width of 150 mm and a height of 300 mm or 350 mm. The band timbers measure 900 mm in width, 350 mm or 300 mm in height, and are reinforced with D22. By utilizing waffle slabs, the structural design of the Covid-19 building at RSUD Provinsi NTB can be efficiently implemented while still providing adequate structural strength. The waffle slab system provides a cost-effective and efficient solution for the building's material utilization and structural design.

**Keywords:** Covid-19 building, plate, waffle slab, band beam

MENGESAHKAN  
SALINAN FOTO COPY SESUAI ASLINYA  
MATARAM

KEPALA  
UPT P3B

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN COVER</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING SKRIPSI</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI SKRIPSI</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME</b> .....	<b>v</b>
<b>SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	<b>vi</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>vii</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>viii</b>
<b>UCAPAN TERIMAKASIH</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>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Perencanaan .....	2
1.4 Batasan Perencanaan.....	3
1.5 Manfaat Perencanaan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b> .....	<b>4</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	4
2.1.1 Tinjauan umum .....	4
2.1.2 Penelitian terdahulu.....	4
2.2 Landasan Teori.....	5
2.2.1 Tegangan, renggangan dan modulus elastisitas .....	5
2.2.2 Pembebanan .....	9
2.2.3 Beban gempa (Quake Load) .....	17

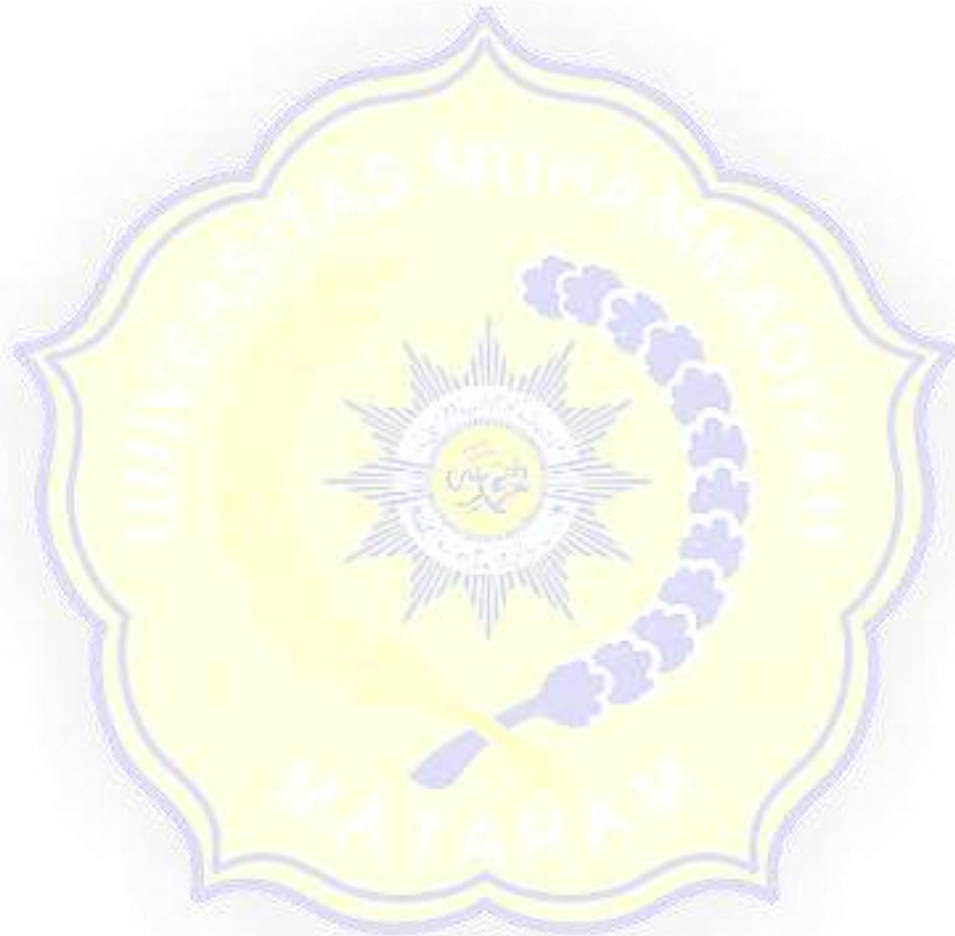
2.2.4	Kombinasi pembebanan.....	26
2.2.5	Simpangan antar lantai tingkat izin.....	26
2.2.6	Faktor reduksi kekuatan .....	27
2.2.7	Dasar-dasar perancangan struktur beton bertulang .....	28
2.2.8	Pondasi .....	30
2.2.9	Kolom.....	32
2.2.10	Balok .....	34
2.2.11	Pelat lantai.....	38
2.2.12	Pelat lantai sistem <i>waffle</i> .....	42
2.2.13	Dinding geser ( <i>Shear Wall</i> ).....	49
2.2.14	Analisis menggunakan software ETABS V.18.....	51
<b>BAB III METODE PERANCANGAN.....</b>		<b>xii</b>
3.1	Lokasi Penelitian.....	54
3.2	Pengumpulan Data .....	55
3.2.1	Data umum gedung .....	55
3.2.2	Data teknis.....	55
3.2.3	Gambar kerja dan desain gedung .....	56
3.2.4	Pembebanan .....	57
3.2.5	Pemodelan dan analisa struktur menggunakan ETABS V.1857	
3.3	Perencanaan Struktur .....	58
3.3.1	Perencanaan pelat <i>waffle</i> .....	58
3.3.2	Perencanaan balok <i>waffle</i> .....	58
3.3.3	Perhitungan statika.....	59
3.3.4	Perencanaan balok.....	59
3.3.5	Perencanaan kolom .....	59

3.3.6	Perencanaan pondasi .....	59
3.4	Bagan Alir Perencanaan Struktur.....	60
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>61</b>
4.1	Umum .....	61
4.2	Desain Eksisting .....	61
4.3	Data Masukan .....	61
4.3.1	Model struktur.....	61
4.3.2	Material struktur.....	62
4.3.3	Dimensi komponen struktur.....	62
4.3.4	Kombinasi pembebanan struktur .....	66
4.4	Pembebanan Struktur.....	67
4.4.1	Perhitungan beban pada pelat <i>waffle</i> .....	67
4.4.2	Pembebanan balok <i>waffle</i> .....	68
4.4.3	Pembebanan akibat tangga.....	71
4.4.4	Perhitungan beban gempa .....	71
4.5	Perencanaan Struktur .....	79
4.5.1	Penulangan <i>waffle slab</i> .....	79
4.5.2	Penulangan balok <i>waffle</i> .....	85
4.5.3	Penulangan <i>band beam</i> .....	92
4.5.4	Penulangan kolom.....	100
4.5.5	Pondasi .....	116
4.6	Volume beton .....	138
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>140</b>
5.1	Kesimpulan .....	140
5.2	Saran .....	141
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung.....	9
Tabel 2. 2	Berat sendiri komponen gedung.....	10
Tabel 2. 3	Beban hidup terdistribusi merata monimum, $L_o$ dan beban hidup terpusat minimum.....	12
Tabel 2. 4	Faktor elemen beban hidup, $K_{LL}$ .....	17
Tabel 2. 5	Kategori resiko .....	18
Tabel 2. 6	Faktor keutamaan gempa .....	19
Tabel 2. 7	Klasifikasi situs .....	20
Tabel 2. 8	Koefisien situs, $F_a$ .....	21
Tabel 2. 9	Koefisien situs, $F_v$ .....	22
Tabel 2. 10	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek.....	24
Tabel 2. 11	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik .....	25
Tabel 2. 12	Simpangan antar tingkat izin $\Delta_a^{a,b}$ .....	27
Tabel 2. 13	Faktor reduksi kekuatan .....	27
Tabel 2. 14	Faktor $\beta_1$ untuk distribusi tegangan beton persegi ekuivalen.....	29
Tabel 2. 15	Persyaratan spasi maksimum tulangan geser .....	33
Tabel 2. 16	Tinggi minimum balok .....	37
Tabel 2. 17	Ketebalan minimum pelat dua arah tanpa balok interior .....	47
Tabel 2. 18	Ketebalan minimum pelat dua arah dengan balok di antara tumpuan pada semua sisi.....	48
Tabel 2. 19	Batas lokasi dan spasi sengkang pertama.....	48
Tabel 4. 1	Dimensi balok waffle pada tiap lantai.....	64
Tabel 4. 2	Dimensi band beam pada tiap lantai .....	64
Tabel 4. 3	Rekapitulasi dimensi kolom .....	65
Tabel 4. 4	Beban hidup pada pelat lantai .....	67
Tabel 4. 5	Distribusi beban amplop pada balok waffle .....	70
Tabel 4. 6	Gaya lateral gempa tiap lantai .....	78

Tabel 4. 7 Rekapitulasi penulangan pelat lantai.....	85
Tabel 4. 8 Hasil perhitungan sudut gesek ( $\varphi'$ ).....	119
Tabel 4. 9 Hasil perhitungan Kd. Tg $\delta$ tiap lapis .....	120
Tabel 4. 10 Hasil perhitungan tahanan gesek tiang Qs .....	120
Tabel 4. 11 Susunan tiang bore pile .....	122
Tabel 4. 12 Volume beton setelah dilakukan redesain .....	138
Tabel 4. 13 Volume beton eksisting .....	139

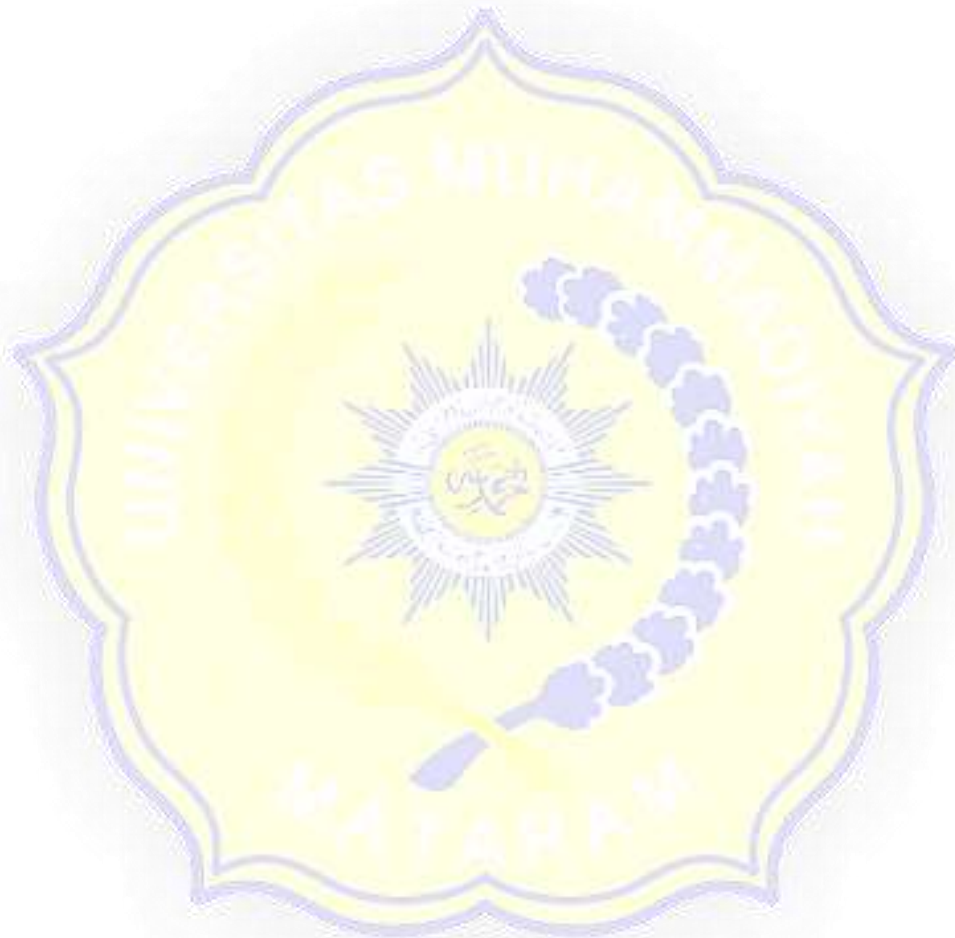




## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Gaya tarik dan tekan pada benda.....	5
Gambar 2. 2	Regangan panjang akibat gaya tarik dan tekan .....	6
Gambar 2. 3	Regangan volume akibat gaya hidrostatis .....	7
Gambar 2. 4	Karakteristik Tegangan-Regangan .....	8
Gambar 2. 5	Spektrum respons desain.....	23
Gambar 2. 6	Momen yang terjadi pada tiang pancang.....	31
Gambar 2. 7	Jarak antar tiang pancang .....	32
Gambar 2. 8	Distribusi regangan dan tegangan pada balok bertulang rangkap..	35
Gambar 2. 9	Bagian tekan pada balok T .....	36
Gambar 2. 10	Pelat satu arah.....	39
Gambar 2. 11	Pelat dua arah .....	40
Gambar 2. 12	Slab datar ( <i>flat slab</i> ) .....	41
Gambar 2. 13	Pelat datar ( <i>flat plate</i> ).....	41
Gambar 2. 14	Pelat rusuk dua arah ( <i>waffle</i> ).....	42
Gambar 2. 15	<i>Waffle Slab</i> .....	43
Gambar 2. 16	<i>Waffle Slab</i> beton bertulang.....	44
Gambar 2. 17	Analisis sistem balok menyilang sederhana .....	45
Gambar 2. 18	Senggang satu- atau banyak- kaki, tipe pelat tulangan geser .....	49
Gambar 3. 1	Lokasi gedung Covid-19 RSUD Provinsi NTB .....	54
Gambar 3. 2	Tampak depan gedung Covid-19 RSUD Provinsi NTB.....	55
Gambar 3. 3	Bagan alir perencanaan struktur .....	60
Gambar 4. 1	Denah waffle slab tipe B .....	63
Gambar 4. 2	Potongan band beam .....	64
Gambar 4. 3	Distribusi beban amplop pelat pada balok waffle .....	68
Gambar 4. 4	Portal arah memanjang.....	71
Gambar 4. 5	Portal arah melintang .....	72
Gambar 4. 6	Hasil uji sondir pada 2 titik uji .....	116
Gambar 4. 7	Nilai uji SPT .....	117
Gambar 4. 8	Jumlah tiang pancang yang digunakan.....	122

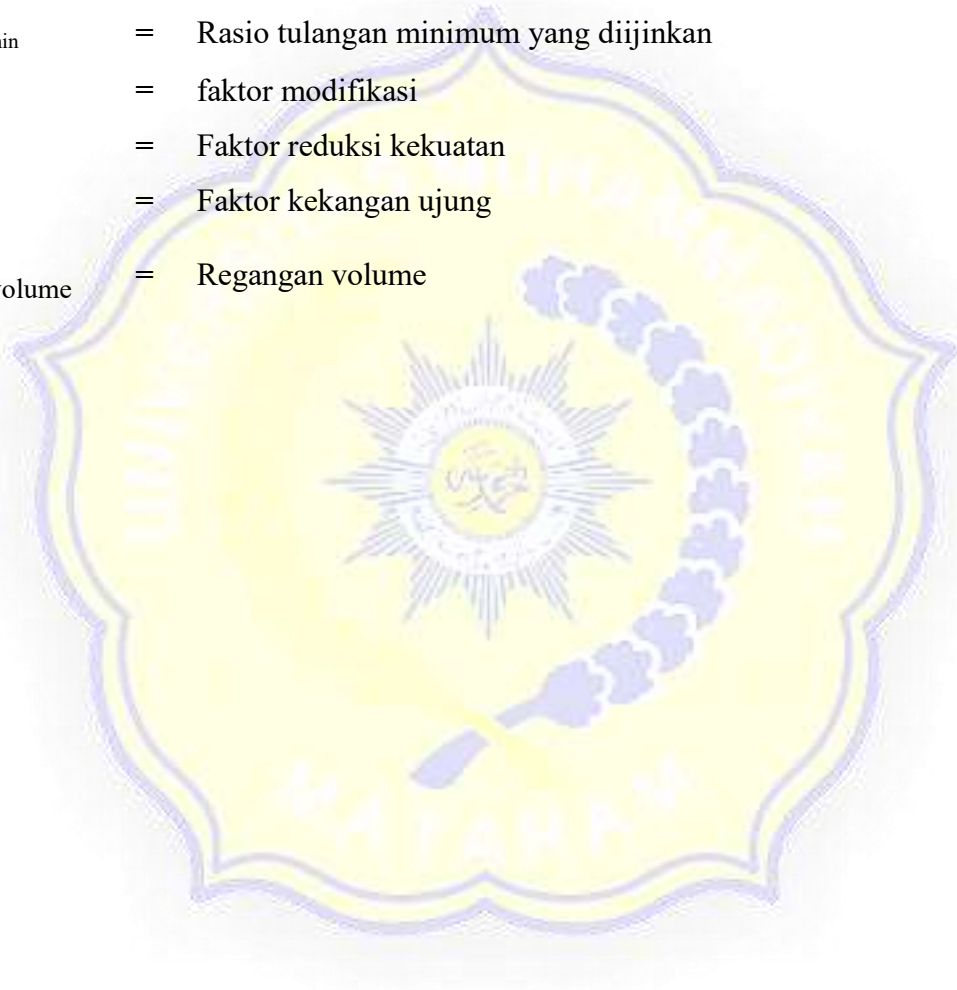
Gambar 4. 9 Tinjauan geser arah x .....	124
Gambar 4. 10 Tinjauan geser arah y.....	125
Gambar 4. 11 Gaya geser pons dua arah.....	127
Gambar 4. 12 Tampak pembebanan dalam perhitungan ruangan arah x .....	129
Gambar 4. 13 Tampak pembebanan dalam perhitungan ruangan arah y .....	132
Gambar 4. 14 Hasil output ETABS V.18.....	138



## DAFTAR NOTASI

$A_s$	=	Luas tulangan tarik, $\text{mm}^2$
$A'_s$	=	Luas tulangan tekan, $\text{mm}^2$
$A$	=	Luas kelompok tiang <i>bore pile</i> , $\text{mm}^2$
$a$	=	Tinggi balok tegangan tekan ekuivalen, mm
$B$	=	Lebar kelompok tiang pancang, m
$b_f$	=	Lebar efektif flens balok T, mm
$b_w$	=	Lebar penampang komponen struktur, mm
$D$	=	Beban mati, $\text{kN/m}^2$
$d$	=	Tinggi efektif penampang, mm
$E$	=	Beban gempa, $\text{kN/m}^2$
$E_c$	=	Modulus elastisitas beton, MPa
$f'_c$	=	Kuat tekan beton, MPa
$f'_s$	=	Tegangan tekan baja tulangan, MPa
$f_y$	=	Kuat leleh baja, MPa
$h$	=	Tinggi penampang komponen struktur, mm
$L_r$	=	Beban hidup yang telah di reduksi, $\text{kN/m}^2$
$l$	=	Panjang tiang yang berada dalam tanah, cm
$M_n$	=	Momen nominal penampang, $\text{kN.m}$
$n$	=	Jumlah tiang pancang
$P_b$	=	Tekanan <i>overburden</i> ujung tiang, $\text{kN/m}^2$
$P_n$	=	Kuat aksial nominal penampang, kN
$p$	=	Tegangan, $\text{N/mm}^2$
$Q_s$	=	Daya dukung tiang pancang tunggal, kg
$Q_t$	=	Daya dukung keseimbangan pada kelompok tiang, kg
$Q_{\text{tiang}}$	=	Daya dukung kesetimbangan tiang, kg
$r$	=	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, kN.m
$V_c$	=	Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, kN
$\beta$	=	Rasio dimensi panjang terhadap pendek dari dua sisi pelat
$\beta_l$	=	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
$\rho_{min}$	=	Rasio tulangan minimum yang diijinkan
$\lambda$	=	faktor modifikasi
$\phi$	=	Faktor reduksi kekuatan
$\Psi$	=	Faktor kekangan ujung
$\epsilon_{volume}$	=	Regangan volume



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Corona Virus (Covid-19) yang melanda Indonesia berlangsung hampir selama dua tahun. Virus tersebut melanda seluruh pulau di Indonesia, tak terkecuali Pulau Lombok. Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Provinsi NTB jumlah pasien Covid-19 di pulau Lombok mencapai 36,338 kasus sampai dengan tanggal 31 Oktober 2022. Daya tampung rumah sakit provinsi NTB untuk pasien Covid-19 telah terpenuhi kapasitasnya. Sehingga untuk mengantisipasi hal tersebut maka, pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Barat mendirikan Gedung layanan COVID-19 dan Trauma Center.

Gedung layanan COVID-19 dan Trauma Center dibangun di atas lahan seluas 2.181,33 m<sup>2</sup> yang berlokasi di RSUD Provinsi NTB, dan dibangun pada tahun 2022. Dalam perancangannya, gedung layanan COVID-19 dan Trauma Center masih menggunakan struktur sistem konvensional mulai dari pelat, balok dan kolom. Seiring dengan kemajuan teknologi seperti sekarang ini dalam dunia teknik sipil banyak penemuan mengenai perkembangan sistem struktur lainnya yang lebih efisien dibandingkan dengan sistem konvensional. Salah satunya yaitu penggunaan sistem pelat *waffle*.

Dari berbagai jenis sistem pelat, *waffle slab* masih sangat jarang digunakan. *Waffle slab* biasanya digunakan pada bangunan-bangunan khusus yang membutuhkan ruangan yang luas dengan jumlah kolom yang sedikit dan ruangan dengan pelat lantai yang memiliki lendutan yang kecil dari frekuensi getaran yang kecil. *Waffle slab* biasanya diterapkan pada pembangunan bandara, jembatan, gedung parkir, serta bangunan komersil dan industri, serta perpustakaan atau *gallery art* yang mengutamakan nilai estetika pada plafond bangunan.

*Waffle slab* dapat diartikan sebagai pelat tipis dari sekumpulan balok rusuk dengan bentuk T yang saling bersilang. Salah satu keunggulan *waffle slab* dari sistem pelat lantai lainnya yakni ketebalan pelat yang relatif sangat tipis dan penggunaan besi tulangan yang cukup hemat pada bagian pelat. *Waffle slab*

direncanakan untuk lantai yang bentangnya 7,50 – 12,50 meter (Nasution, 2009). Sehingga, peneliti ingin melakukan redesain gedung Covid-19 dan Trauma Center untuk mengetahui tahapan perencanaan, keefektifan, dimensi dan penulangan komponen gedung jika menggunakan *waffle slab*, keefektifan ditinjau dari volume gedung.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan struktur gedung Covid-19 RSUD Provinsi NTB dengan struktur lantai sistem *waffle*?
2. Manakah yang lebih efektif antara desain eksisting dengan redesain menggunakan *waffle slab* jika ditinjau dari volume gedung?
3. Berapa dimensi setiap komponen pada gedung setelah menggunakan sistem *waffle slab*?

## **1.3 Tujuan Perencanaan**

Adapun tujuan dari perancangan struktur yang dilakukan pada gedung Covid-19 RSUD Provinsi NTB dengan menggunakan lantai sistem *waffle* adalah:

1. Mengetahui cara merencanakan struktur gedung menggunakan lantai sistem *waffle* pada gedung Covid-19 RSUD Provinsi NTB.
2. Membandingkan antara desain eksisting dengan redesain menggunakan *waffle slab* jika ditinjau berdasarkan volume gedung dari segi efektifitas.
3. Menghitung dimensi dan penulangan dari komponen struktur gedung setelah menggunakan *waffle slab*.

#### 1.4 Batasan Perencanaan

Batasan perencanaan dalam studi kasus perancangan gedung menggunakan sistem *waffle* ini adalah:

1. Perencanaan struktur Gedung Layanan Covid-19 dan Trauma Center meliputi pondasi, pelat, balok dan kolom,
2. Perhitungan sambungan balok-kolom tidak di sertakan dalam perancangan ini
3. Perencanaan pelat menggunakan sistem *waffle slab with band beam*,
4. Pembebanan dihitung berdasarkan SNI-1727-2020, untuk perencanaan struktur beton mengacu pada SNI-2847-2019, dan analisa pengaruh beban gempa berdasarkan SNI-1726-2019,
5. Perencanaan tidak meliputi analisis arsitektur serta instalasi Mekanikal, Elektrikal dan Plumbing (MEP). Namun, tetap dihitung sebagai beban tambahan,
6. Analisa rump tidak diperhitungkan pada perancangan yang dilakukan,
7. Menggunakan aplikasi ETABS V.18 sebagai *software* permodelan,
8. Perencanaan menggunakan data teknis gedung eksisting

#### 1.5 Manfaat Perencanaan

Adapun manfaat yang bisa diambil dari perencanaan struktur menggunakan *waffle slab* adalah:

1. Dapat merencanakan struktur gedung Layanan Covid-19 dan Trauma Center dengan menggunakan lantai sistem *waffle slab*.
2. Dari hasil perencanaan yang dilakukan dapat dijadikan sebagai acuan dasar dalam perencanaan gedung dengan bentang panjang.
3. Dapat dijadikan solusi dalam mengurangi jumlah kolom sehingga dapat memberi ruang yang cukup luas dan efisiensi penggunaan kolom.
4. Penggunaan *waffle slab* mempunyai kekuatan yang besar sehingga dapat memberikan kekauan arah horizontal yang lebih besar pada portal bangunan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

##### **2.1.1 Tinjauan umum**

Perencanaan yang dilakukan ini tidak terlepas dari hasil perencanaan terdahulu yang pernah dilakukan sebagai acuan dan kajian. Adapun hasil penelitian yang dijadikan kajian tidak terlepas dari topik perencanaan yang dilakukan yaitu 'Perencanaan struktur menggunakan *waffle slab*'. Dalam perencanaan ini dibutuhkan beberapa buku dan jurnal sebagai bahan referensi. Untuk mengkaji tentang perencanaan struktur gedung menggunakan sistem *waffle slab* digunakan jurnal 'Studi Perancangan Struktur Gedung Hotel Golden Tulip Dengan Menggunakan *Waffle Slab*' (Erza Candra Sari, 2020) dan jurnal 'Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Hotel Amarsvati Lombok Dengan Sistem *Waffle Slab With Band Beam*' (Lalu Ardy Tilar Negara, 2017). Kemudian menggunakan buku Balok dan Pelat Beton Bertulang (Ali Ansori, 2010), Teori dan Analisis Balok Grid (Benny Puspantoro, 1993).

##### **2.1.2 Penelitian terdahulu**

Perencanaan dari Erza Candra Sari (2020) dengan judul 'Studi Perancangan Struktur Gedung Hotel Golden Tulip Dengan Menggunakan *Waffle Slab*' diperoleh hasil perancangan yaitu penggunaan pelat *waffle* menambah bentang menjadi lebih luas serta memiliki kekuan yang lebih besar, hal tersebut disebabkan karena peran balok *waffle* sebagai jaringan balok anakan. Tebal pelat lantai dapat dikurangi dari 120 mm menjadi 60 mm dengan tulangan yang digunakan yaitu D10. Menggunakan balok *waffle* yang berbentuk persegi dengan tulangan utama D16 dan tulangan Sengkang P8. Balok utama dan kolom menggunakan tulangan utama D29 dengan tulangan Sengkang P10 untuk balok utama, dan D12 untuk tulangan sengkang kolom. Kemudian pondasi didesain menggunakan pile cap dengan dimensi 5,5x5,5x1,2 m dengan dimensi bor pile yang digunakan 0,5 m dan jumlah tiang maksimum adalah 16 buah di setiap kolom yang di bor sampai kedalaman 20,6 meter.



Berdasarkan hasil perencanaan dari Lalu Ardyta Tilar Negara (2017) dengan judul ‘Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Hotel Amarsvati Lombok Dengan Sistem *Waffle Slab With Band Beam*’ didapatkan hasil redesain yaitu ketebalan pelat lantai dan atap 65 mm, balok *waffle* memiliki lebar 150 mm dan tinggi 300 mm, pada lantai 11 dan 12 tinggi balok *band beam* dan balok *waffle* yang digunakan diperbesar menjadi 350 mm karena fungsi ruang yang berbeda. Desain eksisting jarak antar as kolom yang digunakan 7 m, sedangkan pada redesain diperpanjang menjadi 10,5 m. Dari hasil perhitungan berat dan volume gedung *redesain* menggunakan *waffle slab with band beam* hasilnya lebih kecil yaitu 14% dibandingkan dengan berat dan volume gedung eksisting.

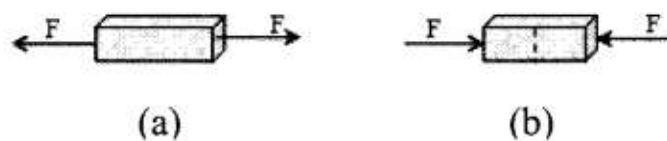
## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Tegangan, renggangan dan modulus elastisitas

Tegangan, renggangan dan modulus elastisitas dapat terjadi pada benda yang mengalami gaya tertentu sehingga benda tersebut mengalami perubahan bentuk. Perubahan bentuk tergantung dari arah dan letak gaya-gaya yang diberikan pada benda.

#### 1. Tegangan

Tegangan diartikan sebagai jumlah yang disebabkan oleh gaya yang bekerja per satuan luas penampang. Gaya yang bekerja dapat berupa gaya tegak lurus atau miring terhadap bidang, baik pada bidang rata maupun bidang miring (Sutarman, 2013).



Gambar 2. 1 Gaya tarik dan tekan pada benda

(Sumber: Sutarman, 2013)

Gaya yang bekerja dapat berupa gaya vertikal, horizontal maupun miring. Jika gaya miring yang bekerja terhadap bidang, maka dapat diuraikan dalam komponen gaya vertikal dan horizontal.

Tegangan yang terjadi pada bidang miring berupa tegangan normal serta tegangan tengensial. Tegangan dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

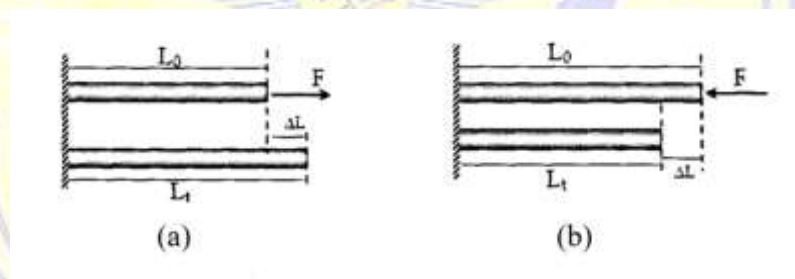
- P = Tegangan (N/m<sup>2</sup>)
- F = Gaya (N)
- A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

## 2. Regangan

Menurut Sutarman (2013) regangan merupakan perubahan yang terjadi secara relatif pada dimensi benda karena mengalami tegangan. Perubahan dimensi (strain) terdiri dari perubahan panjang, perubahan luas dan perubahan volume.

### a. Regangan panjang

Yaitu perbandingan yang terjadi pada perubahan panjang  $\Delta L$  yang disebabkan karena gaya bekerja terhadap panjang benda yang ditinjau.



Gambar 2. 2 Regangan panjang akibat gaya tarik dan tekan

(Sumber: Sutarman, 2013)

Gambar 2.2 (a) menunjukkan sebuah batang yang memiliki panjang awal  $L_0$ , dan mendapat gaya tarik sebesar  $F$ , maka panjang batang tersebut menjadi  $L_t$ . sedangkan pada gambar 2.2 (b) yaitu batang yang mengalami berkurangnya panjang dari batang  $L_t$  akibat gaya tekan yang diberikan sebesar  $F$ .

Adanya perubahan panjang dari  $L_0$  menjadi  $L_t$  sebesar  $\Delta L$  yaitu:

Akibat gaya tarik:

$$\Delta L = L_t - L_0 \dots\dots\dots (2.2)$$

Akibat gaya tekan:

$$\Delta L = L_0 - L_t \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan:

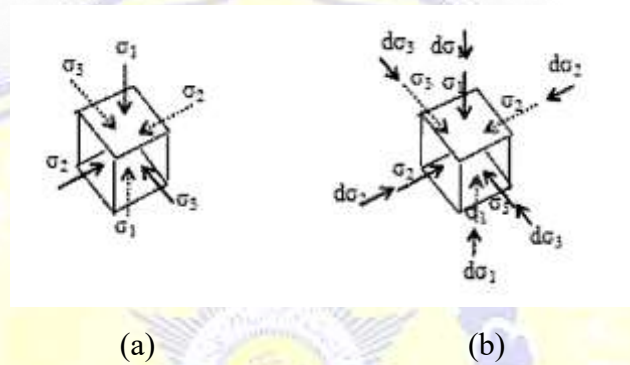
$\Delta L$  = Perbandingan perubahan panjang (m)

$L_0$  = Panjang awal (m)

$L_t$  = Panjang setelah terjadi regangan (m)

b. Regangan volume

Yaitu perbandingan yang disebabkan karena perubahan volume  $\Delta V$ , akibat dari gaya yang bekerja dalam tekanan hidrostatis.



Gambar 2. 3 Regangan volume akibat gaya hidrostatis

(Sumber: Sutarman, 2013)

Rasio antara perubahan volume  $\Delta V$  terhadap volume awal  $V_0$  disebut regangan volume  $\epsilon_{\text{volume}}$ . Regangan volume dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$\epsilon_{\text{volume}} = \frac{\Delta V}{V_0} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan:

$\epsilon_{\text{volume}}$  = Regangan volume

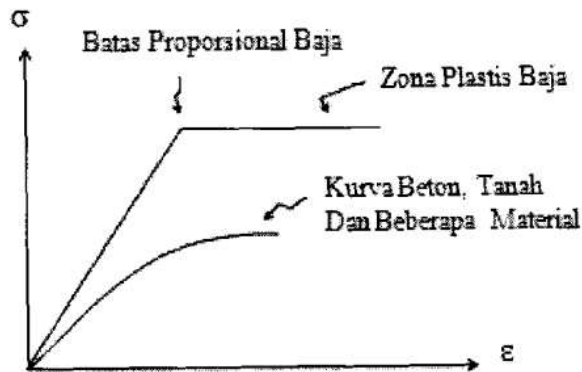
$\Delta V$  = Perubahan volume

$V_0$  = Volume awal

3. Modulus elastisitas

Bedasarkan kutipan dari Sutarman (2013) apabila hubungan antara regangan dan tegangan dirancang maka, akan didapat kurva garis lurus pada batas tertentu untuk baja dan beberapa material lainnya. Jika untuk beton, tanah, dan

sebagian besar material lainnya kurva akan melengkung, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut:



Gambar 2. 4 Karakteristik Tegangan-Regangan

(Sumber: Sutarman, 2013)

Parameter elastis yang digunakan untuk analisa deformasi dari benda padat diberikan oleh kemiringan dari bagian lurus kurva tegangan-regangan. Parameter tersebut disebut modulus elastisitas (E), yang merupakan rasio dari perubahan tegangan  $\Delta\sigma$  terhadap perubahan regangan  $\Delta\varepsilon$ . Modulus elastisitas dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan:

- E = Modulus elastisitas (MPa)
- $\sigma$  = Tegangan (N/m<sup>2</sup>)
- $\varepsilon$  = Regangan

Berdasarkan SNI 2847-2019, Pasal 19.2.2.1 modulus elastisitas beton  $E_c$ , yang di izinkan dihitung dengan persamaan 2.6 dan 2.7 berikut:

Untuk nilai  $w_c$  di antara 1400 dan 2560 kg/m<sup>3</sup>:

$$E_c = w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan:

- $E_c$  = Modulus elastisitas (MPa)
- $w_c$  = Berat beton bertulang
- $f'_c$  = Mutu beton

Untuk beton normal:

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan:

$E_c$  = Modulus elastisitas (MPa)

$f'_c$  = Mutu beton

Dikutip dari SNI-2847-2019 Pasal 20.2.2.2 modulus elastisitas  $E_s$  untuk batang dan kawat nonprategang diizinkan diambil sebesar 200000 MPa.

### 2.2.2 Pembebanan

Standar pembebanan yang digunakan dalam perencanaan Gedung Covid-19 dan Trauma Center adalah sebagai berikut:

1. Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lainnya SNI-1727-2020,
2. Tata cara ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI-1726-2019.

Dalam merencanakan suatu struktur gedung beban-beban yang bekerja di atasnya harus diperhitungkan dan disesuaikan dengan peraturan atau standar yang berlaku. Berdasarkan SNI-1727-2020 dan SNI-1726-2019 bangunan harus dirancang sesuai dengan ketahanannya terhadap kombinasi dan beban yang diberikan pada tabel 2.1 dan 2.2 berikut:

Tabel 2. 1 Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung

No	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
1.	Baja	7.850	kg/m <sup>3</sup>
2.	Batu alam	2.600	kg/m <sup>3</sup>
3.	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500	kg/m <sup>3</sup>
4.	Batu karang (berat tumpuk)	700	kg/m <sup>3</sup>
5.	Batu pecah	1.450	kg/m <sup>3</sup>
6.	Besi tuang	7.250	kg/m <sup>3</sup>
7.	Beton <sup>(1)</sup>	2.200	kg/m <sup>3</sup>
8.	Beton bertulang <sup>(2)</sup>	2.400	kg/m <sup>3</sup>
9.	Kayu (Kelas 1) <sup>(3)</sup>	1.000	kg/m <sup>3</sup>

No	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
10.	Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650	kg/m <sup>3</sup>
11.	Pasangan bata merah	1.700	kg/m <sup>3</sup>
12.	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200	kg/m <sup>3</sup>
13.	Pasangan batu cetak	2.200	kg/m <sup>3</sup>
14.	Pasangan batu karang	1.450	kg/m <sup>3</sup>
15.	Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600	kg/m <sup>3</sup>
16.	Pasir (jenuh air)	1.800	kg/m <sup>3</sup>
17.	Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850	kg/m <sup>3</sup>
18.	Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700	kg/m <sup>3</sup>
19.	Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000	kg/m <sup>3</sup>
20.	Timah hitam (timbel)	11.400	kg/m <sup>3</sup>

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983

(1) Nilai ini tidak berlaku untuk beton pengisi.

(2) Untuk beton getas, beton kejut, beton mampat dan beton padat lain sejenis, berat sendirinya harus ditentukan sendiri.

(3) Nilai ini adalah nilai tara-rata; untuk jenis-jenis kayu tertentu lihat NI 5 Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia.

Tabel 2. 2 Berat sendiri komponen gedung

No	Komponen Gedung	Beban	Satuan
1.	Adukan, per cm tebal: - Dari semen - Dari kapur, semen merah atau tras	21	kg/m <sup>2</sup>
		17	kg/m <sup>2</sup>
2.	Aspal termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14	kg/m <sup>2</sup>
3.	Dinding pasangan bata merah: - Satu batu - Setengah batu	450	kg/m <sup>2</sup>
		250	kg/m <sup>2</sup>
4.	Dinding pasangan batako: Berlubang: - Tebal dinding 20 cm (HB 20) - Tebal dinding 10 cm (HB 10) Tanpa lubang: - Tebal dinding 15 cm - Tebal dinding 10 cm	200	kg/m <sup>2</sup>
		120	kg/m <sup>2</sup>
		300	kg/m <sup>2</sup>
		120	kg/m <sup>2</sup>
5.	Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku) terdiri dari: - Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm - Kaca dengan tebal 3-4 mm	11	kg/m <sup>2</sup>
		10	kg/m <sup>2</sup>

No	Komponen Gedung	Beban	Satuan
6.	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m <sup>2</sup>	40	kg/m <sup>2</sup>
7.	Penggantung langit-langit (dari kayu) dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0.80 m	7	kg/m <sup>2</sup>
8.	Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m <sup>2</sup> bidang atap	50	kg/m <sup>2</sup>
9.	Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso per m <sup>2</sup> bidang atap	40	kg/m <sup>2</sup>
10.	Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10	kg/m <sup>2</sup>
11.	Penutup lantai dari ubin semen porland, teraso dan beton, tanpa adukan per cm tebal	24	kg/m <sup>2</sup>
12.	Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11	kg/m <sup>2</sup>

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983

#### 1. Beban Mati (*Dead Load*)

Berdasarkan SNI 1727-2020 beban mati adalah berat keseluruhan dari bahan bangunan yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural serta structural lainnya kemudian peralatan layan yang terpasang lainnya termasuk berat derek dan sistem pengangkut material.

##### a. Berat bahan dan konstruksi

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

##### b. Beban peralatan dan layanan tetap

Dalam menentukan beban mati desain harus diperhitungkan berat peralatan layanan tetap, termasuk berat maksimum pengisi peralatan layanan tetap yang bervariasi, seperti kandungan cairan dan wadah yang dapat dipindahkan, tidak boleh digunakan untuk menahan gaya yang menyebabkan kondisi terguling, tergelincir dan terangkat.

## 2. Beban Hidup (*Live Load*)

Berdasarkan SNI 1727-2020 beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna atau penghuni bangunan gedung atau struktur lainnya yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati.

### a. Beban hidup atap

Berdasarkan SNI-1727-2020 beban hidup pada atap yang diakibatkan:

- 1) Selama pemeliharaan oleh pekerja, peralatan dan material
- 2) Selama masa layan struktur akibat benda bergerak, seperti tanaman pot atau perlengkapan dekoratif kecil serupa lainnya yang bukan terkait hunian. Beban hidup terkait hunian pada atap seperti area berkumpul di atap, atap dek dan atap vegetatif atau atap lansekap pada area yang bisa dipakai, diperhitungkan sebagai beban hidup pada atap daripada beban hidup atap.

### b. Beban hidup terdistribusi merata

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 berikut:

Tabel 2. 3 Beban hidup terdistribusi merata monimum,  $L_o$  dan beban hidup terpusat minimum

Hunian atau penggunaan	Merata, $L_o$ psf (kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan?	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan	Terpusat Ib (kN)
<b>Apartemen (lihat rumah tangga)</b>				
<b>Sistem lantai akses</b>				
Ruang kantor	2,4	Ya	Ya	8,9
Ruang komputer	4,79	Ya	Ya	8,9
<b>Gudang persenjataan dan ruang latihan</b>	7.18	Tidak	Tidak	
<b>Ruang pertemuan</b>				
Kursi tetap (terikat di lantai)	2,87	Tidak	Tidak	
Lobi	4,79	Tidak	Tidak	



Hunian atau penggunaan	Merata, L <sub>o</sub> psf (kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan?	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan	Terpusat Ib (kN)
Kursi dapat dipindahkan	4,79	Tidak	Tidak	
Panggung pertemuan	4,79	Tidak	Tidak	
Lantai podium	7,18	Tidak	Tidak	
	4,79	Tidak	Tidak	
Tribun penonton stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	2,87	Tidak	Tidak	
Ruang pertemuan lainnya	4,79	Tidak	Tidak	
<b>Balkon dan dek</b>	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m <sup>2</sup> )	Ya	Ya	
<b>Jalur untuk akses pemeliharaan</b>	1,92	Ya	Ya	1,33
<b>Koridor</b>				
Lantai pertama	4,79	Ya	Ya	
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain			
<b>Ruang makan dan restoran</b>	4,79	Tidak	Tidak	
<b>Hunian (lihat rumah tinggal)</b>				
<b>Dudukan mesin elevator</b> (pada area 2 in x 2 in (50 mm x 50 mm))		-	-	1,33
<b>Konstruksi pelat lantai finishing ringan</b> (pada area 1 in x 1 in (25 mm x 25 mm))		-	-	0,89
<b>Jalur penyelamatan saat kebakaran</b>	4,79	Ya	Ya	
Hunian satu keluarga saja	1,92	Ya	Ya	
<b>Tangga permanen</b>		-	-	Pasal 4.5.4
<b>Garasi/parkir</b> (Lihat pasal 4.10)				
Mobil penumpang saja	1,92	Tidak	Ya	Pasal 4.10.1
Truk dan bus	Pasal 4.10.2	-	-	Pasal 4.10.2
<b>Pegangan tangga dan pagar pengaman</b>	Pasal 4.5.1	-	-	Pasal 4.5.1
Batang pegangan				Pasal 4.5.2
<b>Helipad</b> (Lihat pasal 4.11)				

Hunian atau penggunaan	Merata, $L_0$ psf (kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan?	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan	Terpusat Ib (kN)
Helikopter dengan berat lepas landas 3.000 Ib (13,35 kN) atau kurang	1,92	Tidak	-	Pasal 4.11.2
Helikopter dengan berat lepas landas lebih dari 3.000 Ib (13,35 kN)	2,87	Tidak	-	Pasal 4.11.2
<b>Rumah sakit</b>				
Ruang operasi, labotatorium	2,87	Ya	Ya	4,45
Ruang pasien	1,92	Ya	Ya	4,45
Koridor di atas lantai pertama	3,83	Ya	Ya	4,45
<b>Hotel (lihat rumah tinggal)</b>				
<b>Perpustakaan</b>				
Ruang baca	2,87	Ya	Ya	4,45
Ruang penyimpanan	7,18	Tidak	Ya	4,45
Koridor di atas lantai pertama	3,83	Ya	Ya	4,45
<b>Pabrik</b>				
Ringan	6,00	Tidak	Ya	8,90
Berat	11,97	Tidak	Ya	13,35
<b>Gedung perkantoran</b>				
Ruang arsip dan computer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian				
Lobi dan koridor lantai pertama	4,79	Ya	Ya	8,90
Kantor	2,40	Ya	Ya	8,90
Koridor di atas lantai pertama	3,83	Ya	Ya	8,90
<b>Lembaga hukum</b>				
Blok sel	1,92	Ya	Ya	
Koridor	4,79	Ya	Ya	
<b>Tempat rekreasi</b>				
Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenisnya	3,59	Tidak	Tidak	
Ruang dansa dan ballroom	4,79	Tidak	Tidak	
Gimnasium	4,79	Tidak	Tidak	
<b>Rumah tinggal</b>				
Hunian satu dan dua keluarga	0,48	Ya	Ya	
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	0,96	Ya	Ya	
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	1,44	Ya	Ya	
Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	1,92	Ya	Ya	
Semua ruang kecuali tangga				

Hunian atau penggunaan	Merata, $L_0$ psf (kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan?	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan	Terpusat Ib (kN)
Semua hunian rumah tinggal lainnya	1,92	Ya	Ya	
Ruang pribadi dan koridornya	4,79	Tidak	Tidak	
Ruang publik	4,79	Ya	Ya	
Koridor ruang publik				
<b>Atap</b>				
Atap datar, berbubung, dan lengkung	0,96	Ya	-	
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani. (4,70)	Ya	-	
Atap untuk tempat berkumpul		Ya	-	
Atap vegetatif dan atap lansekap				
Atap bukan untuk hunian	0,96	Ya	-	
Atap untuk tempat berkumpul	4,79	Ya	-	
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani.	Ya	-	
Awning dan kanopi				
Atap konstruksi pabrik yang di dukung oleh struktur rangka kaku ringan	0,24	Tidak	-	
Rangka penumpang layar penutup	0,24 Berdasarkan area tributari dari atap yang di dukung oleh komponen struktur rangka	Tidak		0,89
Semua konstruksi lainnya	0,96	Ya		
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja.	0,96	Ya		
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atas di atas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjanya, dan garasi bengkel			8,90	
Semua komponen struktur atap utama lainnya		-	-	1,33
		-	-	1,33
Semua permukaan atap dengan beban pekerja				

Hunian atau penggunaan	Merata, $L_0$ psf (kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan?	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan	Terpusat Ib (kN)
<b>Sekolah</b>				
Ruang kelas	1,92	Ya	Ya	4,45
Koridor di atas lantai pertama	3,83	Ya	Ya	4,45
Koridor lantai pertama	4,79	Ya	Ya	4,45
<b>Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat di akses</b>				0,89
<b>Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk</b>	11,97	Tidak	Ya	35,60
<b>Tangga dan jalan keluar</b>				
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	4,79 1,92	Ya Ya	Ya Ya	1,33 1.33
<b>Gudang di atas langit-langit</b>	0,96	Ya	Ya	
<b>Gudang penyimpanan dan pekerja</b> (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)				
Ringan	6,00	Tidak	Ya	
Berat	11,97	Tidak	Ya	
<b>Toko</b>				
Eceran				
Lantai pertama	4,79	Ya	Ya	4,45
Lantai di atasnya	3,59	Ya	Ya	4,45
Grosir, di semua lantai	6,00	Tidak	Ya	4,45
<b>Penghalang kendaraan</b>				
<b>Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)</b>	2,87	Ya	Ya	Pasa 4.5.3
<b>Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki</b>	4,79	Tidak	Tidak	

Sumber: SNI-1727-2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya

c. Reduksi beban hidup merata

Berdasarkan SNI-1727-2020 pasal 4.7.2 komponen struktur yang memiliki nilai  $K_{LLAT}$  adalah 400 ft<sup>2</sup> (37,16 m<sup>2</sup>) atau lebih di izinkan untuk dirancang dengan beban hidup tereduksi sesuai dengan rumus berikut:

$$L = L_0 \left( 0,25 + \frac{15}{\sqrt{K_{LLAT}}} \right) \dots\dots\dots (2.8)$$

Dalam SI:

$$L = L_o \left( 0,25 + \frac{15}{\sqrt{K_{LL}A_T}} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

L = beban hidup desain tereduksi per ft<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>) dari luasan yang didukung oleh komponen struktur

L<sub>o</sub> = Beban hidup desain tanpa reduksi per ft<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>) dari luasan yang didukung oleh komponen struktur

K<sub>LL</sub> = Faktor elemen beban hidup

A<sub>T</sub> = Luasan tributari dalam ft<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>)

Tabel 2. 4 Faktor elemen beban hidup, K<sub>LL</sub>

Elemen	K <sub>LL</sub> <sup>a</sup>
Kolom interior	4
Kolom ekterior tanpa <i>slab</i> kantilever	4
Kolom tepi dengan <i>slab</i> kantilever	3
Kolom tepi tanpa <i>slab</i> kantilever	2
Balok tepi tanpa <i>slab</i> kantilever	2
Balok interior	2
Semua komponen struktur yang tidak disebut di atas: Balok tepi dengan <i>slab</i> kantilever Balok kantilever Slab satu arah Slab dua arah Komponen struktur tanpa ketentuan-ketentuan untuk penyaluran geser menerus tegak lurus terhadap bentangnya	1

Sumber: SNI-1727-2020 *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya*

### 2.2.3 Beban gempa (Quake Load)

Beban gempa atau seismik adalah semua beban yang bekerja pada struktur yang terkena dampak pergerakan bumi yang disebabkan oleh gempa kemudian mempengaruhi struktur tersebut.

#### 1. Gempa rencana

Langkah ini dilakukan untuk 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 terlampau besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 20%.

2. Faktor keutamaan gempa dan kategori resiko

Untuk berbagai kategori resiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai Tabel 2.5 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa Ie menurut Tabel 2.6 khusus untuk bangunan gedung dengan kategori resiko IV, bila dibutuhkan. Untuk kategori resiko bangunan gedung dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2. 5 Kategori resiko

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, 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 termasuk dalam kategori resiko I, III, IV dan 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/mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<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</li> <li>- 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 IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p>	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk kedalam kategori IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: Bangunan-bangunan monumental</p> <ul style="list-style-type: none"> <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>- 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, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat.</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori resiko IV.</p>	IV

Sumber: SNI-1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung

Tabel 2. 6 Faktor keutamaan gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa I <sup>c</sup>
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI-1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung

### 3. Definisi kelas situs

Tipe kelas situs harus ditetapkan sesuai dengan definisi pada tabel berikut:

Tabel 2. 7 Klasifikasi situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/s)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 s/d 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 s/d 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 s/d 350	15 s/d 50	50 s/d 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 nilaris $\bar{s}_u < 25$ 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: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastis sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$ ) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa.		

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

Sumber: SNI-1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung

### 4. Parameter percepatan terpetakan

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

### 5. Kelas situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasikan sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE dan SF. Jika sifat tanah



tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situsnya, maka kelas situs *SE* dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs lainnya.

6. Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget ( $MCE_R$ )

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{MI}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan rumus berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots (2.10)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan:

$S_s$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakkan untuk periode pendek

$S_I$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakkan untuk periode 1 detik.

Dengan koefisien  $F_a$  dan  $F_v$  mengikuti Tabel 2.8 dan 2.9

Tabel 2. 8 Koefisien situs,  $F_a$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakkan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
<i>SA</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<i>SB</i>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
<i>SC</i>	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
<i>SD</i>	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
<i>SE</i>	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
<i>SF</i>	SS <sup>(a)</sup>					

Sumber: SNI-1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung

Tabel 2. 9 Koefisien situs,  $F_v$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakkan 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 <sup>(a)</sup>					

Sumber: SNI-1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung

7. Menentukan parameter percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek,  $S_{DS}$  dan pada periode 1 detik,  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui rumus berikut:

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan:

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

$S_{MS}$  = parameter respons spektral percepatan pada periode pendek

$S_{M1}$  = parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik

8. Spektrum respons desain

Bila spektrum respons desain diperlukan dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu 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:

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots(2.14)$$

- b. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil atau sama dengan  $T_s$ , respons spektral 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:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots(2.15)$$

- d. Untuk periode lebih besar dari  $T_L$ , respons spektral percepatan desain,  $S_a$  diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan:

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

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

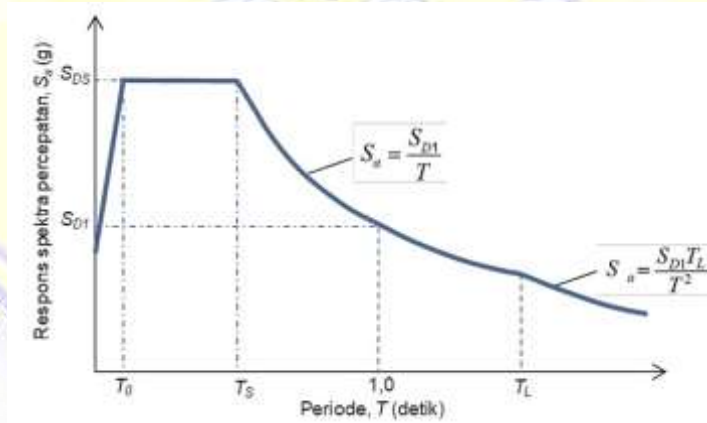
$S_a$  = respons spektra percepatan

$T$  = periode getar fundamental struktur

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

$T_0$  =  $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

$T_L$  = peta transisi periode panjang yang dianjurkan pada gambar 2.9



Gambar 2. 5 Spektrum respons desain

(Sumber: SNI-1726-2019)

## 9. Kategori desain seismik

Berdasarkan SNI-1726-2019 struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik. Struktur dengan kategori resiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada

periode 1 detik  $S_I$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. struktur yang berkategori resiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_I$  lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori resikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya,  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$ , sesuai 0. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan kedalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.10 dan Tabel 2.11, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur,  $T$ .

Apabila  $S_I$  lebih kecil dari 0,75 kategori desain seismik diizinkan untuk ditentukan sesuai Tabel 2.10, dimana berlaku semua ketentuan dibawah ini:

- a. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan periode fundamental struktur,  $T_a$  yang ditentukan sesuai dengan 0 adalah kurang dari  $0,8T_s$  ditentukan sesuai dengan 0;
- b. Pada masing-masing dua arah ortogonal, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar tingkat adalah kurang dari  $T_s$ ;
- c. Permasamaan  $C_s = \frac{S_{DS}}{R}$  digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik,  $C_s$ ;
- d. Diafragma struktural adalah kaku untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal pemikul gaya seismik tidak melebihi 12 m.

Tabel 2. 10 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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

Sumber: SNI-1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan n ongedung

Tabel 2. 11 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

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

Sumber: SNI-1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung

10. Penentuan periode

Berdasarkan SNI-1726-2019 bahwa periode fundamental (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental (T) tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ).

Tabel 2.12 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

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

Sumber: SNI-1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung

11. Periode fundamental pendekatan

Dikutip dari SNI-1726-2019 periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana:

$h_n$  = ketinggian struktur (m) di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

$C_t$  = koefisien yang ditentukan berdasarkan tabel 2.13

$x$  = koefisien yang ditentukan dari tabel 2.13

Tabel 2.13 nilai parameter periode pendek pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe struktur	$C_t$	$x$
System rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100% gaya seismik yang disyaratkan atau tidak dilingkupi atau tidak dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika terjadi gaya seismik <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rangka baja pemikul momen</li> <li>• Rangka beton pemikul momen</li> </ul>	0,0724 0,0466	0,8 0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing eksentris terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua system struktur lainnya	0,0488	0,75

#### 2.2.4 Kombinasi pembebanan

Dengan mengacu pada SNI-1726-2019 bahwa struktur komponen struktur dan elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi pembebanan.

Berdasarkan SNI-2847-2019 kombinasi pembebanan yang disyaratkan untuk sebuah bangunan adalah sebagai berikut:

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

#### 2.2.5 Simpangan antar lantai tingkat izin

Simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antara tingkat izin ( $\Delta_a$ ) seperti tercantum pada Tabel 2.12 untuk semua tingkat.

Tabel 2. 12 Simpangan antar tingkat izin  $\Delta_a^{a,b}$

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 tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber: SNI-1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung

### 2.2.6 Faktor reduksi kekuatan

Sesuai dengan SNI-2847-2019 mengenai faktor reduksi kekuatan yang digunakan dalam desain struktur beton, bahwa faktor reduksi kekuatan  $\phi$  yang digunakan harus sesuai dengan Tabel 2.13. Adapun fungsi dari faktor reduksi kekuatan  $\phi$  adalah sebagai berikut:

1. Untuk memperkirakan kemungkinan kekuatan penampang tidak mencukupi (*under-strength*) karena perbedaan dimensi dan kekuatan material,
2. Untuk memperkirakan ketidaktepatan pada tahap perancangan,
3. Untuk merefleksikan ketersediaan daktilitas dan tingkat keandalan yang diperlukan komponen struktur relatif terhadap beban,
4. Untuk menyatakan pentingnya komponen struktur terhadap keseluruhan struktur.

Tabel 2. 13 Faktor reduksi kekuatan

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	-
e)	Zona angkur pascatarik ( <i>post-tension</i> )	0,85	-

Gaya atau elemen struktur		$\phi$	Pengecualian
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>	0,75	-
h)	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90	-
i)	Beton polos	0,60	-
j)	Angkur dalam elemen beeton	0,45 – 0,75	-

Sumber: SNI-2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung

### 2.2.7 Dasar-dasar perancangan struktur beton bertulang

Dalam perencanaan struktur gedung tidak terlepas dari perencanaan beton bertulang, Adapun dasar dalam perencanaan beton bertulang adalah sebagai berikut:

#### 1. Definisi beton bertulang

Beton bertulang merupakan perpaduan antara bahan penyusunnya dari beton dan dari baja tulangan. Dimana sifat utama beton yaitu sangat kuat terhadap beban tekan, tetapi mudah getas/patah serta tidak kuat terhadap beban tarik. Sifat utama dari baja tulangan yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Sehingga beton bertulang mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan konstruksi, yang dapat menahan beban tarik dan beban eksternal beban tekan. Beban tarik beton bertulang ditopang oleh baja tulangan, sedangkan beton mampu menahan beban tekan (Ansori, 2010).

#### 2. Asumsi perencanaan

Perhitungan beban yang diakibatkan oleh beban lentur atau aksial maupun kombinasi dari kedua beban, menurut (Sudarmoko, 1994), diperlukan asumsi dalam perencanaan berikut:

- a. Regangan dalam tulangan dan beton harus diasumsikan berbanding langsung dengan jarak sumbu netral,
- b. Regangan maksimum yang dapat digunakan pada serat beton terluar harus diasumsikan sama dengan 0.003,



- c. Tegangan dalam tulangan bawah kuat leleh yang ditentukan  $f_y$  untuk mutu tulangan yang digunakan harus diambil sebesar  $E_s$  dikalikan 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  $f_y$ .
- d. Kekuatan tarik beton diabaikan dan tidak digunakan dalam hitungan,
- e. Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan beton dianggap bentuk persegi,
- f. Distribusi tegangan beton persegi ekuivalen didefinisikan sebagai berikut:
  - 1) 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  $a = \beta_1 c$  dari serat dengan regangan tekan maksimum,
  - 2) Jarak  $c$  dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu tersebut,
  - 3) Faktor  $\beta_1$  harus diambil sebesar 0,85 untuk kuat tekan beton  $f'_c$  antara 17 MPa sampai dengan 28 MPa. Untuk kekuatan di atas 28 MPa,  $\beta_1$  harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan kekuatan 17 MPa di atas 28 MPa, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,65 MPa. Ketentuan ini dijelaskan pada persamaan di tabel berikut ini:

Tabel 2. 14 Faktor  $\beta_1$  untuk distribusi tegangan beton persegi ekuivalen

$f'_c$ MPa	$\beta_1$
$17 \leq f'_c \leq 28$	0,85
$28 < f'_c < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7}$
$f'_c \geq 55$	0,65

Sumber: SNI-2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung

### 2.2.8 Pondasi

Pondasi merupakan elemen struktur yang letakkan paling bawah yang memiliki fungsi meneruskan beban yang diterima dari bangunan yang ada di atasnya. Secara umum pondasi terbagi menjadi dua jenis yaitu pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*).

Pondasi yang umumnya digunakan untuk gedung tinggi adalah pondasi tiang pancang. Pondasi tiang digunakan untuk mendukung struktur atau bangunan jika lapisan tanah yang paling kuat letaknya sangat dalam. Daya dukung tiang adalah kemampuas atau kapasitas tiang *dalam mendukung/memikul beban*. Dalam beberapa literatur digunakan istilah *pile capacity* atau *pile carrying capacity*. Daya dukung tiang terdiri dari daya dukung tiang tunggal dan daya dukung tiang kelompok.

Menurut Sardjono (1991), pondasi tiang pancang merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang diperuntukkan untuk bangunan dengan kondisi tanah tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya. Pondasi tiang pancang berfungsi untuk menyalurkan beban dari struktur atas bangunan ke dalam lapisan tanah keras yang memiliki daya dukung yang cukup.

#### 1. Kemampuan tiang terhadap kekuatan bahan tiang

Menurut Sardjono (1991), kemampuan tiang terhadap kekuatan bahan tiang dapat dihitung dengan cara berikut ini:

$$\bar{P}_{\text{tiang}} = \bar{\sigma}_{\text{bahan}} \times A_{\text{tiang}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan:

- $\bar{P}_{\text{tiang}}$  = Kekuatan yang di izinkan pada tiang pancang (kg)
- $\bar{\sigma}_{\text{bahan}}$  = Tegangan tekan ijin pada tiang (kg/cm<sup>2</sup>)
- $A_{\text{tiang}}$  = Luas penampang tiang pancang (cm<sup>2</sup>)

#### 2. Kemampuan tiang terhadap kekuatan tanah

Untuk menghitung kemampuan tiang terhadap tanah menurut Sardjono (1991), dilakukan dengan cara berikut ini:

##### a. Berdasarkan konus

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} \times p}{3} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dengan:

- $Q_{\text{tiang}}$  = Daya dukung keseimbangan tiang (kg)
- $p$  = Nilai konus dari hasil sondir ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- 3 = Faktor keamanan

Catatan: Nilai konus yang digunakan untuk menentukan daya dukung tiang ini sebainya diambil rata-rata dari konus pada kedalaman :

- 4 D di atas ujung bawah tiang
- 4 D di bawah ujung bawah tiang
- Dengan D adalah diameter tiang

b. Dengan perumusan Terzaghi

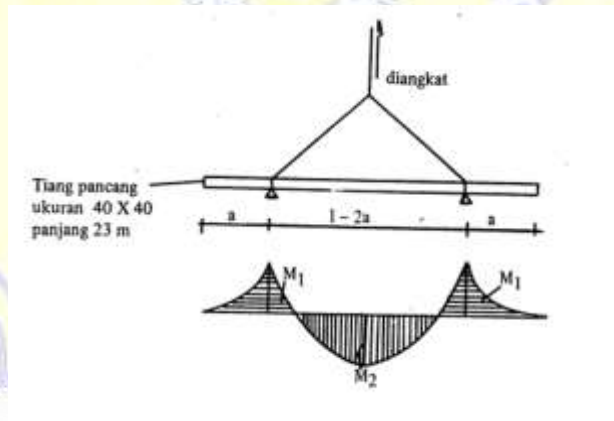
$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} \times q}{3} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan:

- $Q_{\text{tiang}}$  = Daya dukung keseimbangan tiang (kg)
- $A_{\text{tiang}}$  = Luas penampang tiang ( $\text{cm}^2$ )
- $p$  = Daya dukung keseimbangan tanah ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- 3 = Faktor keamanan

3. Penulangan tiang pancang

Untuk menentukan penulangan tiang pancang dihitung sesuai dengan kebutuhan pada waktu pengangkatan



Gambar 2. 6 Momen yang terjadi pada tiang pancang

(Sumber: Sardjono, 1991)

$$M1 = \frac{1}{2} g \cdot a^2 \dots\dots\dots (2.21)$$

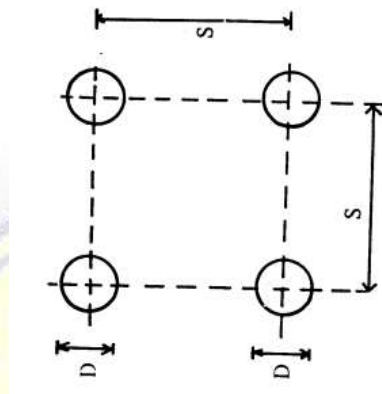
Dengan:

- $M1$  = Momen 1 ( $\text{kg}/\text{m}$ )
- $g$  = Berat tiang pancang ( $\text{kg}/\text{m}$ )

$$M_2 = \frac{1}{8} g (\ell - 2a)^2 - \frac{1}{2} g \cdot a \dots \dots \dots (2.22)$$

4. Jarak antar tiang dalam kelompok

Mengacu pada perhitungan daya dukung tanah oleh Ditjen Bina Marga Departemen P.U.T.L disyaratkan bahwa:



Gambar 2. 7 Jarak antar tiang pancang

(Sumber: Sardjono, 1991)

$$S > 2,5 D \dots \dots \dots (2.23)$$

$$S > 3D \dots \dots \dots (2.24)$$

Dengan:

S = Jarak masing-masing tiang dalam kelompok (*spacing*)

D = Diameter tiang

Adapun syarat untuk jarak anatar dua tiang dalam kelompok tiang yaitu sebagai berikut:

Maksimum = 0,60 meter

Minimum = 2,00 meter

**2.2.9 Kolom**

Kolom merupakan sebuah elemen kompresi vertikal dari kerangka structural yang berperan menanggung beban balok. Kolom meneruskan beban dari elevasi atas sampai ke elevasi yang paling bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Umumnya kolom memikul beban aksial dan momen yang dapat ditimbulkan oleh kekangan ujung akibat pengecoran yang monolit dari balok-balok lantai dan kolom atau karena eksentrisitas yang terjadi akibat ketidaksesuain posisi

dan ukuran kolom, beban yang tidak simetris akibat perbedaan tebal pelat di sekitar kolom atau karena ketidaksempurnaan lainnya (Sudarmoko, 1994).

1. Kekuatan desain

Sesuai dengan SNI-2847-2019 untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang ditetapkan, kekuatan desain pada semua penampang harus memenuhi  $\phi Sn \geq U$ , termasuk (a) hingga (d). interaksi antara efek beban harus dipertimbangkan:

- a.  $\phi P_n \geq P_u$
- b.  $\phi M_n \geq M_u$
- c.  $\phi V_n \geq V_u$
- d.  $\phi T_n \geq T_u$

2. Batasan tulangan

Luas minimum tulangan geser  $A_{v,min}$ , harus disediakan di semua wilayah dimana  $V_u > 0,5 \phi V_c$

Tulangan geser diperlukan,  $A_{v,min}$  harus lebih besar dari (a) dan (b) :

- a.  $0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}}$
- b.  $0,35 \frac{b_w s}{f_{yt}}$

Jika diperlukan, tulangan geser harus menggunakan sengkang ikat, sengkang pengekang, atau sengkang spiral. Untuk spasi maksimum tulangan geser pada kolom harus sesuai dengan aturan pada tabel 2.15 berikut:

Tabel 2. 15 Persyaratan spasi maksimum 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 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung

### 2.2.10 Balok

Balok merupakan salah satu elemen konstruksi portal dengan bentang yang besar arah mendatar. Beban yang bekerja pada balok berupa beban lentur, beban geser, maupun torsi atau disebut juga dengan momen punter, sehingga diperlukan baja tulangan untuk menahan beban tersebut. Tulangan yang digunakan berupa tulangan longitudinal untuk menahan beban lentur, dan tulangan geser atau begel untuk menahan geser dan torsi.

Struktur dengan sistem *waffle slab* mempunyai balok rusuk atau dikenal juga dengan istilah joist. Peraturan dalam perhitungan lebar balok pada *waffle slab* mengacu pada SNI-2847-2019 yaitu sebagai berikut:

- Lebar rusuk sekurang-kurangnya 100 mm pada setiap tempat di seluruh tingginya,
- Tebal keseluruhan rusuk tidak boleh melebihi 3,5 kali lebar minimum,
- Spasi bersih antar rusuk tidak boleh melebihi 750 mm.

#### 1. Keruntuhan lentur pada balok

Keruntuhan yang terjadi pada balok lentur tergantung dari sifat-sifat penampang balok. Asroni (2010) menjelaskan jenis keruntuhan yang terjadi pada balok dibedakan menjadi keruntuhan tekan, keruntuhan seimbang, dan keruntuhan tarik.

##### a. Keruntuhan tekan (*Over-reinforced*)

Pada kondisi ini penampang beton akan hancur sebelum baja tulangan leleh. Keadaan ini menunjukkan regangan tekan beton sudah melampaui regangan batas, namun regangan tarik baja tulangan belum mencapai leleh. Balok yang mengalami keruntuhan ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan ( $\rho$ ) yang relatif besar, sehingga rasio tulangan maksimum dihitung tidak boleh melebihi perhitungan pada persamaan berikut:

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b \dots \dots \dots (2.25)$$

##### b. Keruntuhan seimbang (*Balance*)

Pada kondisi ini beton akan hancur bersamaan dengan melelehnya baja tulangan. Menunjukkan bahwa regangan tekan beton mencapai batasnya

dan regangan tarik baja tulangan mencapai kelelahan pada waktu yang bersamaan. Balok yang mengalami keadaan ini terjadi pada penampang beton dengan rasio tulangan seimbang yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \dots \dots \dots (2.26)$$

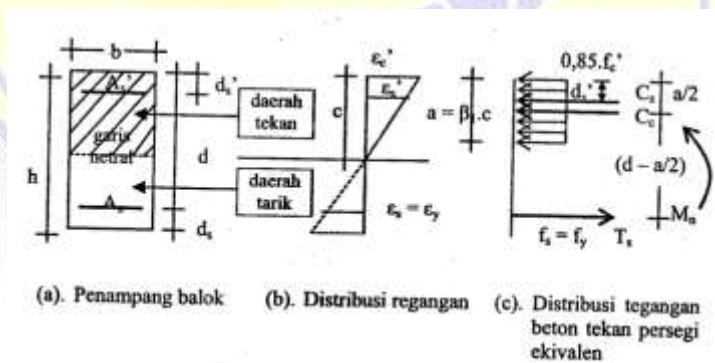
c. Keruntuhan tarik (*Under-reinforced*)

Kondisi dimana baja tulangan sudah leleh sebelum beton hancur, yang berarti regangan tarik baja sudah mencapai titik leleh namun regangan tekan beton belum mencapai batasnya. Balok yang mengalami keruntuhan ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan ( $\rho$ ) yang kecil. Sehingga untuk rasio tulangan minimum dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y} \text{ atau } \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (2.27)$$

2. Penulangan lentur balok

Pada perencanaan beton bertulang, regangan tulangan tarik selalu diperhitungkan sudah leleh, yaitu  $\epsilon_s = \epsilon_y$  dengan  $\epsilon_y = f_y/E_s$  atau  $\epsilon_y = f_y/200000$ . Sedangkan untuk tulangan tekan, regangan tulonga tekan ( $\epsilon_s'$ ) belum tentu leleh (Asroni, 2010).



Gambar 2. 8 Distribusi regangan dan tegangan pada balok bertulang rangkap

(Sumber: Ali Asroni, 2010)

Nilai regangan tulangan tekan  $\epsilon_s'$  dapat dihitung atau ditentukan dari distribusi regangan pada gambar 2.9 (b), dengan penjabaran rumus sebagai berikut:

$$\frac{c}{\epsilon_{cu}'} = \frac{c-d_s'}{\epsilon_{cu}'} \dots\dots\dots(2.28)$$

Tegangan tekan baja tulangan  $f_s'$  dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$f_s' = \frac{a-\beta_1 d_s'}{a} \times 600 \dots\dots\dots(2.29)$$

3. Momen nominal dan rencana balok

Pada balok bertulang rangkap bagian atas bekerja dua buah gaya tekan ke kiri, sedangkan penampang balok bagian bawah bekerja 1 gaya tarik ke kanan. Gaya tekan dan gaya tarik tersebut sama besar dan bekerja berlawanan arah, sehingga menimbulkan momen yang disebut dengan momen minimal aktual ( $M_n$ ) yang diuraikan pada persamaan 2.15 sampai persamaan 2.18 berikut:

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \dots\dots\dots(2.30)$$

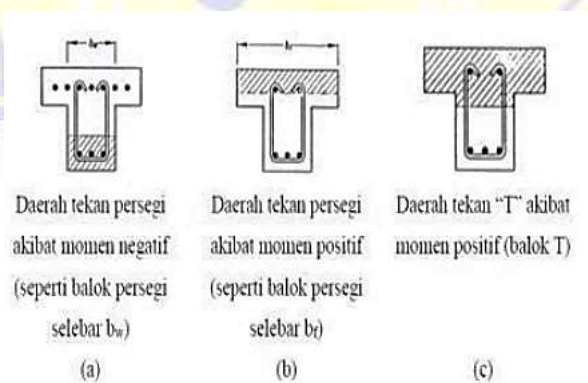
$$M_{nc} = c_c \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \text{ dengan } c_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \dots\dots\dots(2.31)$$

$$M_{ns} = T_s \cdot (d - d') \text{ dengan } T_s = A_s f_s' \dots\dots\dots(2.32)$$

$$M_r = \phi M_n, \text{ dengan } \phi = 0,9 \dots\dots\dots(2.33)$$

4. Konstruksi balok T

Jika pada penampang balok terjadi momen negatif, maka balok T akan berperilaku sebagai balok persegi biasa (bagian yang diarsir yang ditunjukkan pada gambar (a), dimana bagian beton yang tertekan berbentuk persegi dengan lebar yang tertekan sebesar  $b_w$ , sehingga untuk analisis dan desainnya sama seperti balok persegi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 9 Bagian tekan pada balok T

(Sumber: Simanjutak, 2016)



Jika pada penampang terjadi berupa momen positif maka, diperkirakan terjadi akan terjadi dua kemungkinan yaitu:

- a. Balok akan berperilaku sebagai balok persegi jika bagian yang tertekan hanya pada bagian sayap saja seperti pada gambar 2.12 (b) dengan lebar bagian tekan  $b_f$ .
- b. Balok akan berperilaku sebagai balok T murni jika bagian yang tertekan meliputi sayap dan badan balok T.

Berdasarkan 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 2.22 berikut:

Tabel 2. 16 Tinggi minimum balok

Kondisi perlekan	Minimum $h^{[1]}$
Perletakan sederhana	$\ell/16$
Menerus satu sisi	$\ell/18,5$
Menerus dua sisi	$\ell/21$
kantilever	$\ell/8$

Sumber: SNI-2847-2019 *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*

Untuk  $f_y$  lebih besar dari 420 MPa, maka persamaan pada Tabel 2.22 harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y / 700)$ .

Untuk balok nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan  $w_c$  berkisaran antara 1440 hingga 1840 kg/m<sup>3</sup>, persamaan pada Tabel 2.22 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari (a) dan (b):

- a)  $1,65 - 0,0003 w_c$
- b) 1,09

## 5. Penulangan geser dan torsi

Tulang geser pada balok dibutuhkan untuk menahan gaya geser/gaya lintang yang bekerja pada bagian ujung balok sehingga dapat menimbulkan retak miring pada balok. Torsi atau dikenal dengan momen puntir adalah momen yang bekerja terhadap sumbu longitudinal balok/elemen struktur yang dapat terjadi karena adanya beban eksentrik yang bekerja pada balok tersebut.

Kuat momen torsi yang diberikan balok beton, dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$T_c = \frac{\frac{\sqrt{f'_c}}{15} \sum x^2 y}{\sqrt{1 + \left[ \frac{0,4V_u}{C_t T_u} \right]^2}} \dots\dots\dots(2.34)$$

Kemampuan maksimum menahan geser pada balok beton dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_c = \frac{\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \sum b_w d}{\sqrt{1 + \left[ 2,5 C_t \frac{T_u}{V_u} \right]^2}} \dots\dots\dots(2.35)$$

### 2.2.11 Pelat lantai

Pelat beton bertulang merupakan struktur tipis yang terbuat dari beton bertulang dengan bidang arah horizontal, dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut. Tebal pelat bidang relatif sangat kecil dibandingkan dengan Panjang/lebar bentang bidang. Pelat beton bertulang sangat kaku dan arahnya horizontal, sehingga pada bangunan gedung pelat berfungsi sebagai diafragma/unsur pengaku horizontal yang bermanfaat sebagai pendukung ketegaran balok portal (Ali Ansori, 2010).

Pelat lantai pada bangunan bertingkat merupakan bagian struktur yang posisinya terpasang secara mendatar dan fungsinya sebagai tumpuan/ pijakan bagi penghuni yang ada di atasnya. Pada umumnya pelat lantai mempunyai ketebalan yang relatif sangat kecil jika dibandingkan dengan panjang bentangnya sehingga, sifat kaku dari pelat sangat kurang. Kurangnya kekakuan tersebut, akan mengakibatkan defleksi atau lendutan pelat menjadi besar. Untuk mencapai keamanan dan peraturan dari konstruksi, lendutan yang besar harus dicegah agar pelat lantai masih dapat berfungsi dan memberikan kenyamanan berpijak bagi penghuni gedung (Benny Puspantoro, 1993).

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 (Sudarmoko, 1996).

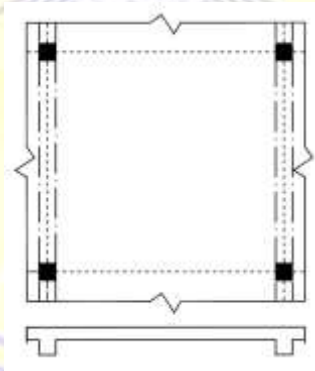
Pada umumnya pelat yang digunakan pada sebuah bangunan dikelompokkan menjadi tiga yaitu diuraikan berikut ini:

1. Pelat rusuk (*joins construction*)

Pelat rusuk adalah pelat dari beton yang mempunyai ketebalan 50 sampai dengan 100 mm, yang ditahan oleh sejumlah rusuk dengan jarak beraturan. Rusuk yang digunakan mempunyai lebar minimum 100 mm dan mempunyai tinggi lebih dari 3,5 kali lebar minimumnya. Rusuk dipotong oleh balok induk utama yang langsung menumpu pada kolom. Sistem pelat rusuk cocok digunakan untuk struktur pelat dengan bentang 6 – 9 meter.

2. Pelat satu arah

Pelat satu arah merupakan pelat yang hanya ditumpu di kedua sisi sehingga pelat akan melentur atau mengalami lendutan dalam arah tegak lurus dari sisi tumpuan, beban yang di distribusikan oleh pelat dalam satu arah yaitu arah tumpuan seperti pada gambar di bawah ini.

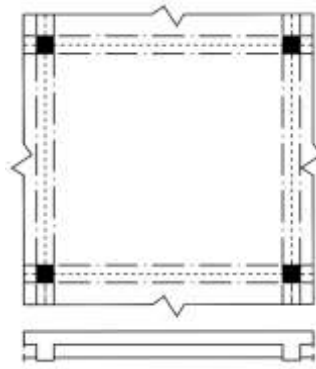


Gambar 2. 10 Pelat satu arah

(Sumber: Agus Setiawan, 2016)

3. Pelat dua arah

Sistem pelat lantai dua arah merupakan pelat yang ditumpu pada ke empat sisi atau ke empat balok pendukung. Akibatnya tulangan utama pelat diperlukan pada kedua arah sisi pelat. Permukaan lendutan pelat mempunyai kelengkapan ganda. (Sudarmoko, 1996)



Gambar 2. 11 Pelat dua arah

(Sumber: Agus Setiawan, 2016)

Pelat dua arah merupakan pelat yang ditopang oleh keempat sisi, dengan rasio bentang panjang terhadap bentang pendeknya kurang dari dua. Sistem pelat dua arah dibagi menjadi beberapa jenis yaitu sebagai berikut:

a. Sistem balok-pelat dua arah

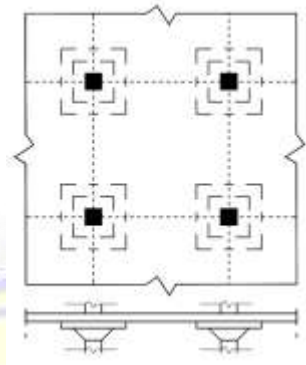
Pada sistem ini beton ditumpu oleh balok di empat sisinya. Beban dari pelat ditransferkan pada ke empat penumpu balok dan selanjutnya beban ditransfer ke kolom. Balok akan meningkatkan kekakuan pelat, sehingga lendutan yang terjadi akan relatif kecil.

b. Sistem slab datar (*flat slab*)

Slab datar merupakan sistem struktur pelat beton dua arah yang tidak memiliki balok penumpu pada masing-masing sisinya. Beban pelat kemudian ditransfer langsung ke kolom. Kolom cenderung akan menimbulkan kegagalan geser pons pada pelat, namun dapat dicegah dengan cara berikut:

- 1) Memberikan penebalan setempat pada pelat (*drop panel*) serta penambahan kepala kolom (*column capital*),
- 2) Menambahkan penebalan panel namun tanpa kepala kolom, panel pada kolom harus cukup tebal untuk memikul terjadinya tegangan tarik diagonal yang muncul akibat geser pons,
- 3) Menggunakan kepala kolom tanpa ada penebalan panel, namun alternatif yang ini jarang digunakan.

Sistem slab datar dapat digunakan untuk bentang dengan panjang 6 sampai 9 meter dengan beban hidup yang dipikul sebesar 4 sampai 7 kN/m<sup>3</sup>.

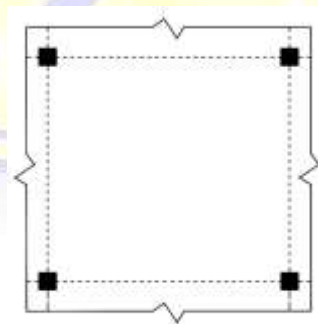


Gambar 2. 12 Slab datar (*flat slab*)

(Sumber: Agus Setiawan, 2016)

c. Sistem pelat datar (*flat plate*)

Sistem dari pelat ini langsung menumpu pada kolom tanpa adanya penempatan panel dan kepala kolom. Kemungkinan kegagalan struktur terbesar akan timbul akibat gaya geser pons yang dapat menghasilkan tegangan tarik diagonal. Sebagai akibat dari tidak adanya penebalan pada panel dan kepala kolom, maka membutuhkan ketebalan pelat yang lebih besar atau dengan memberikan penulangan ekstra di area sekitar kolom. Sistem pelat datar dapat digunakan untuk struktur pelat dengan bentang 6 sampai 7,5 meter dan menopang beban hidup sebesar 2,5 sampai 4,5 kN/m.

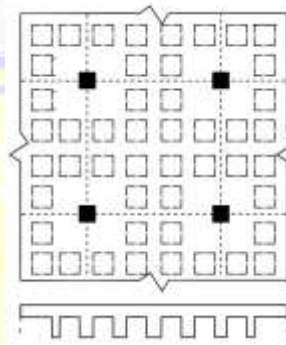


Gambar 2. 13 Pelat datar (*flat plate*)

(Sumber: Agus Setiawan, 2016)

d. Pelat dua arah berusuk dan pelat *waffle*

Pelat dua arah berusuk merupakan sistem pelat dua arah yang mempunyai ketebalan pelat antara 50 sampai 100 mm yang ditumpu oleh rusuk-rusuk dalam dua arah. Jarak antar rusuk berkisar antara 500 sampai 750 mm. Tepi-tepi pelat ditopang oleh balok atau dapat juga pelat sendiri langsung menumpu pada kolom dengan memberikan penebalan pada pelat di sekitar kolom. Sistem pelat ini sering disebut sebagai pelat *waffle*.



Gambar 2. 14 Pelat rusuk dua arah (*waffle*)

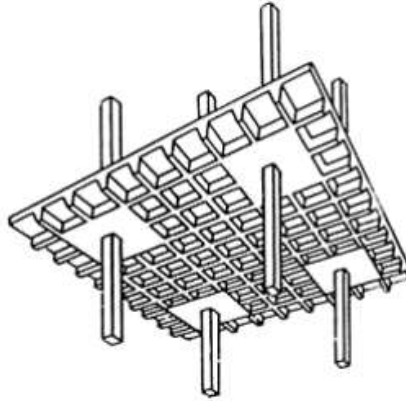
(Sumber: Agus Setiawan, 2016)

### 2.2.12 Pelat lantai sistem *waffle*

Sistem *waffle slab* atau system pelat berusuk yang dinamakan juga dengan pelat joist dua arah adalah pelat lantai yang direncanakan bagi lantai yang bentangnya 7,50-12,50 m. Pada bentang yang besar, ketebalan lantai yang perlu menyalurkan beban vertikal ke kolom melebihi kapasitas lentur pelat. Dengan demikian, beton di tengah panel tidak digunakan secara efisien (Nasution, 2009).

Pelat berusuk dua arah (*waffle slab*) adalah kumpulan dari balok T yang saling menyilang dan menyatu pada bidang horizontal dimana gaya-gaya dominan yang bekerja adalah tegak lurus terhadap bidang tersebut dan titik hubung balok T bersifat kaku. Pada umumnya pelat berusuk dua arah (*waffle slab*) menggunakan bahan dari konstruksi beton bertulang dengan ketebalan pelat yang tipis dan pemakaian besi tulangan yang cukup hemat dikarenakan pelat *waffle slab* memiliki kekakuan yang besar pada pelat sehingga lendutan pada pelat relative kecil. Di lain sisi *waffle slab* juga mempengaruhi tata letak kolom. Jika lendutan pada balok semakin kecil maka, jarak antar kolom pada portal bisa lebih jauh dari struktur

biasanya, dan pada umumnya lebar bentangnya 7,50-12,50 meter (Susanti, Youlanda, & Winaya, 2016).



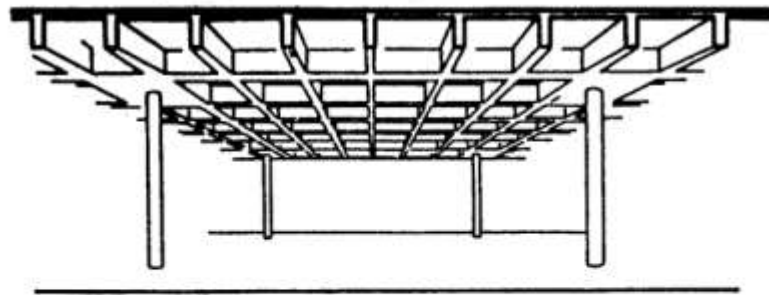
Gambar 2. 15 *Waffle Slab*

(sumber: Susanti, Youlanda, & Winaya, 2016)

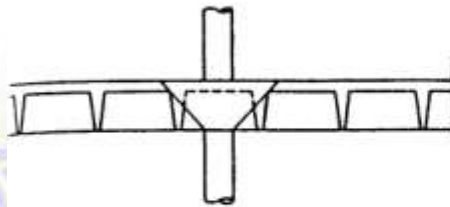
#### 1. Prinsip *waffle slab*

Slab dengan bentang kecil yaitu 5 meter sampai 7 meter, dengan beban yang biasa pada gedung dapat menyebabkan momen yang umumnya dapat dipikul oleh pelat tipis sekitar 13 cm sampai 26 cm. Semakin besar bentang suatu pelat maka semakin besar momen yang timbul, sehingga tebal pelat beton juga menjadi bertambah. Oleh sebab itu, pelat sering diberi lubang untuk mengurangi berat sendirinya tanpa mengurangi tinggi strukturalnya secara berarti, sistem inilah yang disebut dengan *waffle slab* yang dapat dilihat pada gambar 2.16 (Schodek, 1991).

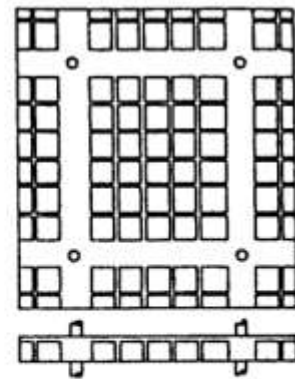
Menurut Schodek (1991), ditinjau dari bentuknya *waffle slab* merupakan struktur *grid*. Pada sistem *grid* sederhana berupa sistem satu arah mengalami defleksi akibat beban yang bekerja pada *grid* tersebut, balok transversal meneruskan beban ke elemen longitudinal lainnya. Dengan meninjau geometrik bentuk balok terdefleksi, dapat dengan mudah diketahui elemen yang memikul momen yang lebih besar. Pada sistem balok sederhana, hanya balok yang dibebani langsung saja yang memikul beban dan tidak diteruskan ke balok lain.



(a) Tampak. Plat yang tebalnya konstan dan dibuat berubang-lubang dapat berkurang berat sendirinya.



(b) Potongan. Untuk memperbesar kapasitas geser struktur, plat ini tidak dilubangi di sekitar ujung atas kolom.



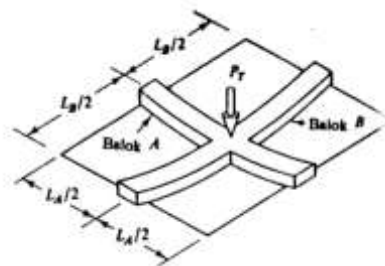
(c) Kapasitas yang membentang secara menyeluruh dari plat dapat ditingkatkan dengan tidak melubangi garis-garis antara kolom-kolom. Dengan demikian, diperoleh aksi balok-dan-slab dua arah.

Gambar 2. 16 *Waffle Slab* beton bertulang

(Sumber: Schodek, 1991)

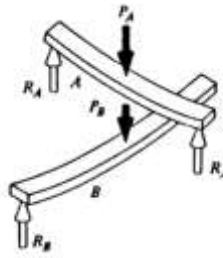
Dalam buku yang berjudul ‘Struktur’, Schodek (1991) menyatakan bahwa dalam menganalisis struktur grid perlu diketahui bahwa hubungan pada sistem balok menyilang, keadaan keserasian defleksi harus terjadi. Dengan menganggap balok terhubung secara kaku, dengan demikian kedua-duanya mengalami defleksi yang sama akibat beban.

a. Struktur dasar

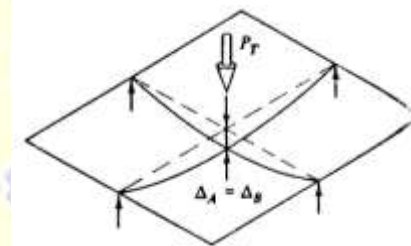




- b. Setiap balok memikul bagian dari beban total,  $P_T = P_A + P_B$



- c.  $P_A$  dan  $P_B$  dapat diperoleh dengan menyamakan ekspresi defleksi karena  $\Delta_A = \Delta_B$



Gambar 2. 17 Analisis sistem balok menyilang sederhana

(Sumber: Schodek, 1991)

## 2. Kelebihan *waffle slab*

Adapun beberapa kelebihan dari sistem struktur *waffle slab* adalah sebagai berikut:

- Waffle slab* memiliki tebal pelat yang lebih tipis yaitu 40% dari sistem pelat konvensional (Susanti, 2016)
- Penggunaan *waffle slab* dapat menghemat penggunaan kolom sebesar 55,57% dibanding dengan sistem pelat konvensional (Susanti, 2016)
- Lendutan pada pelat sistem konvensional lebih besar dibandingkan dengan sistem *waffle slab* yaitu dengan perbedaan nilai lendutan sebesar 200% (Susanti, 2016)
- Jarak antar perletakan pada sistem *waffle slab* lebih panjang 66,67% dibandingkan dengan pelat sistem konvensional (Susanti, 2016)

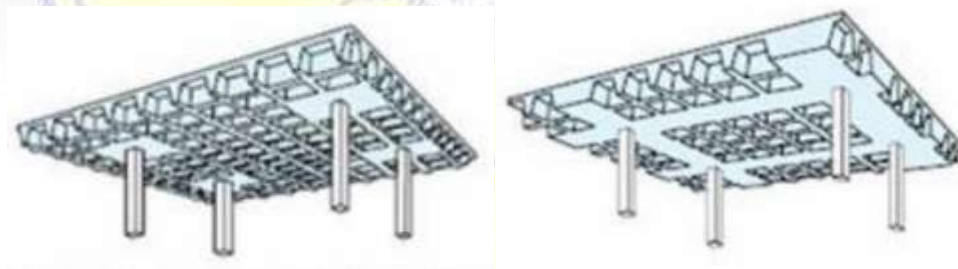
- e. Penggunaan *waffle slab* dapat berdampak terhadap pemakaian besi tulangan yang cukup hemat pada pelatnya (Nasution, 2009)

Menurut puspantoro, kelebihan dari penggunaan pelat berusuk atau *waffle slab* adalah:

- a. Memiliki kekauan yang besar pada bentang lebar, sehingga dapat memberikan kekauan yang lebih besar pada portal bangunan arah horizontal,
- b. Memiliki bentuk seragam dan bervariasi dengan cetakan yang dapat digunakan berulang kali,
- c. Dapat mendistribusikan beban dan momen secara merata pada kedua arah bentangnya,
- d. Memberi ruang yang lebih luas karena jumlah kolom dapat dikurangi.

### 3. Tipe *waffle slab*

Dikutip dari Galeb (2011) yang terlampir dalam Negara (2017) menjelaskan bahwa struktur pelat *waffle* terdiri dari kumpulan balok rusuk yang memiliki *solid heads* pada kolom yang ditunjukkan gambar 2.18 a, kemudian dengan balok lebar pada kolom seperti pada gambar 2.18.b



(a) *Waffle slab with solid heads*

(b) *Waffle slab with band beam*

Gambar 2.18 Tipe *waffle slab*

(Sumber: Galeb, 2011)

### 4. Tebal pelat lantai

Pelat lantai dengan struktur sistem *Waffle Slab* terdiri dari bagian pelat dan balok rusuk. Dalam perhitungan struktur pelat *Waffle* untuk mengendalikan

lendutan yang mungkin terjadi mengacu pada SNI-2847-2019 pada pasal 8.8.2.1.1, yaitu tebal slab dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{S-b}{12} \leq t \geq 40 \text{ m} \dots\dots\dots(2.36)$$

Dengan:

S = Jarak bersih antar rusuk balok *waffle slab* dimana harus lebih kecil dari 750 mm (SNI-2847-2019)

t = Tebal pelat

5. Tebal minimum pelat

Untuk pelat nonprategang 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 2.19.

Ketebalan minimum pelat pada pasal R8.3.1 tidak berlaku untuk pelat dengan beban tambahan yang sangat besar atau untuk beton dengan modulus elastisitas yang relatif rendah dibandingkan beton normal. Lendutan harus dihitung untuk situasi tersebut.

Batasan lendutang selain yang dihitung dari pasal 8.3.2 SNI-2847-2019 nilai terkecil yang di ambil yaitu antara (a) dan (b) berikut:

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

Tabel 2. 17 Ketebalan minimum pelat dua arah tanpa balok interior

$f_y$ MPa	Tanpa drop panel			Dengan drop panel		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Dengan balok tepi	Dengan balok tepi		Dengan balok tepi	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 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung

Untuk panel yang memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek lebih besar dari 2, penggunaan persamaan (b) dan (d) pada Tabel 2.20 dengan perbandingan bentang terpanjang dapat memberikan hasil yang tidak masuk akal.

Tabel 2. 18 Ketebalan minimum pelat dua arah dengan balok di antara tumpuan pada semua sisi

$\alpha_{fm}^{[1]}$	H minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b) <sup>[2],[3]</sup>
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$	(d) <sup>[2],[3]</sup>
		90	(e)

(Sumber: SNI-2847-2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung)

6. Tulangan utama pelat

Rasio tulangan utama yang digunakan tidak boleh melebihi rasio maksimum dan rasio minimum yang telah ditetapkan. Perhitungan rasio yang digunakan adalah pada persamaan berikut ini:

$$\rho_b = 0,85 \frac{f'_c}{f_y} \beta \frac{600}{600 + f_y} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b \dots\dots\dots(2.38)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ atau } \rho_{min} = 0,0025 \dots\dots\dots(2.39)$$

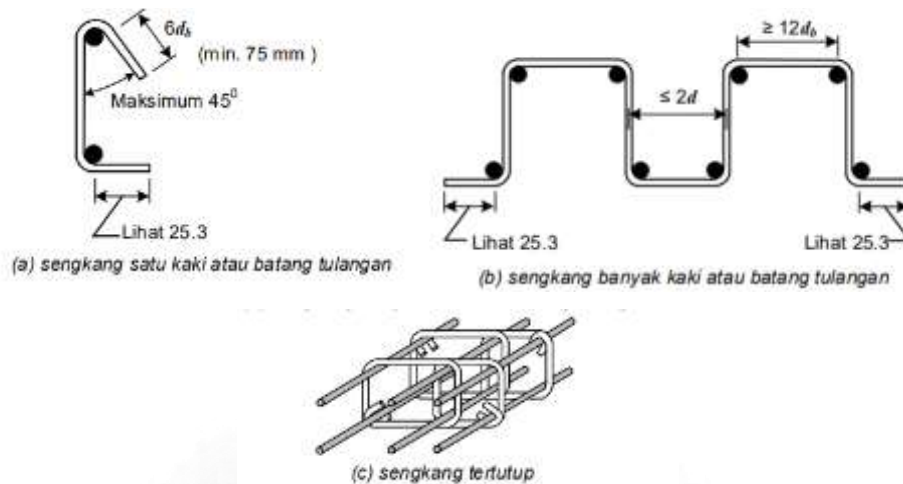
7. Tulangan geser-sengkang pelat

Berdasarkan SNI-2847-2019 Pasal 8.7.6.3 jika sengkang disediakan, lokasi dan spasi harus sesuai dengan tabel berikut ini:

Tabel 2. 19 Batas lokasi dan spasi sengkang pertama

Arah pengukuran	Deskripsi pengukuran	Jarak atau spasi maksimum, mm
Tegak lurus dengan muka kolom	Jarak dari muka kolom ke sengkang pertama	$d/2$
	Spasi antar sengkang	$d/2$
Sejajar dengan muka kolom	Spasi antar kaki vertikal sengkang	$2d$

Sumber: SNI-2847-2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung



Gambar 2. 18 Sengkang satu- atau banyak- kaki, tipe pelat tulangan geser

(Sumber: SNI-2847-2019)

### 2.2.13 Dinding geser (*Shear Wall*)

Dikutip dari Wiryadi dan Sudarsana tahun 2019, Dinding geser merupakan struktur vertikal yang digunakan pada gedung betingkat tinggi. Dinding geser berfungsi sebagai penahan beban lateral seperti gaya gempa dan angin. Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu:

1. *Bearing walls*, yaitu dinding geser yang mampu menahan sebagian besar beban grafitasi. Dinding geser jenis ini dapat digunakan sebagai partisi antar apartemen yang berdekatan.
2. *Frame walls*, yaitu dinding geser yang mampu menahan beban lateral dimana beban grafitasi berawal dari rangka beton bertulang, dinding ini direncanakan di antara lajur kolom.
3. *Core walls*, yaitu dinding geser yang terletak pada wilayah inti atau pusat bagian dalam gedung yang umumnya difungsikan sebagai tangga atau bahkan poros lift. Dinding yang letaknya di area inti dianggap sebagai pilihan paling ekonomis karena memiliki fungsi ganda.

Pada umumnya konstruksi bangunan tinggi yang tahan terhadap beban gempa menggunakan elemen struktur kaku berupa dinding geser untuk menahan kombinasi gaya geser, momen dan gaya aksial yang terjadi akibat beban gempa maupun beban lateral lainnya. Penggunaan dinding geser yang kaku pada bangunan

diharapkan mampu menerima sebagian besar beban gempa atau beban lateral lainnya yang terjadi (Wiryadi dan Sudarsana, 2019)

Adapun jenis dinding geser terdiri dari:

1. Dinding tunggal yang diletakkan terpisah pada tiap sisi bangunan.



Gambar 2. 19 Dinding tunggal pada tiap sisi bangunan

(Sumber: Wiryadi dan Sudarsana, 2019)

2. Beberapa dinding geser yang disusun membentuk core diletakkan di tengah gedung



Gambar 2. 20 Dinding geser yang diletakkan di tengah gedung

(Sumber: Wiryadi dan Sudarsana, 2019)

Penulangan untuk dinding geser (shear wall) mengacu pada ketentuan berikut ini:

1. Rasio minimum untuk luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton disyaratkan sebagai berikut:
  - a. 0,0012 untuk batang ulir  $\leq$  D16 dengan tegangan leleh yang disyaratkan  $\geq$  420 MPa
  - b. 0,0015 untuk batang ulir lainnya
  - c. 0,0012 untuk tulangan kawat las  $\leq$   $\varnothing$  16 atau D16
2. Rasio minimum untuk luas tulangan horizontal terhadap luas bruto beton ditentukan dengan persyaratan berikut:

- a. 0,0020 untuk batang ulir  $\leq$  D16 dengan tegangan leleh yang disyaratkan  $\geq$  420 MPa
  - b. 0,0025 untuk batang ulir lainnya
  - c. 0,0020 untuk tulangan kawat baja las (polos atau ulir)  $\leq$   $\emptyset$  16 atau D16
3. Jarak antara tulangan vertikal dan tulangan horizontal tidak boleh lebih besar daripada tga kali ketebalan dinding dan tidak boleh lebih besar dari 450 mm.
  4. Tulangan bertikal tidak perlu diberi tulangan pengikat transversal jika luas tulangan vertikal tidak melebihi 0,01 dikali luas bruto penampang beton, atau jika tulangan vertikal tidak dibutuhkan sebagai tulangan tekan.
  5. Pada bukaan berupa jendela, pintu dan yang lain, minimal dipasang dua batang tulangan D16 pada dinding yang mempunyai dua lapis tulangan dan satu tulangan D16 untuk dinding dengan satu lapis tulangan pada kedua arah.

#### **2.2.14 Analisis menggunakan software ETABS V.18**

ETABS adalah software rekayasa untuk struktur dan keempaan yang diperuntukkan melakukan analisis dan desain bangunan bertingkat (multi story building). ETABS adalah salah satu produk yang dihasilkan oleh perusahaan bernama Computers and Structures (Supriyanto, 2015).

Menurut Wigroho (2006) mendefinisikan ETABS (*Extended 3D Analysis of Building System*) yaitu sebuah program komputer yang dipergunakan untuk menganalisis dan mendesain bangunan gedung. Dengan menggunakan program ETABS, dapat mempermudah pembuatan/perubahan model, melakukan analisis, merancang dan mengoptimalkan desain, semua hal tersebut dapat dikerjakan melalui *single interface* yang terintegrasi dengan *microsoft windows*. Program ETABS menyediakan empat fasilitas untuk analisis dan desain struktur yaitu, membuat model, memodifikasi, meng-analisi dan mendesain struktur.

##### **1. Permodelan menggunakan software ETABS**

Wigroho (2006) menjelaskan bahwa untuk membuat model langkah-langkah yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

- a. Menentukan grid geometri, yang dilakukan dengan cara memilih *template* atau bisa juga ditentukan sendiri,
- b. Menentukan property material,
- c. Menentukan *frame section* dan *wall/slab/deck section*,
- d. Menggambarkan balok, kolom, pelat lantai dan dinding geser atau *bresing* jika ada,
- e. Menentukan *load case* dan beban statik yang bekerja pada model,
- f. Menentukan beban dinamik, yang penginputannya dapat berupa respons spektrum atau *time history*. Serta menentukan massa bangunan,
- g. Analisa struktur dan kontrol hasil. Pada tahapan ini perlu dilakukan kontrol terhadap deformasi dan gaya-gaya pada struktur, mengecek kewajaran hasil Analisa. Apabila ditemukan hasil yang tidak wajar, seperti terlampau besar atau terlampau kecil, maka perlu diperiksa mengenai data yang di input.

## 2. Geometri model

Pada program ETABS dari gambar denah jika dilihat pada sumbu arah x (global) terdapat 4 grid yang diberi label 1 dan 2, pada arah sumbu y (global) ada 4 grid dengan dua grid diberi label A dan B. pada arah sumbu vertical z (global) menjelaskan mengenai tingkat dari struktur.

## 3. Section properties

Dalam Etabs section meliputi frame section, tendon section, slab section, deck section dan wall section. Untuk frame section sendiri biasanya terdapat dua komponen yaitu berupa balok dan kolom. Keseluruhannya merupakan komponen-komponen dari bangunan yang paling sering digunakan (Wigroho, 2006).

## 4. Beban pada struktur

Sebuah struktur pasti terdapat pembebanan baik itu beban dari berat sendiri struktur tersebut. Dalam menentukan pembebanan pada aplikasi SAP2000 beban-beban yang ada harus didefinisikan terlebih dahulu. Baik beban terbagi rata maupun beban terpusat. Beban yang bekerja pada suatu struktur dibagi menjadi beberapa diantaranya berat sendiri struktur, beban yang bekerja pada elemen, beban yang bekerja pada joint dan beban dinamik.

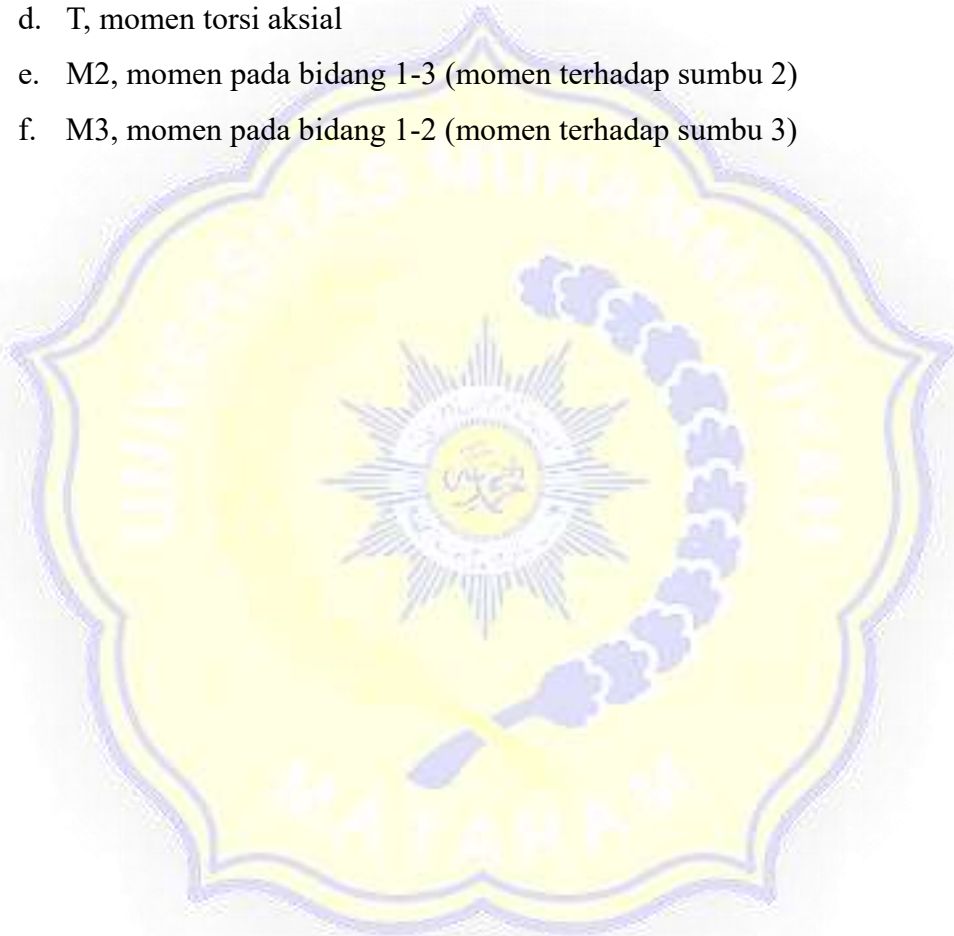


5. Output gaya-gaya dalam

Gaya-gaya dalam pada elemen frame merupakan gaya dan momen yang dihasilkan dari penjumlahan tegangan pada potongan penampang elemen.

Gaya dalam tersebut berupa:

- a.  $P$ , gaya aksial
- b.  $V_2$ , gaya geser pada bidang 1-2
- c.  $V_3$ , gaya geser pada bidang 1-3
- d.  $T$ , momen torsi aksial
- e.  $M_2$ , momen pada bidang 1-3 (momen terhadap sumbu 2)
- f.  $M_3$ , momen pada bidang 1-2 (momen terhadap sumbu 3)



## BAB III METODE PERANCANGAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

Gedung COVID-19 dan Trauma Center merupakan struktur gedung yang difungsikan sebagai tempat perawatan dan pelayanan medis untuk pasien Covid-19. Bangunan ini terdiri dari enam lantai. Struktur pada bangunan ini dirancang menggunakan konstruksi beton. Gedung COVID-19 dan Trauma Center berlokasi di Jl. Parabu Rangkasari, Dasan Cermen, Kec. Sandubaya, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat. 84371(-8.608335665880183, 116.13259769113492).



Gambar 3. 1 Lokasi gedung Covid-19 RSUD Provinsi NTB

(Sumber: Google Maps, 2023)



Gambar 3. 2 Tampak depan gedung Covid-19 RSUD Provinsi NTB

(Sumber: <https://rsud.ntbprov.go.id/category/kegiatan/page/46/>)

## 3.2 Pengumpulan Data

### 3.2.1 Data umum gedung

Data umum gedung yang menjadi bahasan masalah dalam skripsi ini dapat dilihat dibawah ini:

1. Nama gedung : Covid-19 dan Trauma Center RSUD Provinsi NTB
2. Fungsi : Pelayanan Medis
3. Jumlah lantai : 6 (enam) lantai
4. Struktur utama : Struktur beton bertulang

### 3.2.2 Data teknis

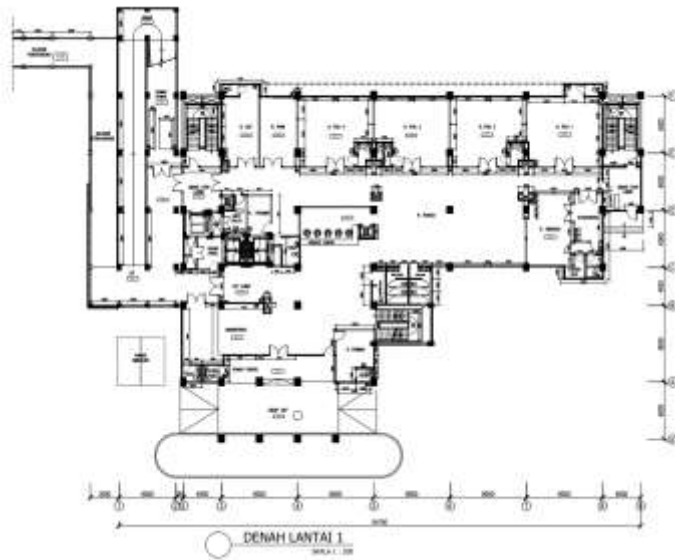
Adapun data teknis yang digunakan pada perancangan gedung Covid-19 dan Trauma Center RSUD Provinsi NTB yaitu menggunakan data pada perencanaan eksisting:

1. Mutu beton yang digunakan ( $f'c$ ): 25 MPa
2. Mutu baja tulangan polos ( $f_y$ ) : 240 MPa
3. Mutu baja tulangan ulir ( $f_y$ ) : 400 MPa
4. Letak bangunan berada di tanah sedang (SD)

### 3.2.3 Gambar kerja dan desain gedung

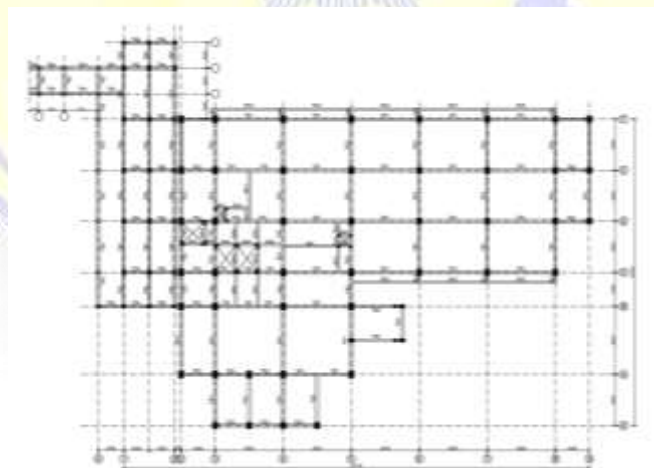
Adapun gambar kerja yang terlampir pada gedung Covid-19 dan Trauma Center yaitu:

1. Denah balok dan kolom gedung Covid-19 dan Trauma Center
2. Denah lantai 1 gedung Covid-19 dan Trauma Center



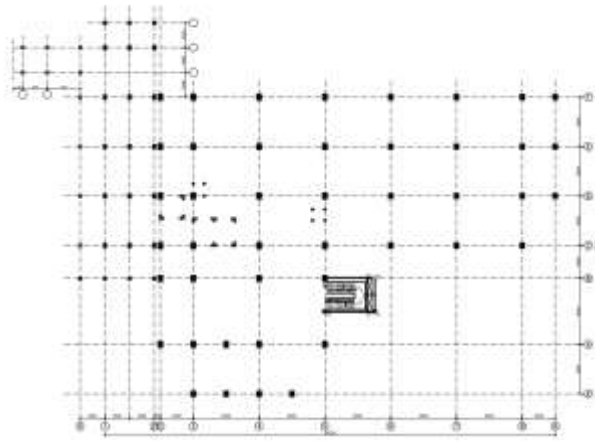
Gambar 3. 3 Denah lantai 1 gedung Covid-19

(Sumberr: PT. Damai Indah Utama)



Gambar 3. 4 Denah balok lantai 1 gedung Covid-19

(Sumberr: PT. Damai Indah Utama)



Gambar 3. 5 Denah kolom lantai 1 gedung Covid-19

(Sumber: PT. Damai Indah Utama)

### 3.2.4 Pembebanan

Perencanaan pembebanan pada gedung Covid-19 dan Trauma Center RSUD Provinsi NTB mengacu pada beberapa peraturan berikut:

1. SNI-1726-2019 (Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung),
2. SNI-2847-2019 (Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung)
3. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)

### 3.2.5 Pemodelan dan analisa struktur menggunakan ETABS V.18

Pemodelan struktur gedung Covid-19 dan Trauma Center RSUD Provinsi NTB menggunakan program ETABS V.18 yang dilakukan secara 3D dengan menggambar semua elemen struktur berikut:

1. Penggambaran elemen balok *waffle* dan *band beam*,
2. Penggambaran elemen kolom
3. Pemodelan pondasi

Proses analisa struktur yang dilakukan pada gedung Covid-19 dan Trauma Center RSUD Provinsi NTB menggunakan software ETABS.V18 dengan tahapan sebagai berikut:

1. Proses *input data*

Penginputan data untuk perancangan struktur menggunakan program ETABS V.18 terdiri dari beberapa tahapan yaitu, permodelan struktur,

pembuatan *Gris Lines* (geometrik struktur), pendefinisian material struktur, perencanaan dimensi elemen struktur, pembebanan struktur, dan analisis struktur.

## 2. Proses *output* data

Proses *output* adalah proses pembuatan tabulasi dari hasil analisis struktur yang dilakukan pada struktur bangunan. Dari hasil analisis struktur akan digunakan untuk merencanakan analisa dalam mendesain *waffle slab*/pelat wafel pada lantai bangunan yang aman sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Sebelum merencanakan elemen struktur, terlebih dulu harus memenuhi hasil dan analisis struktur yang akan ditabulasi. Jika belum memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan dalam SNI yang berlaku, maka akan dilakukan analisis ulang.

### 3.3 Perencanaan Struktur

#### 3.3.1 Perencanaan pelat *waffle*

Langkah-langkah perencanaan yang akan dilakukan pada pelat *waffle* yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan tebal pelat lantai
2. Menentukan dimensi pelat lantai
3. Menghitung pembebanan pada pelat lantai
4. Menghitung penulangan pelat lantai

#### 3.3.2 Perencanaan balok *waffle*

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam perencanaan balok *waffle* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan dimensi balok
2. Menghitung pembebanan pada balok
3. Menghitung statika balok menggunakan *software* ETABS V.18
4. Menghitung penulangan balok *waffle*

### **3.3.3 Perhitungan statika**

Perhitungan statika yang dilakukan untuk menganalisa struktur gedung Covid-19 dan Trauma Center meliputi:

1. Beban mati
2. Beban hidup
3. Beban gempa

### **3.3.4 Perencanaan balok**

Langkah-langkah yang dilakukan dalam perencanaan balok adalah sebagai berikut:

1. Menentukan dimensi balok
2. Menghitung pembebanan balok
3. Menghitung statika balok menggunakan *software* ETABS V.18
4. Menghitung penulangan balok

### **3.3.5 Perencanaan kolom**

Langkah-langkah dalam perencanaan kolom gedung Covid-19 dan Trauma Center adalah sebagai berikut:

1. Menentukan dimensi kolom
2. Menghitung pembebanan kolom
3. Menghitung statika kolom menggunakan *software* ETABS V.18
4. Menghitung penulangan kolom

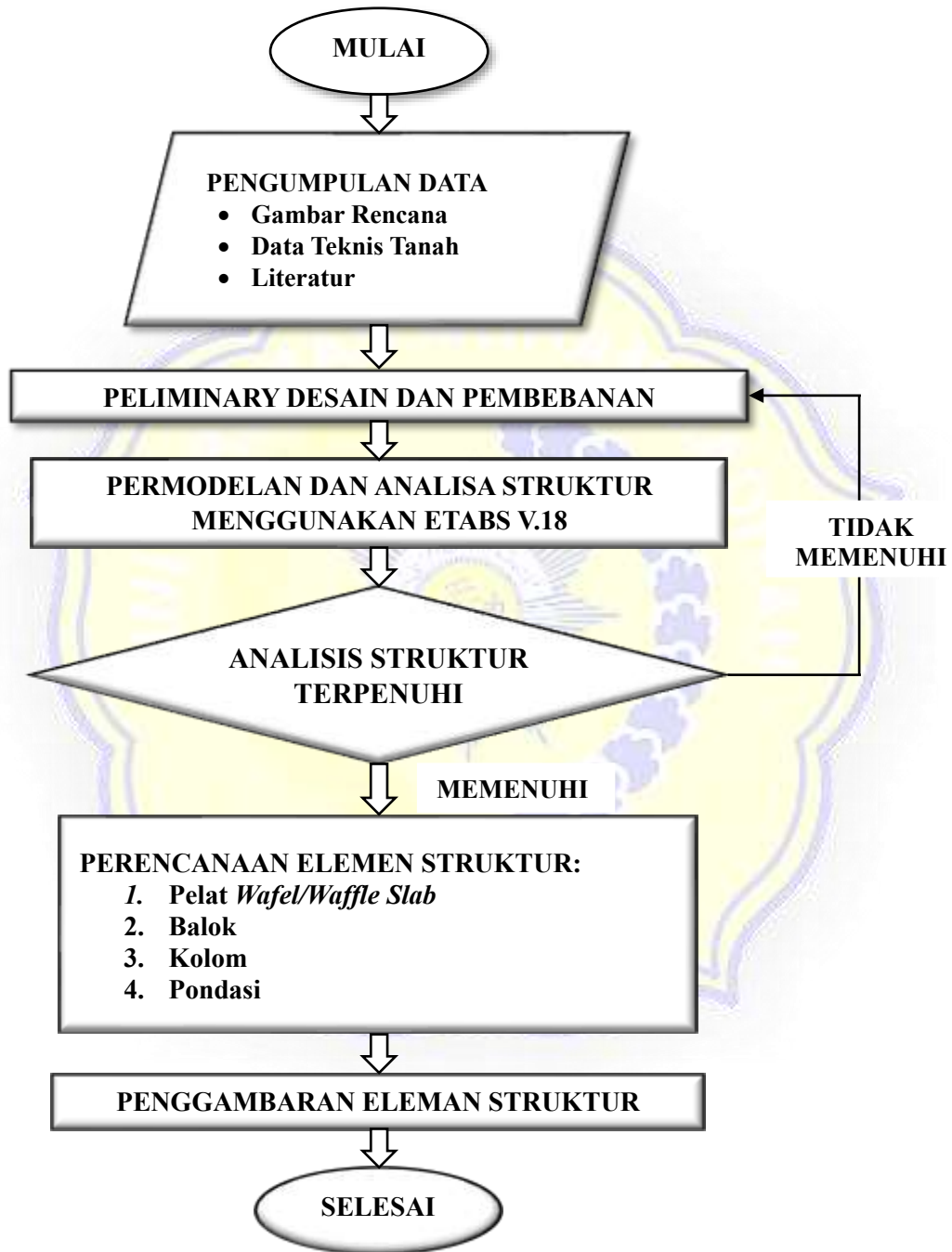
### **3.3.6 Perencanaan pondasi**

Langkah-langkah perencanaan pondasi yang direncanakan menggunakan pile cap adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa karakteristik tanah,
2. Menghitung pembebanan untuk menentukan daya dukung tanah,
3. Menentukan dimensi tiang borepile
4. Menghitung daya dukung individual tiang borepile
5. Menentukan jarak antar tiang dan jumlah tiang borepile
6. Menghitung daya dukung kelompok tiang borepile
7. Merencanakan tulangan kepala tiang/pilecap.

### 3.4 Bagan Alir Perencanaan Struktur

Untuk memudahkan dalam perencanaan, dan agar proses perencanaan lebih terstruktur maka disajikan bagan alir analisa perencanaan berikut:



Gambar 3. 6 Bagan alir perencanaan struktur