

**TUGAS AKHIR**

**Perencanaan Struktur Atas Gedung Kuliah Kampus Itks Rs.  
Soepraoen Malang Dengan Menggunakan (*Shear Wall*) Sebagai  
Penahan Lateral Gempa**



**ADAO DOS SANTOS CABRAL**

**NIM 19.21.075**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**2023**

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat dan rahmat-Nya maka Proposal Tugas Akhir yang berjudul “Perencanaan Struktur Atas Gedung Kuliah Kampus ITKS RS. Soepraoen Malang Dengan Menggunakan (Shear Wall) Sebagai Penahan Lateral Gempa” dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala dukungan baik langsung maupun tidak langsung yang telah diberikan selama penyusunan laporan Proposal Tugas Akhir ini pada :

1. Bapak **Awan Uji Krismanto,ST.,MT.,Ph.D** Selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak **Dr. Ir. Hery Setyobudiarso, MSc** Selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
3. Bapak **Dr. Yosimson Petrus Manaha, ST.,MT** Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil.
4. Bapak **Ir. Ester Priskasari, MT** Selaku Dosen Pembimbing I.
5. Bapak **Vega Aditama, ST.,MT** Selaku Dosen Pembimbing II.

Dengan rendah hati penulis mengakui bahwa laporan Proposal Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, baik dari segi materi maupun penyajian. Jadi kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Akhir kata, semoga laporan Proposal Tugas Akhir ini bermanfaat..

Malang, Mei 2023

Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>COVER .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Rumusan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Perencanaan .....	3
1.5 Manfaat Perencanaan .....	3
1.6 Batasan Masalah.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Studi Terdahulu .....	5
2.2 Bangunan Tahan Gempa .....	9
2.3 Daktilitas .....	10
2.4 Pembebanan .....	10
2.4.1 Pembebanan Gravitasi .....	10

2.4.2 Beban Gempa .....	11
2.5 Kombinasi Pembebanan .....	11
2.6 Penskalaan Gaya .....	12
2.7 Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SPRMK).....	12
2.8 Sistem Dinding Struktural .....	12
2.8.1 Dinding Geser Berdasarkan Geometri .....	14
2.9 Sistem Ganda ( <i>Dual System</i> ) .....	16
2.10. Perencanaan Dimensi dan Penulangan Struktur.....	16
2.10.1. Plat Lantai .....	17
2.10.1.1 Dimensi .....	17
2.10.1.2 Tulangan .....	18
2.10.2. Balok .....	20
2.10.2.1 Dimensi .....	20
2.10.2.2 Tulangan Longitudinal .....	22
2.10.2.3 Tulangan Transversal .....	24
2.10.2.4 Desain balok Terhadap Torsi .....	27
2.10.3. Kolom .....	27
2.10.3.1 Dimensi .....	27
2.10.3.2 Tulangan Longitudinal .....	28
2.10.3.3 Tulangan Transversal .....	33
2.10.4. Dinding Geser .....	37
2.10.4.1 Dimensi .....	37
2.10.4.2 Elemen Batas ( <i>Boundary Element</i> ) .....	28
2.10.4.3 Tulangan .....	39

2.10.5. Penulangan Hubungan Balok dan Kolom .....	41
2.10.6. Penentuan Simpangan Antar Tingkat .....	43
<b>BAB III METODE PERENCANAAN .....</b>	<b>45</b>
3.1 Data Lokasi Perencanaan .....	45
3.2 Data Teknis Perencanaan .....	45
3.3 Teknik Pengumpulan Data .....	46
3.4 Tahapan Perencanaan .....	46
3.4.1 Studi Literatur .....	46
3.4.2 Pengumpulan Data Perencanaan .....	46
3.4.3 Analisa Pembebanan .....	46
3.4.4 Perencanaan Awal Dimensi Plat Lantai, Balok, Kolom dan Dinding Geser .....	46
3.4.5 Analisa Struktur (Pemodelan Struktur) .....	47
3.4.6 Pemeriksaan Hasil <i>Output</i> .....	47
3.5 Bagan Alir ( <i>Flowchart</i> ) .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>51</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Studi Terdahulu .....	5
Tabel 2.2 Ketebalan Minimum pelat Dua Arah Nonprategang Dengan Balok di antara Tumpuan pada Semua Sisinya .....	17
Tabel 2.3 As Min Untuk Pelat Dua Arah Nonprategang .....	18
Tabel 2.4 Standar Tinggi Minimum Balok .....	20
Tabel 2.5 Batasan Dimensi Lebar Sayap Efektif Untuk Balok T .....	21
Tabel 2.6 Nilai $\beta_1$ Untuk Distribusi Tegangan Beton Persegi Ekuivalen .....	22
Tabel 2.7 Koordinat (Mn,Pn) Diagram Interaksi .....	32
Tabel 2.8 Tulangan Transversal Untuk Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus .....	36
Tabel 2.9 Kekuatan Geser Nominal Joint Vn .....	42

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Dinding Pemikul.....	13
Gambar 2.2 Dinding Portal .....	13
Gambar 2.3 Dinding Inti .....	13
Gambar 2.4 Tipe Pemasangan Dinding Geser di Lapangan .....	14
Gambar 2.5 Dinding Geser Dengan Bukaannya .....	15
Gambar 2.6 Dinding Geser Berangkai .....	15
Gambar 2.7 Dinding Geser kantilever.....	16
Gambar 2.8 Penentuan Rasio Elemen Plat.....	17
Gambar 2.9 Bagian Dari Plat Yang Diikuti Dengan Balok .....	18
Gambar 2.10 Diagram Regangan-Tegangan Plat Lantai .....	19
Gambar 2.11 Balok T Lebar Sayap Efektif .....	21
Gambar 2.12 Balok L Lebar Sayap Efektif .....	22
Gambar 2.13 Analisa Regangan dan Tegangan Balok.....	24
Gambar 2.14 Skema Gaya Geser Desain Balok .....	25
Gambar 2.15 Desain Tulangan Balok .....	26
Gambar 2.16 Desain Potongan A-A Tulangan Balok .....	27
Gambar 2.17 Analisa Regangan dan Tegangan Kolom Dalam Kondisi Seimbang .....	31
Gambar 2.19 Panjang $I_a$ pada Kolom .....	34
Gambar 2.20 Tulangan Transversal pada Kolom .....	34
Gambar 2.21 Gaya Geser Desain Kolom .....	35
Gambar 2.22 Dimensi Elemen Batas pada Struktur Dinding Geser .....	38
Gambar 2.23 Rangkuman Persyaratan Elemen Batas pada Dinding Geser .....	39
Gambar 2.24 Luas Joint Efektif .....	43

Gambar 2.25 Penentuan Simpangan Antar Tingkat .....	44
Gambar 3.1 Lokasi Gedung Lokas Proyek Gedung Perkuliahan Kampus 3 ITSK .....	45
Gambar 3.2 Bagan Alir Perencanaan .....	51
Gambar 3.3 Perletakan Dinding Geser pada Denah Gedung .....	52



## DAFTAR NOTASI

- $A_{cp}$  = luas penampang beton
- $A_v$  = luas tulangan geser dalam rentang jarak  $s$  ( $A_v$  harus diambil dua kali luas batang tulangan pada sengkang ikat bundar, ikat persegi atau spiral dengan spasi  $s$ )
- $b$  = lebar balok
- $B_e$  = lebar efektif sayap
- $b_w$  = lebar badan balok
- $b_{BE}$  = lebar elemen batas
- $c$  = garis netral penampang dinding geser
- $C$  = Koefisien momen
- $C_d$  = faktor pembesaran defleksi
- $d$  = tinggi efektif balok / jarak masing-masing tulangan terhadap serat penampang atas
- $E_s$  = modulus elastisitas non prategang = 200000 Mpa
- $f_c'$  = mutu beton
- $F_{yt}$  = kekuatan leleh tulangan transversal
- $f_s'$  = tegangan tulangan tekan (Mpa)
- $f_s$  = tegangan tulangan tarik (Mpa)
- $f_{yt}$  = kekuatan leleh tulangan transversal
- $h$  = lebar dinding
- $h_f$  = tebal plat
- $h_w$  = tinggi dinding geser

$h_{\text{lantai}}$  = tinggi antar lantai  
 $I_e$  = faktor keutamaan gempa  
 $l_w$  = panjang dinding geser  
 $l_n$  = panjang bentang balok  
 $L_x$  = bentang plat arah x 19  
 $M_u$  = momen pada plat  
 $P_{cp}$  = keliling penampang beton  
 $Ph$  = keliling garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar  
 $q_u$  = beban terbagi rata yang bekerja pada plat  
 $S_w$  = jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan  
 $s$  = spasi tulangan geser dalam arah paralel dengan tulangan  
 $V_u$  = gaya geser yang terfaktor pada penampang yang ditinjau  
 $V_c$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada penampang yang ditinjau  
 $\epsilon_s'$  = regangan tekan  
 $\epsilon_s$  = regangan tarik  
 $\epsilon$  = regangan maksimum pada serat beton terluar  
 $\lambda$  = 1 (faktor beton normal)  
 $\Delta x$  = simpangan pada lantai ke-x  
 $\Delta a$  = simpangan antar lantai tingkat ijin  
 $\delta u$  = perpindahan desain dinding geser  
 $l_{BE}$  = panjang elemen batas  
 $\delta x_e$  = simpangan ditingkat-x, dengan analisis elastik

$\delta_{exa}$  = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan pada tingkat atas.

$\Delta_{exb}$  = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan pada tingkat bawah.

$\sum M_{nc}$  = jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint

$\sum M_{nb}$  = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Malang merupakan kota pelajar yang ada di Indonesia, hal ini karena banyaknya perguruan tinggi yang ada di kota Malang. Semakin bertambahnya kampus di Malang menyebabkan lahan pembangunan semakin berkurang, untuk meminimalisir hal tersebut maka gedung bertingkat tinggi merupakan salah satu alternatif yang dapat dipilih.

Gedung bertingkat tinggi yang direncanakan ini berlokasi pada kawasan rawan gempa, sehingga dalam perencanaan bangunan perlu direncanakan beban-beban yang bekerja mampu menahan keamanan lebih dari bangunan itu sendiri. Semakin tinggi gedung yang direncanakan, maka berat yang bekerja untuk bangunan tersebut semakin berat dan juga semakin besar beban gempa yang diterima oleh bangunan tersebut. Oleh sebab itu, diperlukan perencanaan khusus dan juga perhitungan yang mendetail untuk mendesain bangunan tahan gempa yang sepenuhnya aman.

Sistem elemen struktur berupa elemen gempa dinding betong bertulang yang sangat efektif digunakan sebagai penahan gaya lateral untuk menambah kekakuan struktur karena kekakuan struktur sangat tinggi. Sesuai dengan perkembangan teknologi, para ahli mendesain bangunan tinggi tahan terhadap gempa dengan berbagai metode, misalnya dengan menggunakan dinding geser (shear wall), bracing. Pada Tugas Akhir ini analisa yang dilakukan untuk melihat perilaku struktur bangunan tingkat tinggi yang menggunakan dinding geser (shear wall).

Dengan latar belakang inilah penulis memilih suatu bentuk perencanaan konstruksi gedung yang dituangkan ke dalam suatu Tugas Akhir dengan judul "**Perencanaan Struktur Atas Gedung Kuliah Kampus Itks Rs. Soepraoen Malang Dengan Menggunakan (*Shear Wall*) Sebagai Penahan Lateral Gempa**". Mengacu pada SNI

2847:2019, maka penulis menganalisis suatu gedung berlantai 6 + 1 lantai Atap dengan konstruksi shear wall beton bertulang.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan Identifikasi masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Kota Malang terletak di wilayah Jawa Timur yang rawan gempa, sehingga struktur bangunan yang ada di daerah tersebut harus didesain struktur bangunan tahan gempa.
2. Gedung Kuliah kampus ITKS RS. Soepraoen Malang termasuk gedung bertingkat tinggi dan terletak di wilayah rawan gempa sehingga sistem ganda rangka pemikul momen dan dinding geser dipilih untuk memaksimalkan kinerja struktur terhadap pengaruh gempa. Sistem ganda rangka pemikul momen khusus dan dinding structural dipilih untuk memaksimalkan kinerja struktur terhadap pengaruh gempa yang biasa dijadikan alternatif gedung lainnya. Dengan Menggunakan Dinding Geser Sistem Ganda di harapkan dapat memperhasil dimensi penampang Balok dan Kolom.

## 1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa penampang dimensi balok, kolom, dan *Shear wall*?
2. Berapa jumlah tulangan yang diperlukan pada struktur, balok, kolom, serta *Shear wall*?
3. Bagaimanakah dengan gambar Balok-Balok, Kolom-Kolom dan *Shear Wall-Shear Wall*?
4. Berapakah simpangan struktur ?

## 1.4 Tujuan Perencanaan

Tujuan perencanaan ini adalah untuk melakukan perencanaan Gedung Kampus ITKS Malang Zona A dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul

Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Geser. Adapun tujuan dilakukannya perencanaan tersebut, yaitu :

1. Menganalisa dimensi penampang balok, kolom, dan dinding geser
2. Menganalisa jumlah tulangan yang diperlukan pada struktur, balok, kolom, serta shear wall
3. Menganalisa gambar hasil akhir penulangan, balok, kolom, dan shear wall
4. Untuk menganalisa gambar detail penulangan pada struktur balok, kolom, hubungan balok kolom dan dinding geser dari hasil perencanaan

### **1.5 Manfaat**

Adapun manfaat perencanaan yang didapat, antara lain:

1. Bagi Penelitian

Bagi peneliti yaitu sebagai berikut :

- Dapat lebih memahami perencanaan struktur tahan gempa menggunakan *Shear Wall*.
- Dapat memiliki keterampilan dalam bidang perencanaan struktur beton menggunakan system *Shear Wall*.

2. Bagi Umum dan Instansi

Menjadi referensi bagi pembaca yang ingin mengetahui dan mendalami ilmu dibidang struktur bangunan tahan gempa menggunakan system *Shear Wall*.

### **1.6 Batasan Masalah**

Adapun Batasan Masalah antara lain sebagai berikut :

1. Lokasi studi Kampus 3 ITKS Malang, Jl. S. Supriadi No 22 Malang.
2. Tidak dilakukan perhitungan struktur bawah.
3. Analisa struktur menggunakan program bantu ETABS 2019.
4. Plat lantai tidak di hitung
5. Material Mutu Beton 30 Mpa
6. Peraturan yang digunakan pada perencanaan ini adalah :
  - SNI 2847-2019 mengenai persyaratan beton structural untuk bangunan Gedung,

- SNI 1726-2019 mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan Gedung dan non Gedung,
- SNI 1727- 2020 mengenai beban minimum untuk perancangan Gedung dan struktur lain
- SNI 2052-2017 mengenai baja tulangan beton.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Studi Terdahulu

Studi terdahulu dapat menjadi acuan dalam mengerjakan studi perencanaan ini sebagai pedoman dalam pengerjaan proposal tugas akhir ini. Berikut merupakan beberapa studi terdahulu:

1. Jeremy Irawan tahun 2020 melakukan alternatif dengan judul “Alternatif Perencanaan Struktur Atas Gedung Apartemen Begawan Malang Menggunakan SRPM Dan Dinding Geser”. Gedung apartemen ini memiliki 9 lantai termasuk lantai atap memiliki total tinggi 33,9 m dengan luas bangunan 629,825 m<sup>2</sup>. Hasil dari penelitian ini didapatkan simpangan arah X dan Y berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.12.1 untuk jenis struktur yang masuk kedalam tipe semua struktur lainnya dan berada pada kategori risiko I dan II, batas simpangan antar lantai ijin adalah 0,020 h<sub>sx</sub>, dimana h<sub>sx</sub> merupakan tinggi antar tingkat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur adalah memenuhi/aman.
2. Oky Deniar Firmana Yuansyah tahun 2020 melakukan alternatif dengan judul “Studi Alternatif Gedung Attic Showroom Surabaya Menggunakan Shear Wall” Gedung Showroom ini berlantai 13, tinggi bangunan 55 m didesain menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Struktural, beban gempa didesain menggunakan respon spectrum mengacu pada SNI 1726-2019. Pemodelan dan analisa struktur menggunakan program bantu ETABS 2016. Hasil dari penelitian desain balok, kolom, dan dinding struktural mempunyai ketahanan terhadap gempa dengan terpenuhinya kondisi *Strong Column Weak Beam*. Beban geser dasar nominal akibat pengaruh gempa rencana yang dipikul oleh dinding geser menahan 74,6% dan rangka menahan 25,4%, sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7.2.5.8 beban geser nominal sudah memenuhi.



3. (Pratama, Putri, and Santoso 2021) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Kinerja Bangunan Gedung Tinggi Dengan Penambahan Dinding Geser (Studi Kasus: Bangunan 8 Lantai)” Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja struktur bangunan gedung bertingkat 8 lantai yang awalnya berupa sistem struktur rangka pemikul momen khusus terhadap struktur yang direesain menjadi sistem ganda. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, penempatan dinding geser berbentuk L secara simetris pada 2 (dua) sumbu pada setiap sudut bangunan mampu memberikan kinerja struktur yang optimal. Peletakan dinding geser berbentuk L secara asimetris pada salah satu sisi gedung (SW1) dan dinding geser berbentuk I pada sepanjang sisi gedung (SW3) perlu dilakukan evaluasi Kembali karena 8 tidak memenuhi syarat perpindahan dan kekakuan berlebih yang ditimbulkan sehingga bangunan riskan mengalami kegagalan getas. Pemasangan dinding geser berbentuk L secara simetris pada 2 (dua) sumbu pada setiap sudut bangunan dapat mengurangi simpangan puncak hingga 46,09%. dibawah ini adalah salah satu contoh perletakan shear wall yang digunakan sebagai perbandingan.

Tabel 2.1 Hasil Studi Terdahulu

NO	Peneliti Tahun Dan Judul	Metode Peneliti	Hasil peneliti	Persamaan	Perbedaan
1	Jeremy Irawan, 2020 “Alternatif Perencanaan Struktur Atas Gedung Apartemen Begawan Malang Menggunakan SRPM Dan Dinding Geser	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perencanaan struktur menggunakan SRPM dan dinding geser</li> <li>• Perencanaan struktur mengacu pada SNI 2847:2019 (persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung), SNI 1726:2019 (tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung), SNI 1727:2013 (beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan non gedung), SNI 2052:2017 (Baja tulangan beton)</li> <li>• Analisa Struktur Menggunakan Program Bantu Etabs</li> </ul>	Simpangan terbesar yang terjadi adalah 81,318 mm untuk arah x dan 86,896 mm untuk arah y, kategori resiko wilayah gempa I dan II	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisis struktur menggunakan program bantu Etabs</li> </ul> <p>Menggunakan 2847:2019 (persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung), SNI 1726:2019 (tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fungsi gedung</li> <li>• Tinggi, jumlah lantai dan luasan gedung</li> <li>• Lokasi gedung</li> <li>• Menggunakan SNI 1727:2013 (beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan non gedung), SNI 2052:2017 (Baja tulangan beton)</li> </ul>

2	<p>Oky Deniar Firma Yuansyah, 2020, “Studi Alternatif Gedung Attic Showroom Surabaya Menggunakan Shear Wall’</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perencanaan struktur menggunakan dinding geser.</li> <li>• SNI 1726:2019 tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung</li> <li>• SNI 1727:2013 beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain</li> <li>• SNI 2847:2019 persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (untuk dinding struktural)</li> </ul>	<p>Simpangan terbesar yang terjadi adalah 34,422 mm untuk arah x dan 142,896 mm untuk arah y, kategori resiko wilayah gempa I dan II</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisis struktur menggunakan program bantu Etabs</li> </ul> <p>Menggunakan 2847:2019 (persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung), SNI 1726:2019 (tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fungsi gedung</li> <li>• Tinggi, jumlah lantai dan luasan gedung</li> <li>• Lokasi gedung</li> </ul> <p>Menggunakan SNI 1727:2013 (beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan non gedung), SNI 2052:2017 (Baja tulangan beton)</p>
---	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3	(Pratama, Putri, and Santoso 2021) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Kinerja Bangunan Gedung Tinggi Dengan Penambahan Dinding Geser (Studi Kasus: Bangunan 8 Lantai)”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menggunakan Struktur beton bertulang dan dinding geser</li> <li>• SNI 2847:2013 persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung</li> <li>• SNI 1726:2019 tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung</li> <li>• SNI 1727:2013 beban minimum untuk perancangan</li> </ul>	Simpangan terbesar yang terjadi adalah 97.45 mm untuk arah x dan 96.13 mm untuk arah y, kategori resiko wilayah gempa I dan II	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisis struktur menggunakan program bantu Etabs</li> </ul> <p>Menggunakan 2847:2019 (persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung), SNI 1726:2019 (tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fungsi gedung</li> <li>• Tinggi, jumlah lantai dan luasan gedung</li> <li>• Lokasi gedung</li> </ul> <p>Menggunakan SNI 1727:2013 (beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan non gedung), SNI 2052:2017 (Baja tulangan beton)</p>
---	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## **2.2 Bangunan Tahan Gempa**

Bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang mempunyai sifat daktilitas untuk merespon gempa yang mampu bertahan dari keruntuhan dan mempunyai fleksibilitas dalam meredam getaran gempa. Struktur bangunan harus direncanakan sesimetris mungkin dikarenakan sudah terbukti lebih kokoh dan bisa bertahan dari gaya gempa dibandingkan struktur bangunan yang tidak simetris. Perencanaan struktur harus mempunyai daya tahan terhadap gempa dengan tingkat keamanan dan kenyamanan yang tinggi dan juga struktur harus dirancang dapat memikul gaya gempa.

Konsep dasar bangunan tahan gempa yaitu:

- a. Bangunan pada gempa kecil tidak boleh mengalami kerusakan elemen struktural maupun non-struktural
- b. Bangunan pada gempa menengah tidak boleh mengalami kerusakan elemen struktural namun elemen non-struktural diijinkan mengalami kerusakan
- c. Bangunan pada gempa besar boleh mengalami kerusakan elemen struktural dan non-struktural akan tetapi bangunan tidak boleh mengalami keruntuhan

## **2.3 Daktilitas**

Daktilitas dapat diartikan kemampuan suatu elemen struktur untuk berdeformasi baik rotasi maupun translasi pada saat menyerap energi dari luar sistem tanpa mengalami kegagalan/patah. Daktilitas dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Daktilitas material

Daktilitas material adalah kemampuan bahan atau material beton, baja, kayu untuk mengembangkan regangannya saat pertama kali leleh sampai akhirnya patah. Daktilitas dapat diartikan juga seberapa plastis material tersebut. Semakin panjang kemampuan meregangnya mampu melewati batas elastisitasnya (plastis), maka semakin daktil material tersebut.

- b. Daktilitas struktur

Daktilitas struktur yaitu kemampuan struktur gedung untuk mengalami simpangan atau guncangan pasca-elastik yang besar secara berulang-ulang akibat beban gempa munculnya pelelehan pertama sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tetap berdiri walaupun berada dalam kondisi diambang keruntuhan.

## **2.4 Pembebanan**

### **2.4.1 Pembebanan Gravitasi**

Berdasarkan SNI 1727-2020 beban gravitasi adalah beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Beban gravitasi dalam perencanaan bangunan yaitu beban mati (*Dead Load*), beban hidup (*Live Load*)

### **2.4.2 Beban Gempa**

Pada perencanaan bangunan ini beban gempa menggunakan analisa respon spektrum (*Response Spectrum Analysis*) pada SNI 1726-2019

## **2.5 Kombinasi Pembebanan**

Kombinasi pembebanan pada SNI 2847-2019 pasal 5.3.1:84, kombinasi pembebanan terfaktor yaitu:

1. 1,4DL
2. 1,2DL + 1,6LL + 0,5 (Lr atau R)
3. 1,2DL + 1,6(Lr atau R) + (1,0LL atau 0,5W)
4. 1,2DL + 1,0W + 1,0LL + 0,5(Lr atau R)
5. 1,2DL + 1,0E + 1,0L
6. 0,9DL + 1,0W
7. 0,9DL + 1,0E

Pembebanan kombinasi dasar untuk desain kekuatan dengan faktor kuat lebih untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 8.3.2.3:102 yaitu:

8.  $(1,2 + 0,2 Sds) DL + E_{mh} + 1,0LL$
9.  $(0,9 - 0,2 Sds) DL + E_{mh}$

Keterangan:

DL : beban mati, termasuk SIDL

LL : beban hidup

- Lr : beban hidup atap  
R : beban hujan  
W : beban angin  
EX : beban gempa arah x  
EY : beban gempa arah y  
E<sub>mh</sub> : pengaruh gaya seismik horizontal  
S<sub>ds</sub> : parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek

## 2.6 Penskalaan Gaya

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1:77 apabila periode fundamental hasil analisis lebih besar dari  $C_u T_a$  pada arah tertentu, maka periode struktur  $T$  harus diambil sebesar  $C_u T_a$ . Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisa ragam ( $V_t$ ) kurang dari 100% dari gaya geser ( $V$ ) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan  $V/V_t$ . Dimana  $V$  adalah gaya geser dasar statik ekuivalen yang dihitung sesuai pasal 7.9.1.4.1 dan 7.8, dan  $V_t$  adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam

## 2.7 Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem rangka pemikul momen khusus merupakan struktur sistem rangka yang mampu memikul gaya akibat besaran gaya yang direncanakan untuk memikul lentur, tingkat daktilitasnya tinggi dan dipakai untuk struktur dengan kategori desain seismik D, E, F. Pendetailan struktur menurut SNI 2847:2019 dalam ketentuan SRPMK adalah untuk memastikan bahwa respon inelastis dari struktur bersifat daktil.

## 2.8 Sistem Dinding Struktural (SDS)

Sistem dinding struktural merupakan elemen struktur berbentuk dinding beton bertulang, dinding geser memiliki 2 fungsi utama yaitu:

1. Kekakuan
  - Kekakuan yang dimiliki dinding geser untuk mencegah goyangan yang berlebihan pada atap dan plat lantai akibat beban gempa

- Kekakuan yang memenuhi pada bangunan akan mengurangi tingkat kerusakan menyeluruh pada konstruksi bangunan

## 2. Kekuatan

- Dinding geser mampu menahan gaya geser, gaya lateral akibat beban gempa atau angin
- Sifat kuat yang dimiliki dinding geser akan menyalurkan gaya horizontal pada elemen struktur di bawahnya hingga sampai ke pondasi

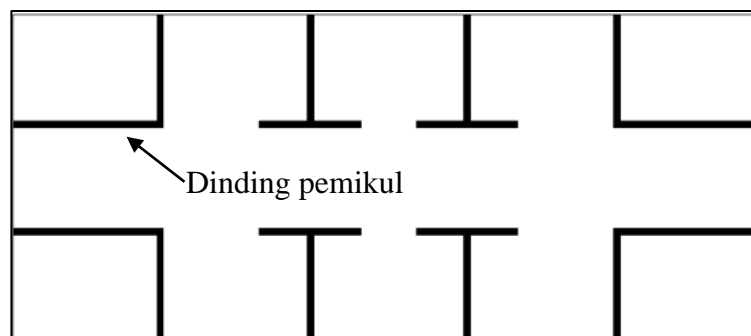
Penempatan dinding geser pada bangunan dapat dipertimbangkan sebagai berikut:

1. Penempatan dinding geser pada arah gempa dominan yang bekerja (sumbu lemah bangunan).
2. Faktor estetika dan fungsional ruang pada bangunan.
3. Aspek simetris kekakuan struktur dan stabilitas torsi struktur.

Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser diklasifikasikan dalam tiga jenis yaitu:

### 1. Dinding Pemikul (*Bearing wall*)

Dinding pemikul merupakan struktur dinding sebagai penopang atau pemikul beban bangunan. Tembok – tembok menggunakan dinding partisi antar ruang yang berdekatan.

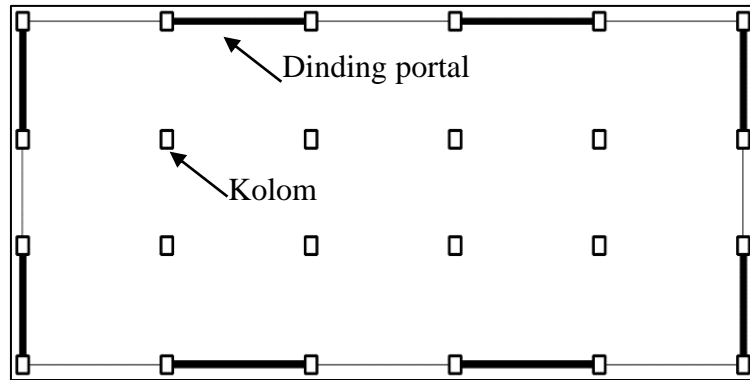


Gambar 2.1 Dinding Pemikul

### 2. Dinding Portal (*Frame wall*)

Dinding portal merupakan dinding geser yang memiliki fungsi sebagai penahan gaya lateral geser dan pengaku pada sisi luar bangunan. Dinding jenis ini diletakkan di sisi luar bangunan.

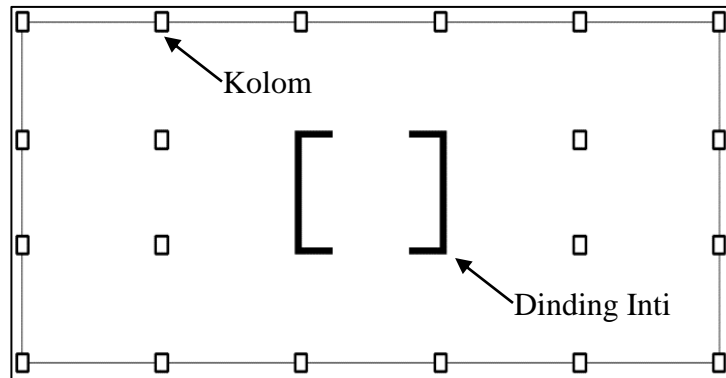




Gambar 2.2 Dinding Portal

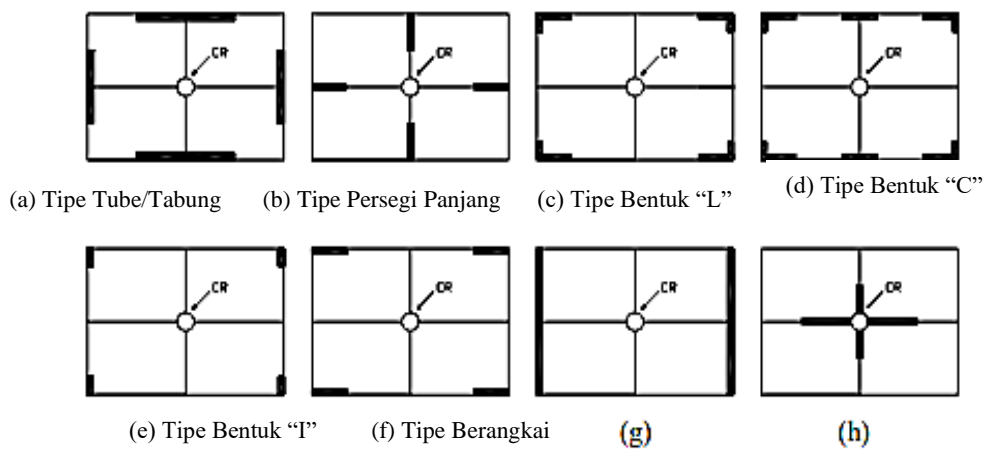
### 3. Dinding Inti (Core wall)

Dinding inti adalah jenis dinding geser yang berada di pusat massa bangunan yang fungsinya sebagai pengaku bangunan gedung. Dinding jenis ini diletakan di dinding lift.



Gambar 2.3 Dinding Inti

Untuk tipe pemasangan dinding geser yang digunakan di lapangan dapat dilihat pada gambar 2.4.



*Desain Seismik Beton Bertulang & Masonry*

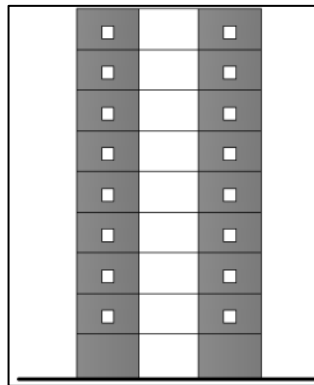
*Buldings, T Paulay and M.J.N Priestley halaman 365 dan 368*

Gambar 2.4 Tipe pemasangan dinding geser di lapangan

### 2.8.1 Dinding Geser Berdasarkan Geometri

#### 1. Dinding geser dengan bukaan (*Opening Shearwall*)

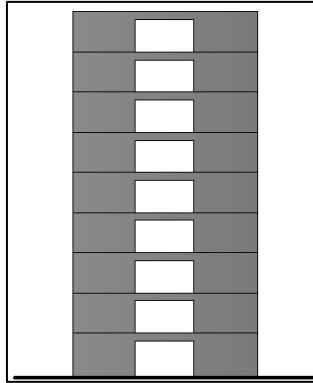
Pada banyak keadaan dinding geser tidak mungkin digunakan tanpa beberapa bukaan di dalamnya untuk jendela, pintu dan saluran-saluran mekanikal dan elektrik. Menempatkan bukaan-bukaan tersebut pada tempat tidak banyak mempengaruhi kekakuan atau tegangan pada dinding. Jika bukaan-bukaan tersebut kecil, pengaruh keseluruhannya sangat kecil tetapi tidak demikian halnya jika bukaan-bukaan tersebut berukuran besar.



Gambar 2.5 Dinding Geser Dengan Bukaan

#### 2. Dinding geser berangkai (*Coupled Shearwall*)

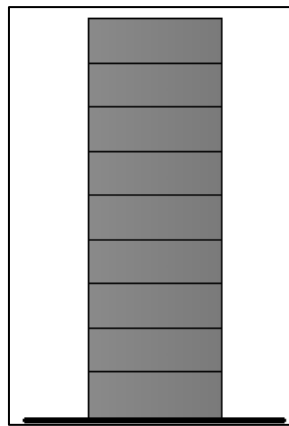
Dinding geser berangkai terdiri dari dua atau lebih dinding kantilever yang mempunyai kemampuan untuk membentuk suatu mekanisme perletakan lentur alasnya. Antara dinding geser kantilever tersebut saling dirangkai oleh balok-balok perangkai yang mempunyai kekuatan cukup sehingga mampu memindahkan gaya dari satu dinding ke dinding yang lain.



Gambar 2.6 Dinding Geser Berangkai

### 3. Dinding geser kantilever (*Free Standing Shearwall*)

Dinding geser kantilever merupakan dinding geser tanpa lubang-lubang yang membawa pengaruh penting terhadap perilaku dari struktur gedung yang bersangkutan.



Gambar 2.7 Dinding Geser Kantilever

## 2.9 Sistem Ganda (*Dual System*)

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.2.5.1:53, sistem ganda merupakan struktur dengan rangka pemikul beban gravitasi secara lengkap, beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh sistem rangka pemikul momen dan dinding geser. Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu memikul beban lateral yang diakibatkan oleh gempa sekurang-kurangnya 25% dari gempa desain. Faktor reduksi gempa ( $R$ ) = 7.

Adapun kelebihan dari sistem ganda:

- Mekanisme penyerapan gaya gempa sangat efektif yang merupakan hasil dari interaksi rangka yang daktail dan struktur dinding geser

- Kontrol terhadap story drift struktur gedung sangat baik, karena adanya kekuatan lateral yang sangat besar dari struktur dinding geser, sehingga lebih kaku pada saat menerima beban gempa (Lesmana, Yudha, 2020)

## 2.10 Perencanaan Dimensi dan Penulangan Struktur

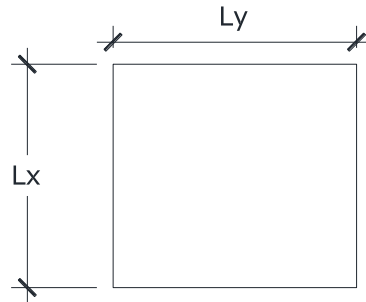
Perencanaan dimensi dari masing-masing elemen struktur berdasarkan ketentuan yang ada pada SNI 2847:2019 yaitu persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.

Perencanaan penulangan struktur mengikuti peraturan SNI 2847:2019 yang terdiri dari penulangan elemen plat, elemen balok, elemen kolom, hubungan balok kolom, elemen dinding struktural.

### 2.10.1 Plat Lantai

#### 2.10.1.1 Dimensi

Perencanaan awal dimensi plat dan jenis plat yang akan direncanakan yaitu plat dua arah. Plat dua arah, rasio bentang yang lebih panjang terhadap bentang yang lebih pendek kurang dari 2 yaitu  $L_y/L_x < 2$ .



Gambar 2.8 Penentuan Rasio Elemen Plat

Menurut SNI 2847:2019 pasal 8.3 batasan desain untuk ketebalan minimum plat pada pasal 8.3.1.1 dan 8.3.1.2 tidak tergantung pada pembebanan dan modulus elastisitas beton, keduanya memiliki pengaruh signifikan pada lendutan. Ketentuan ketebalan minimum pelat dua arah yang harus dipenuhi yaitu pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya

$\alpha_{fm}^{[1]}$	h minimum, mm
---------------------	---------------

$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.3.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b) <sup>[2],[3]</sup>
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$	(d) <sup>[2],[3]</sup>
		90	(e)

(Sumber: SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.2:135)

Dimana:

$l_n$  = panjang bersih dalam arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lain, mm

$\beta$  = rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap arah pendek dari pelat 2 arah

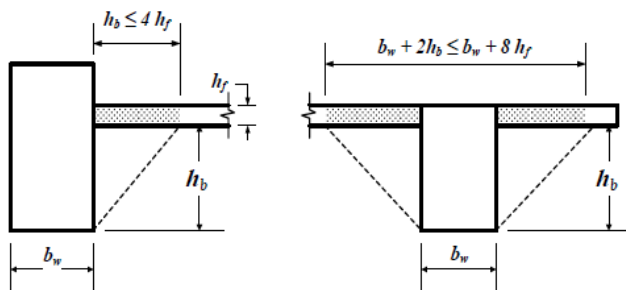
$\alpha_{fm}$  = nilai rata-rata  $\alpha_f$  untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu plat

$\alpha_f$  = rasio kekuatan lentur penampang balok ( $E_{cb}I_b$ ) terhadap kekakuan lentur plat ( $E_{cs}I_s$ ), yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dari plat-plat yang bersebelahan

$$\alpha_f = \frac{E_{cb}I_b}{E_{cs}I_s}$$

$I_b$  = momen inersia brutto dari penampang balok terhadap sumbu berat, penampang balok mencakup pula bagian plat pada setiap sisi balok sebesar proyeksi balok yang berada di atas atau di bawah plat, namun tidak lebih dari empat kali tebal plat

$I_s$  = momen inersia brutto dari penampang plat



Gambar 2.9 bagian dari plat yang diikutkan dengan balok  
(Sumber: SNI 2847:2019 pasal 8.4.1.8:138)

### 2.10.1.2 Tulangan

Pada pasal 8.6 batasan tulangan, luas minimum tulangan lentur  $A_s$  min harus disediakan didekat muka tarik pada arah bentang yang ditinjau.

Tabel 2.3  $A_s$  min untuk pelat dua arah non prategang

Jenis tulangan	$f_y$ , Mpa	$A_{s \text{ min}}$ , mm <sup>2</sup>	
Batang ulir	< 420	0,0020 $A_g$	
Batang ulir atau kawat las	$\geq 420$	Terbesar dari:	$\frac{0,0018 \times 42}{f_y} A_g$
			0,0014 $A_g$

(Sumber: SNI 2847:2019 pasal 8.6.1.1:145)

1. Menghitung momen

$$M_u = \pm 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times C \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana :  $M_u$  = momen pada plat

$q_u$  = beban terbagi rata yang bekerja pada plat

$L_x$  = bentang plat arah x

$C$  = Koefisien momen

2. Jarak ketinggian antar tulangan (d)

$$d = h - s_b - \frac{1}{2} d. \text{ tulangan} \dots\dots\dots(2-2)$$

$$d' = h - d \dots\dots\dots(2-3)$$

3. Luas permukaan tulangan ulir ( $A_s$ )

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{\text{jarak antar tulangan}} \dots\dots\dots(2-4)$$

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d \dots\dots\dots(2-5)$$

$$A_s = \frac{1}{4} \pi \times D^2 \dots\dots\dots(2-6)$$

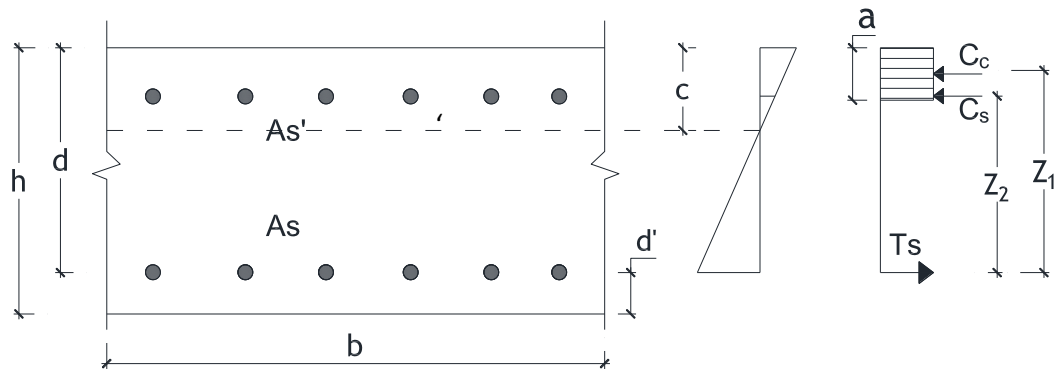
$$S = \frac{A_s \times b}{A_{s_{perlu}}} \dots\dots\dots(2-7)$$

Kontrol spasi tulangan (SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2) diambil terkecil dari  $3h$  dan  $450$  mm.

Kontrol

$$A_{s_{ada}} \frac{A_s \times b}{s} \dots\dots\dots(2-8)$$

$$A_{s_{ada}} \geq A_{s_{perlu}}$$



Gambar 2.10 Diagram Regangan-Tegangan Plat Lantai

4. Mencari nilai  $a$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \dots\dots\dots(2-9)$$

5. Tegangan tekan pada serat beton ( $C_c$ )

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times a \times b \dots\dots\dots(2-10)$$

6. Tegangan tekan pada serat baja ( $C_s$ )

$$C_s = A_s' \times (f_s' - (f'_c \times 0,85)) \dots\dots\dots(2-11)$$

7. Tegangan tarik pada serat baja ( $T_s$ )

$$T_s = A_s \times f_y \dots\dots\dots(2-12)$$

8. Momen nominal ( $M_n$ )

$$Z_1 = d - 1/2 \times a \dots\dots\dots(2-13)$$

$$Z_2 = d - d' \dots\dots\dots(2-14)$$

$$M_n = C_c \times Z_1 + C_s \times Z_2 \dots\dots\dots(2-15)$$

9. Kekuatan momen rencana ( $M_r$ )

$$M_r = \phi M_n \dots\dots\dots(2-16)$$

Dengan nilai  $\phi = 0,8$

10. Kontrol penulangan

$$\phi M_n > M_u$$

## 2.10.2 Balok

### 1.10.2.1 Dimensi

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.3.1:180 tinggi balok minimum dinyatakan pada tabel 2.4:

Tabel 2.4 Standar Tinggi Minimum Balok

Kondisi Tumpuan	$h$ minimum
Tumpuan sederhana	$\ell / 16$
Menerus satu sisi	$\ell / 18,5$
Menerus dua sisi	$\ell / 21$
Kantilever	$\ell / 8$
Catatan : Angka ini berlaku untuk beton berat normal dan $F_y = 420$ Mpa.	

Keterangan  $\ell$  = Panjang bentang

(Sumber SNI 2847:2019 pasal 9.3.1:180)

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1 bahwa balok:

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

Untuk Balok-T nonprategang yang dibuat menyatu (monolit) atau pelat komposit, lebar efektif sayap  $b_e$  harus mencakup lebar badan balok  $b_w$  ditambah lebar efektif sayap yang menjorok sesuai SNI 2847:2019, dimana  $h_f$  adalah ketebalan pelat dan  $S_w$  adalah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan.

Tabel 2.5 batasan dimensi lebar sayap efektif untuk balok-T

Lokasi sayap	Lebar sayap efektif, di luar penampang balok	
Kedua sisi balok	Sekurangnya	$8h_f$
		$S_w/2$
		$l_n/8$
Satu sisi balok	Sekurangnya	$6h_f$
		$S_w/2$
		$l_n/12$

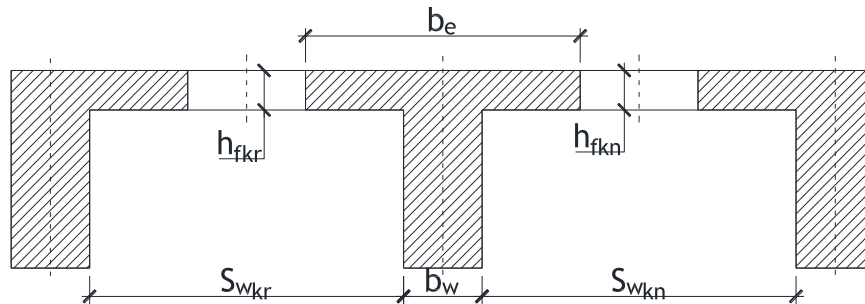
(Sumber: SNI 2847:2019 pasal 6.3.2.1)

Balok-T nonprategang terpisah, dimana sayap T-nya diperlukan untuk menambah luas daerah tekan, harus mempunyai ketebalan sayap tidak kurang atau sama dengan  $0,5b_w$  dan lebar efektif sayap tidak lebih atau sama dengan  $4b_w$  sesuai SNI 2847:2019 pasal 6.3.2.2:97.



Dimana syarat desain  $b_e$  pada balok-T diambil dari nilai terkecil tiga persamaan di bawah ini, ditinjau pada dua sisi:

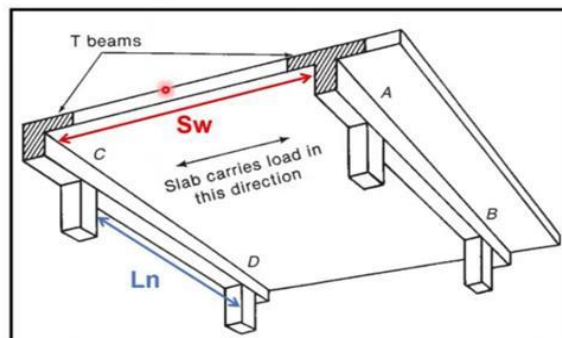
$$b_e \leq \begin{cases} b_w + 8h_{fkr} + 8h_{fkn} \\ b_w + \frac{1}{2}S_{wkr} + \frac{1}{2}S_{wkn} \dots\dots\dots(2-17) \\ b_w + \frac{1}{4} l_n \end{cases}$$



Gambar 2.11 Balok-T lebar sayap efektif  
(Sumber: Perancangan Struktur Beton Bertulang, Agus Setiawan, 2017)

Dan syarat desain  $b_e$  pada balok-L diambil dari nilai terkecil tiga persamaan di berikut ini ditinjau pada satu sisi:

$$b_e \leq \begin{cases} b_w + 6h_f \\ b_w + \frac{S_w}{2} \dots\dots\dots(2-18) \\ b_w + \frac{l_n}{12} \end{cases}$$



Gambar 2.12 Balok-L lebar sayap efektif  
(Sumber: Perancangan Struktur Beton Bertulang, Agus Setiawan, 2017)

- Dimana:
- $b_e$  = lebar efektif sayap
  - $b_w$  = lebar badan balok
  - $h_f$  = tebal plat
  - $l_n$  = panjang bentang balok
  - $S_w$  = jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan

### 2.10.2.1 Tulangan Longitudinal

Perencanaan penulangan elemen balok menggunakan metode analisa tegangan-regangan, desain balok-T.

Distribusi balok tegangan tekan, nilai  $\beta_1$  dinyatakan pada tabel berikut:

Tabel 2.6 Nilai  $\beta_1$  untuk distribusi tegangan beton persegi ekuivalen

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

(Sumber: SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.3 halaman 478)

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1 balok-balok harus memiliki setidaknya dua batang tulangan menerus pada sisi atas dan bawah penampang. Rasio tulangan  $\rho$  tidak melebihi 0,025, baik untuk tulangan atas maupun bawah. Untuk balok statis tertentu dengan sayap dalam keadaan tarik, nilai  $b_w$  lebih kecil dari  $b_e$  dan  $2b_w$ . Jumlah tulangan tidak kurang dari a) dan b) (SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2):

$$a) \text{ As min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \dots\dots\dots(2-19)$$

$$b) \text{ As min} = \frac{1,4}{f_y} b_w d \dots\dots\dots(2-20)$$

Untuk syarat tulangan maksimum yaitu:

$$\text{As maks} = 0,75 \times \left( \frac{600}{600+f_y} \right) \times b_w \times d \dots\dots\dots(2-21)$$

Berikut langkah-langkah perencanaan balok-T dengan tulangan rangkap:

- a. Menentukan jumlah tulangan tarik dan tekan yang digunakan.
- b. Menghitung nilai tinggi efektif ( $d'$ ):

$$d' = sb + d. \text{senggang} + \frac{1}{2} d. \text{tulangan utama} \dots\dots\dots(2-22)$$

- c. Menghitung nilai ( $d$ ):

$$d = \text{tinggi balok} (h) - (d') \dots\dots\dots(2-23)$$

- d. Perhitungan kapasitas desain

Jika asumsi garis netral ( $c$ )  $>$   $d'$  maka perhitungan garis netral:

$$C_c + C_s = T_s \dots\dots\dots(2-24)$$

$$(0,85 \times f_c' \times a \times b) + (A_s' \times f_s') = (A_s \times f_y) \dots\dots\dots(2-25)$$

- e. Mensubstitusi nilai  $f_s'$

$$\frac{f_{s'}}{\varepsilon c} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) \times E_s \dots\dots\dots(2-26)$$

$$f_{s'} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) \times \varepsilon c \times E_s \dots\dots\dots(2-27)$$

$$f_{s'} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) \times 0,003 \times 200000$$

$$f_{s'} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) \times 600$$

$$(0,85 \times f_{c'} \times a \times b) + A_{s'} \times \left(\frac{c-d'}{c}\right) \times 600 = (A_s \times f_y)$$

$$(0,85 \times f_{c'} \times a \times b)c + (600 \times A_{s'} \times c) - (600 \times A_{s'} \times d') = (A_s \times f_y \times c) \dots\dots\dots(2-28)$$

f. Mensubstitusi nilai  $a = \beta_1 \times c$

$$(0,85 \times f_{c'} \times \beta_1 \times c \times b)c + (600 \times A_{s'} \times c) - (600 \times A_{s'} \times d') = (A_s \times f_y \times c) \dots\dots\dots(2-29)$$

$$(0,85 \times f_{c'} \times \beta_1 \times b)c^2 + (600 \times A_{s'} \times c) - (600 \times A_{s'} \times d') = (A_s \times f_y \times c) \dots\dots\dots(2-30)$$

$$(0,85 \times f_{c'} \times \beta_1 \times b)c^2 + (600 \times A_{s'} \times c) - (600 \times A_{s'} \times d') - (A_s \times f_y \times c) = 0 \dots\dots\dots(2-31)$$

g. Dengan rumus ABC, nilai c dapat dihitung:

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \times a \times c}}{2a} \dots\dots\dots(2-32)$$

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d', maka dilanjutkan

h. Menghitung nilai a

$$a = \beta_1 \times c \dots\dots\dots(2-33)$$

i. Perhitungan regangan tulangan

$$\varepsilon_{s'} = \frac{c-d'}{c} \times \varepsilon c \dots\dots\dots(2-34)$$

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \times \varepsilon c \dots\dots\dots(2-35)$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots(2-36)$$

j. Perhitungan tegangan tulangan

$$f_{s'} = \varepsilon_{s'} \times E_s \dots\dots\dots(2-37)$$

$$f_s = \varepsilon_s \times E_s \dots\dots\dots(2-38)$$

k. Menghitung gaya tekan dan tarik

$$C_c = 0,85 \times f_{c'} \times a \times b \dots\dots\dots(2-39)$$

$$C_s = A_s' \times f_s' \dots\dots\dots(2-40)$$

$$T_s = A_s \times f_y \dots\dots\dots(2-41)$$

l. Menghitung jarak dari  $C_c$ ,  $C_s$  ke  $T_s$

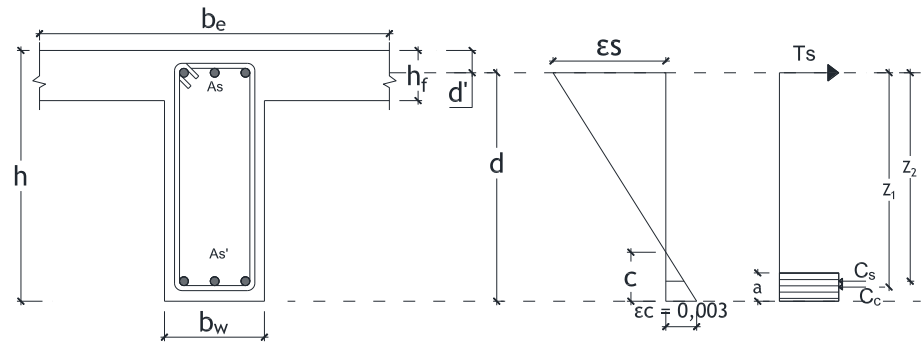
$$Z_1 = d - \frac{1}{2} \times a \dots\dots\dots(2-42)$$

$$Z_2 = d - d' \dots\dots\dots(2-43)$$

m. Menghitung nilai momen nominal ( $M_n$ )

$$M_n = T_s \times Z_1 + C_s \times Z_2 \dots\dots\dots(2-44)$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n \dots\dots\dots(2-45)$$



Gambar 2.13 Analisa Regangan dan Tegangan Balok

### 2.10.2.2 Tulangan Transversal

Tulangan transversal berfungsi mempertahankan pendukung lateral dan sebagai kekangan batang untuk batang tulangan di daerah kelelahan akan terjadi.

Menghitung gaya geser desain berdasarkan momen ujung balok atau probable moment capacities ( $M_{pr}$ ). Momen ujung dihitung berdasarkan nilai tegangan tarik baja  $1,25f_y$  dan faktor reduksi kekuatan lentur  $\phi = 1$

a. Menghitung momen probabilitas ( $M_{pr}$ ):

$$a_{pr} = \frac{A_s \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \dots\dots\dots(2-46)$$

$$M_{pr} = M_n \text{ dari } 1,25f_y$$

b. Gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi:

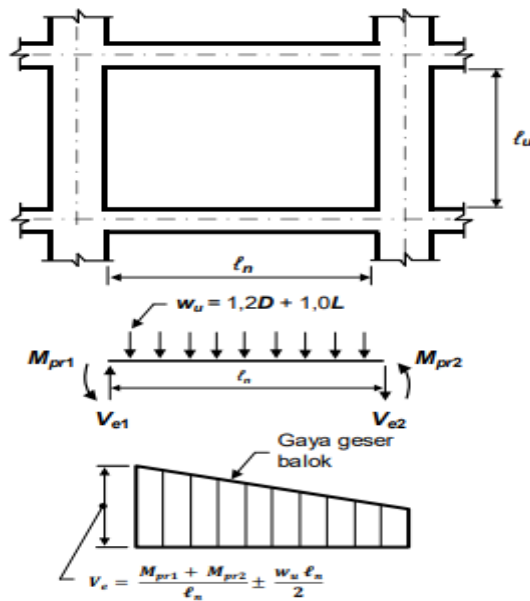
$$V_g = \frac{W_u \times l_n}{2} \dots\dots\dots(2-47)$$

Gaya geser akibat goyangan:

$$V_{sway} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \dots\dots\dots(2-48)$$

Gaya geser desain akibat goyangan:

$$V_e = V_{sway} + V_g \dots\dots\dots(2-49)$$



Gambar 2.14 Skema Gaya Geser Desain Balok  
(sumber SNI 2847:2019 halaman 384)

- c. Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2 tulangan transversal sepanjang daerah sengkang pengekang harus didesain untuk menahan gaya geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$  bilamana kedua a) dan b) terpenuhi:
- Gaya geser akibat gempa yang dihitung mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
  - Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g \frac{f'_c}{20}$
- d. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4 jarak tulangan transversal pada daerah sendi plastis tidak kurang dari nilai terkecil antara:
- $s \leq \frac{d}{4}$  .....(2-50)
  - $s \leq 6 db$  .....(2-51)
  - $s \leq 150 \text{ mm}$  .....(2-52)
- e. Jarak tulangan transversal pada daerah di luar sendi plastis tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang bentang balok.
- f. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.5 desain penampang yang terkena gaya geser yaitu:
- $$\phi V_n \geq V_u \text{ .....(2-53)}$$
- $$V_n = V_c + V_s \text{ .....(2-54)}$$

g. Menurut SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.1 untuk  $V_u > \phi V_c$ , nilai  $V_s$ :

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \dots\dots\dots(2-55)$$

Dimana:

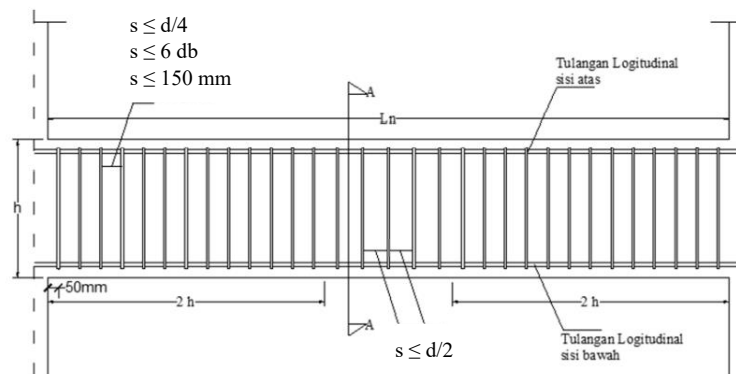
$V_u$  = gaya geser yang terfaktor pada penampang yang ditinjau

$V_c$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada penampang yang ditinjau.

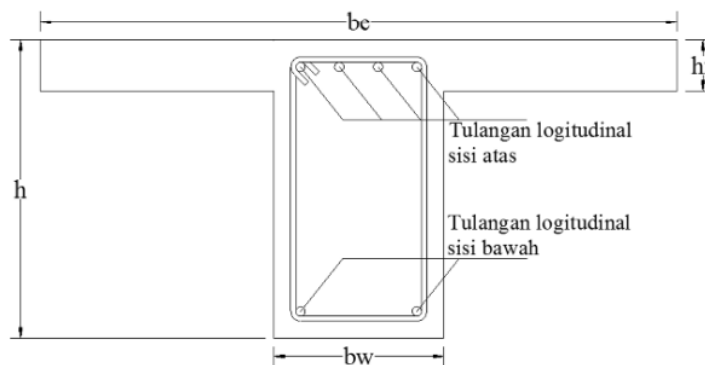
$s$  = spasi tulangan geser dalam arah paralel dengan tulangan

$b$  = lebar balok

$d$  = tinggi efektif balok



Gambar 2.15 Desain tulangan balok



Gambar 2.16 Desain Potongan A-A tulangan balok

### 2.10.2.3 Desain balok terhadap torsi

Kontrol balok apakah butuh tulangan torsi menurut SNI 2847:2019 pasal 22.7.4.1 bahwa ambang batas torsi  $T_{th}$  untuk komponen struktur non prategang penampang solid dihitung dengan:

$$T_{th} = 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \dots\dots\dots(2-56)$$

Menurut SNI 2847:2019 pasal 22.7.1.1 jika  $T_u < \phi T_{th}$  maka diperbolehkan untuk mengabaikan pengaruh torsi. Jika  $T_u \geq \phi T_{th}$  maka dihitung dengan pasal 22.7.4.1 dimana  $\phi$  (faktor reduksi kekuatan untuk torsi) = 0,75.

$$T_{th} = \phi 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \dots\dots\dots(2-57)$$

Luas tulangan torsi minimum sesuai SNI 2847:2019 pasal 9.6.4.3 dihitung  $A_{tmin}$  harus lebih kecil dari a) dan b):

$$A_{tmin} = 0,42 \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} \left( \frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \dots\dots\dots(2-58)$$

$$A_{tmin} = 0,42 \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left( \frac{0,175 b_w}{f_{yt}} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \dots\dots\dots(2-59)$$

Keterangan:

- $\lambda = 1$  (faktor beton normal)
- $f'_c$  = mutu beton
- $A_{cp}$  = luas penampang beton
- $P_{cp}$  = keliling penampang beton
- $F_{yt}$  = kekuatan leleh tulangan transversal
- $P_h$  = keliling garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar

**2.10.3 Kolom**

**2.10.3.1 Dimensi**

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1:385 bahwa dimensi penampang terkecil diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm dan rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.

**2.10.3.2 Tulangan Longitudinal**

Metode untuk keperluan praktis desain kolom yaitu penggambaran diagram interaksi.

1. Menentukan nilai  $\beta_1$  yang ada pada tabel 2.6
2. Menghitung nilai tinggi efektif ( $d'$ ):

$$d' = sb + d. \text{ sengkang} + \frac{1}{2} d. \text{ tulangan utama} \dots\dots\dots(2-60)$$

3. Menghitung nilai ( $d$ ):

$$d = \text{tinggi kolom (h)} - (d') \dots\dots\dots(2-61)$$

4. Perhitungan jarak antar tulangan

$$x = \frac{\text{jarak antar tulangan tepi}}{n \text{ tulangan yang ditinjau} - 1} \dots\dots\dots(2-62)$$

$$x = \frac{h - 2 \times d'}{n \text{ tulangan yang ditinjau} - 1} \dots\dots\dots(2-63)$$

5. Luas penampang kolom ( $A_g$ )

$$A_g = b \times h \dots\dots\dots(2-64)$$

6. Luas tulangan yang diperlukan ( $A_{st}$ )

$$A_{st} = n \text{ tulangan} \times \frac{1}{4} \pi D^2 \dots\dots\dots(2-65)$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.4:386 luas tulangan logitudinal  $A_{st}$  tidak boleh kurang dari  $0,01A_g$  dan tidak lebih dari  $0,06 A_g$

7. Rasio tulangan memanjang ( $\rho_g$ )

$$\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g} \dots\dots\dots(2-66)$$

8. Perhitungan luas tulangan ( $A_s$ ) tiap baris:

$$A_s 1 = \text{jumlah tulangan} \times \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_s 2 = \text{jumlah tulangan} \times \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_s 3 = \text{jumlah tulangan} \times \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_s 4 = \text{jumlah tulangan} \times \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_s 5 = \text{jumlah tulangan} \times \frac{1}{4} \pi D^2$$

a) Kondisi Sentris:

$$P_o = 0,85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st} \times f_y \dots\dots\dots(2-67)$$

$$P_n = 0,8 \times P_o \dots\dots\dots(2-68)$$

$$\phi P_n = \phi \times P_n \dots\dots\dots(2-69)$$

Dimana:  $\phi = 0,65$  untuk sengkang persegi

b) Untuk penampang kondisi tekan,  $P_n$ , melebihi  $P_b$ , atau eksentrisitas,  $e$ , lebih kecil dari pada eksentrisitas pada kondisi patah desak,  $e_b$ . Prosedur analisisnya yaitu:

- Untuk nilai  $c$  (garis netral) diasumsikan untuk penampang pada kondisi patah desak nilai  $c > c_b$ .

$$a = c \times \beta_1 \dots\dots\dots(2-70)$$

- regangan pada beton =  $0,003$  dan regangan pada tulangan tarik:

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots(2-71)$$

- Periksa apakah tulangan tekan sudah luluh:



$$\varepsilon_s' = \frac{cb-d'}{c} \dots\dots\dots(2-72)$$

- Jadi,  $\varepsilon_s' > \varepsilon_y$  (tulangan tekan sudah luluh)
- Nilai  $f_s'$  diambil sama dengan  $f_y$  apabila tulangan tekan sudah luluh:  
 $f_s' = \varepsilon_s' \times E_s \dots\dots\dots(2-73)$

- Gaya dalam yang bekerja pada penampang kolom:  
 $C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b \dots\dots\dots(2-74)$

$$C_s = A_s \times f_s' \dots\dots\dots(2-75)$$

$$T_s = A_s \times f_s' \dots\dots\dots(2-76)$$

- Menghitung jarak gaya terhadap  $h/2$ :  
 $Z_{Cc} = h/2 - a/2 \dots\dots\dots(2-77)$   
 $Z_{Cs} = h/2 - d' \dots\dots\dots(2-78)$   
 $Z_{Ts} = h/2 - d \dots\dots\dots(2-79)$

- Menghitung  $P_n$  pada kondisi patah desak:  
 $P_n = 0,85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times f_s' - A_s \times f_s' \dots\dots\dots(2-80)$

$$\phi P_n = \phi \times P_n \dots\dots\dots(2-81)$$

- Menghitung nilai momen nominal:  
 $M_n = (C_c \times Z_{Cc}) + (C_s \times Z_{Cs}) + (T_s \times Z_{Ts}) \dots\dots\dots(2-82)$

$$\phi M_n = \phi \times M_n \dots\dots\dots(2-83)$$

- Nilai eksentrisitas pada kondisi tekan:  
 $e = \frac{M_n}{P_n} \dots\dots\dots(2-84)$

c) Kondisi seimbang (cb)

$$cb = \frac{600 \times d}{600 + f_y} \dots\dots\dots(2-85)$$

$$a = cb \times \beta_1 \dots\dots\dots(2-86)$$

- Menghitung regangan tulangan  
 $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots(2-87)$

$$\varepsilon_s'1 = \frac{c-d'}{c} \times \varepsilon_c \dots\dots\dots(2-88)$$

$$\varepsilon_s'2 = \frac{c-d'+x}{c} \times \varepsilon_c \dots\dots\dots(2-89)$$

$$\varepsilon_s'3 = \frac{c-d'+2x}{c} \times \varepsilon_c \dots\dots\dots(2-90)$$

$$\varepsilon_s'4 = \frac{c-d'+3x}{c} \times \varepsilon_c \dots\dots\dots(2-91)$$

$$\varepsilon_s'5 = \frac{c-d'+4x}{c} \times \varepsilon_c \dots\dots\dots(2-92)$$

- Menghitung tegangan tulangan

$$f_s'1 = f_y \dots\dots\dots(2-93)$$

$$f_s'2 = \varepsilon_s'2 \times E_s \dots\dots\dots(2-94)$$

$$f_s'3 = \varepsilon_s'3 \times E_s \dots\dots\dots(2-95)$$

$$f_s'4 = \varepsilon_s'4 \times E_s \dots\dots\dots(2-96)$$

$$f_s'5 = \varepsilon_s'5 \times E_s \dots\dots\dots(2-97)$$

- Menghitung gaya tekan dan tarik

$$N_{Cc} = 0,85 \times f_c' \times a \times b \dots\dots\dots(2-98)$$

$$N_{Cs1} = A_s1 \times f_s'1 \dots\dots\dots(2-99)$$

$$N_{Cs2} = A_s2 \times f_s'2 \dots\dots\dots(2-100)$$

$$N_{Cs3} = A_s3 \times f_s'3 \dots\dots\dots(2-101)$$

$$N_{Ts1} = A_s4 \times f_s'4 \dots\dots\dots(2-102)$$

$$N_{Ts2} = A_s5 \times f_s'5 \dots\dots\dots(2-103)$$

- Menghitung jarak gaya terhadap h/2

$$Z_{Cc} = h/2 - a/2 \dots\dots\dots(2-104)$$

$$Z_{Cs1} = h/2 - d' \dots\dots\dots(2-105)$$

$$Z_{Cs2} = h/2 - d' + x \dots\dots\dots(2-106)$$

$$Z_{Cs3} = h/2 - d' + 2x \dots\dots\dots(2-107)$$

$$Z_{Ts1} = h/2 - d' + 3x \dots\dots\dots(2-108)$$

$$Z_{Ts2} = h/2 - d' + 4x \dots\dots\dots(2-109)$$

- Menghitung Pnb pada kondisi seimbang:

$$P_{nb} = N_{Cc} + N_{Cs1} + N_{Cs2} + N_{Cs3} - N_{Ts1} - N_{Ts2} \dots\dots\dots(2-110)$$

$$\phi P_{nb} = 0,65 \times P_{nb} \dots\dots\dots(2-111)$$

- Menghitung momen nominal (Mnb) pada kondisi seimbang

$$M_{Cc} = N_{Cc} \times Z_{Cc} \dots\dots\dots(2-112)$$

$$M_{Cs1} = N_{Cs1} \times Z_{Cs1} \dots\dots\dots(2-113)$$

$$M_{Cs2} = N_{Cs2} \times Z_{Cs2} \dots\dots\dots(2-114)$$

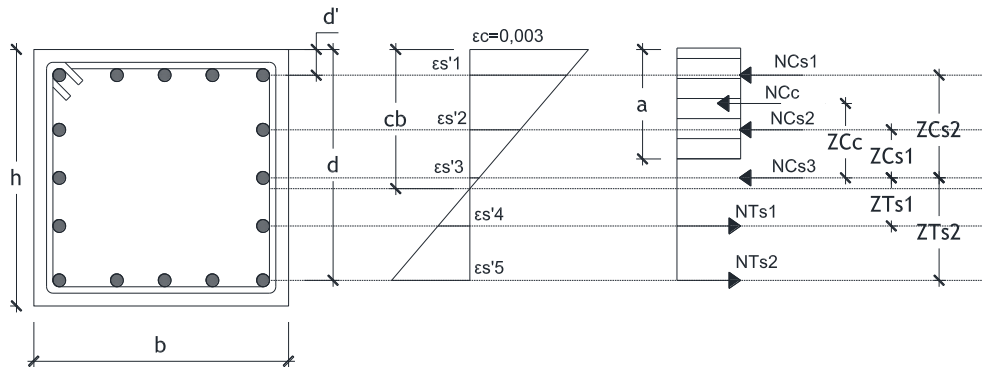
$$M_{Cs3} = N_{Cs3} \times Z_{Cs3} \dots\dots\dots(2-115)$$

$$M_{Ts1} = N_{Ts1} \times Z_{Ts1} \dots\dots\dots(2-116)$$

$$M_{Ts2} = N_{Ts2} \times Z_{Ts2} \dots\dots\dots(2-117)$$

$$- M_{nb} \text{ total} = M_{Cc} + M_{Cs1} + M_{Cs2} + M_{Cs3} + M_{Ts1} + M_{Ts2} \dots\dots(2-118)$$

- $\phi M_{nb} = 0,65 \times M_{nb} \text{ total} \dots\dots\dots(2-119)$
- $e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} \dots\dots\dots(2-120)$



Gambar 2.17 Analisa regangan dan tegangan kolom dalam kondisi seimbang

d) Untuk penampang kondisi tarik kuat tekan nominal penampang,  $P_n$ , akan lebih kecil dari  $P_b$  atau eksentrisitas,  $e = M_n/P_n$  lebih besar dari eksentrisitas pada kondisi seimbang,  $e_b$ . Prosedur analisisnya yaitu:

- Untuk nilai  $c$  (garis netral) diasumsikan untuk penampang pada kondisi patah tarik nilai  $c < c_b$ .

$$a = \beta_1 c \dots\dots\dots(2-121)$$

- Untuk penampang pada kondisi patah tarik, regangan pada beton = 0,003 dan regangan pada tulangan tarik:

$$\epsilon_y = \frac{fy}{Es} \dots\dots\dots(2-122)$$

$$\epsilon_s' = \frac{c-d'}{c} \dots\dots\dots(2-123)$$

- Jadi,  $\epsilon_s' > \epsilon_y$  (tulangan sudah luluh)
- Nilai  $f_s'$  diambil sama dengan  $f_y$  apabila tulangan sudah luluh.

$$f_s' = \epsilon_s' \times E_s \dots\dots\dots(2-124)$$

- Gaya dalam yang bekerja pada penampang kolom:

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b \dots\dots\dots(2-125)$$

$$C_s = A_s' \times f_s' \dots\dots\dots(2-126)$$

$$T_s = A_s \times f_s' \dots\dots\dots(2-127)$$

- Menghitung jarak gaya terhadap  $h/2$ :

$$Z_{Cc} = h/2 - a/2 \dots\dots\dots(2-128)$$

$$Z_{Cs} = h/2 - d' \dots\dots\dots(2-129)$$

$$Z_{Ts} = h/2 - d \dots\dots\dots(2-130)$$

- Menghitung  $P_n$  pada kondisi patah tarik:

$$P_n = 0,85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times f_s' - A_s \times f_s' \dots\dots\dots(2-131)$$

$$\phi P_n = \phi \times P_n \dots\dots\dots(2-132)$$

- Menghitung momen nominal:

$$M_n = (C_c \times ZC_c) + (C_s \times ZC_s) + (T_s \times ZT_s) \dots\dots\dots(2-133)$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n \dots\dots\dots(2-134)$$

- Nilai eksentrisitas pada kondisi tarik:

$$e = \frac{M_n}{P_n} \dots\dots\dots(2-135)$$

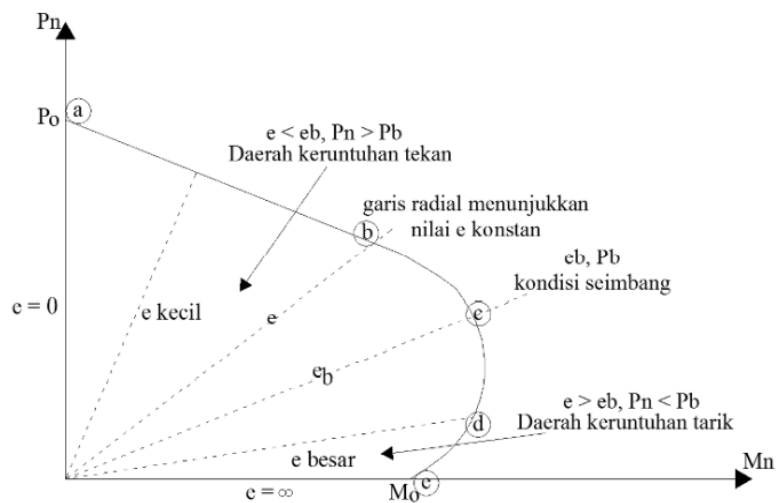
e) Untuk  $e = \infty$  atau kasus lentur murni ( $P_n = 0$ ), lakukan analisis untuk menentukan  $M_n$  seperti halnya penampang balok dengan mengabaikan tulang tekan, maka:

$$a = \frac{A_s \times f_s'}{0,85 \times f_c' \times b} \dots\dots\dots(2-136)$$

$$A_s \times f_s' \left( d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots(2-137)$$

Tabel 2.7 koordinat ( $M_n, P_n$ ) diagram interaksi

Kondisi	Titik	$M_n$ (kNm)	$P_n$ (kN)	$e$ (mm)
Aksial sentris	a	0	$P_n$	0
Tekan	b	$M_n$	$P_n$	$e < c_b$
Seimbang	c	$M_n b$	$P_n b$	$c_b$
Tarik	d	$M_n$	$P_n$	$e > c_b$
Lentur murni	e	$M_n$	0	$\infty$

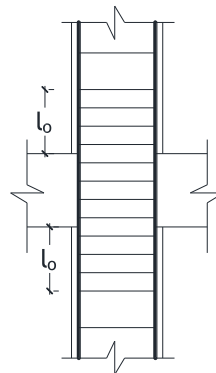


Gambar 2.18 Diagram Interaksi kolom

### 2.10.3.3 Tulangan Transversal

Pada daerah sendi plastis kolom harus disediakan tulangan transversal yang mencukupi. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.1:386 tulangan transversal yang disyaratkan harus:

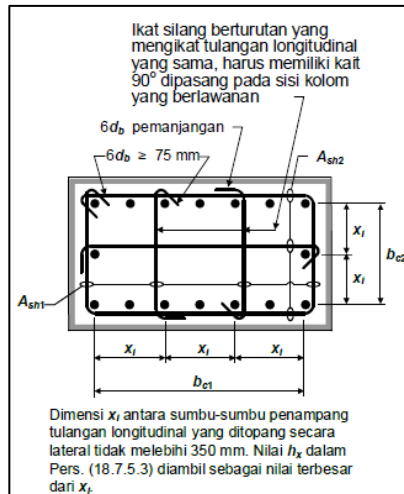
1. Dipasang sepanjang  $l_o$  dari masing-masing muka joint dan pada kedua sisi seberang penampang dimana pelelehan lentur mungkin terjadi sebagai akibat perpindahan lateral yang melampaui perilaku elastik. Panjang  $l_o$  pada daerah sendi plastis kolom diambil tidak kurang dari:
  - a) Tinggi kolom pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur mungkin terjadi
  - b) Seperenam tinggi bersih kolom
  - c) 450 mm



Gambar 2.19 Panjang  $l_o$  pada kolom

2. Tulangan transversal harus terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpang(*overlap*), sengkang pengekang bundar, sengkang pengekang persegi, dengan atau tanpa pengikat silang. Setiap tekukan ujung sengkang pengekang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar. Ikat silang yang berurutan harus di selang-seling sepanjang tulangan longitudinal.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2 tulangan harus diatur sedemikian sehingga spasi  $h_x$  antara tulangan-tulangan longitudinal di sepanjang perimeter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki sengkang pengekang tidak melebihi 350 mm.



Gambar 2.20 Tulangan transversal pada kolom  
(sumber: SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2)

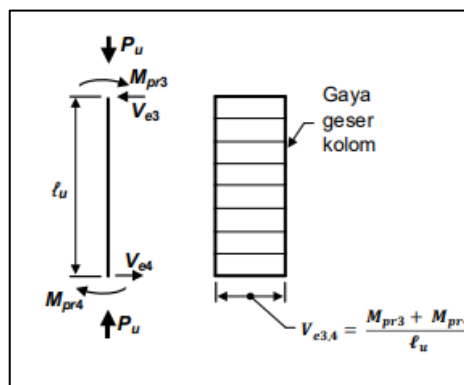
3. Menghitung momen probabilitas kolom ( $M_{pr}$ )

$M_{pr}$  kolom =  $\phi M_n$  kolom kondisi seimbang dengan 1,25fy

Jika tulangan longitudinal disepanjang kolom sama, maka  $M_{pr3}$  dan  $M_{pr4}$  sama

4. Menghitung gaya geser desain

Gaya geser desain ( $V_e$ ) ditentukan dari peninjauan gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan (*joints*) di setiap ujung komponen struktur.



Gambar 2.21 Gaya Geser Desain Kolom  
(sumber: SNI 2847:2019 halaman 384)

$$V_e \text{ Kolom} = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{l_u} \dots\dots\dots(2-138)$$

$$V_e \text{ balok} = \frac{M_{pr1} + M_{pr4}}{l_u} \dots\dots\dots(2-139)$$

5. Jarak tulangan transversal sepanjang  $l_o$  tidak melebihi nilai terkecil dari:

- a) Seperempat dimensi terkecil penampang kolom
- b) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
- c) Nilai  $S_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm

$$100 \leq S_o = 100 + \left(\frac{350-h_x}{3}\right) \geq 150 \dots\dots\dots(2-140)$$

6. Jarak tulangan transversal di luar daerah  $l_o$  tidak melebihi nilai terkecil dari:

- a) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
- b) 150 mm

7. Jumlah tulangan transversal harus sesuai pada tabel 2.8, dimana faktor kekuatan beton  $k_f$  dan faktor keefektifan pengekanan  $k_n$  dihitung dengan persamaan:

$$k_f = \frac{f'c}{175} + 0,6 \geq 1,0 \dots\dots\dots(2-141)$$

$$k_n = \frac{n_l}{n_l-2} \dots\dots\dots(2-142)$$

Dimana  $n_l$  adalah jumlah batang tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom dengan sengkang persegi yang ditumpu secara lateral oleh sudut dari sengkang pengekan atau kait seismik.

Tabel 2.8 Tulangan transversal untuk kolom sistem rangka pemikul momen khusus

Tulangan transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku	
$A_{sh}/sb_c$  Untuk sengkang pengekan persegi	$P_u \leq 0,3A_g f'c$ Dan $f'c \leq 70 \text{ Mpa}$	Terbesar antara (a) dan (b)	$0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \frac{f'c}{f_{yt}}$ (a)
	$P_u > 0,3A_g f'c$ atau $f'c > 70 \text{ Mpa}$	Terbesar antara (a), (b) dan (c)	$0,09 \frac{f'c}{f_{yt}}$ (b)  $0,2 k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (c)

(sumber: SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4)

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.2.1 tulangan transversal sepanjang  $l_o$  harus didesain untuk menahan gaya geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$  bila a) dan b) terjadi:

- a) Gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum disepanjang  $l_o$

- b) Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g \frac{f'_c}{20}$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2:385 untuk mengurangi kemungkinan leleh pada kolom yang dianggap sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik. Syarat kuat lentur minimum kolom harus memenuhi persamaan:

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \dots \dots \dots (2-143)$$

Dimana:

$\sum M_{nc}$  : jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint

$\sum M_{nb}$  : jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint

Jika kolom tidak lebih kuat daripada balok maka kasus terburuk pada kolom lemah adalah kelelahan lentur dapat terjadi pada kedua ujung kolom pada satu lantai tertentu yang menghasilkan mekanisme kegagalan kolom.

#### 2.10.4 Dinding Geser

Dinding geser adalah dinding slab beton bertulang yang dipasang vertikal pada posisi gedung tertentu untuk meningkatkan kinerja struktural khususnya gaya lateral pada bangunan tinggi, dalam hal ini beban gempa.

##### 2.10.4.1 Dimensi

Menurut SNI 2847:2019 pasal 11.3.1.1:226 untuk ketebalan dinding minimum 100 mm, adapun untuk perhitungan ketebalan dinding geser diambil yang terkecil dari persamaan berikut:

$$\text{Tebal dinding geser} \geq \frac{1}{25} h_{lantai} \text{ (tidak tertumpu)} \dots \dots \dots (2-144)$$

atau

$$\text{Tebal dinding geser} \geq \frac{1}{25} l_w \text{ (tidak tertumpu)} \dots \dots \dots (2-145)$$

##### 2.10.4.2 Elemen Batas (*Boundary Element*)

Penggunaan elemen batas pada dinding geser berlaku pada struktur rangka pemikul momen khusus pada kategori desain seismik D, E dan F. Berfungsi untuk mengakomodasi distribusi tulangan longitudinal pada dinding geser dan mencegah terjadinya tekuk (*buckling*) pada dinding geser.



Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.6.2 parameter kebutuhan elemen batas pada dinding geser dapat menggunakan persamaan:

$$c \geq \frac{l_w}{600 \times (1,5 \delta_u / h_w)} \dots\dots\dots(2-146)$$

Rasio  $\delta_u / h_w$  harus ditetapkan tidak kurang dari 0,005. Nilai c dapat dihitung dengan rumus pendekatan yaitu:

$$c = \left( \frac{\alpha + \omega}{0,85 \times \beta_1 + 2\omega} \right) \times l_w \dots\dots\dots(2-147)$$

Dimana:

c = garis netral penampang dinding geser

$\delta_u$  = perpindahan desain dinding geser

$$\omega = \rho_l \times \frac{f_y}{f'_c}$$

$$\alpha = \frac{P_u}{h \times l_w \times f'_c}$$

$\beta_1$  = SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.3

Menentukan dimensi elemen batas pada dinding geser yaitu:

a. Panjang Elemen Batas ( $l_{BE}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.6.4(a):407, nilai  $l_{BE}$  diambil sebagai nilai terbesar dari persamaan berikut:

$$l_{BE} = c - 0,1 l_w$$

atau

$$l_{BE} = \frac{c}{2}$$

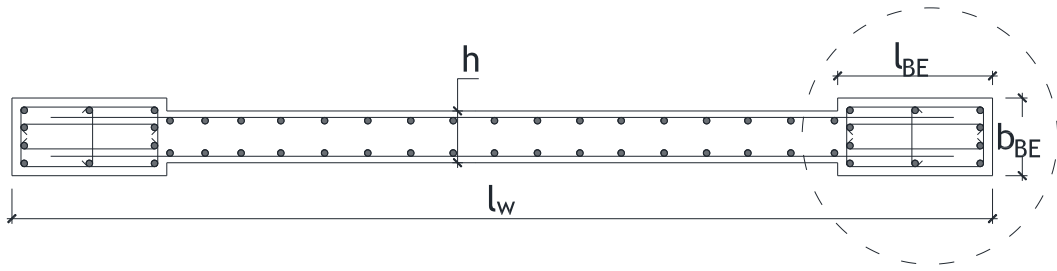
b. Lebar elemen batas ( $b_{BE}$ )

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.6.4(c):408, nilai  $b_{BE}$  diambil sebesar  $b_{BE} \geq 300$  mm bila memenuhi persyaratan:

$$\frac{h_w}{l_w} > 2,0$$

dan

$$\frac{c}{l_w} > \frac{3}{8}$$



Gambar 2.22 Dimensi Elemen Batas pada Struktur Dinding Geser  
(Sumber: Handbook analisa dan desain shearwall, Yudha Lesmana, 2020)

Dimana :

$h_w$  : tinggi dinding geser

$l_w$  : panjang dinding geser

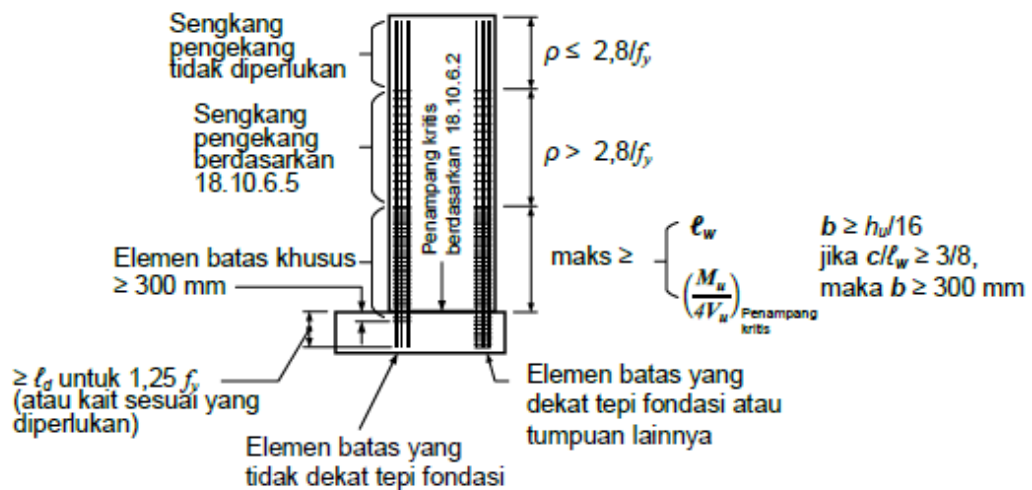
$h_{lantai}$  : tinggi antar lantai

$h$  : lebar dinding

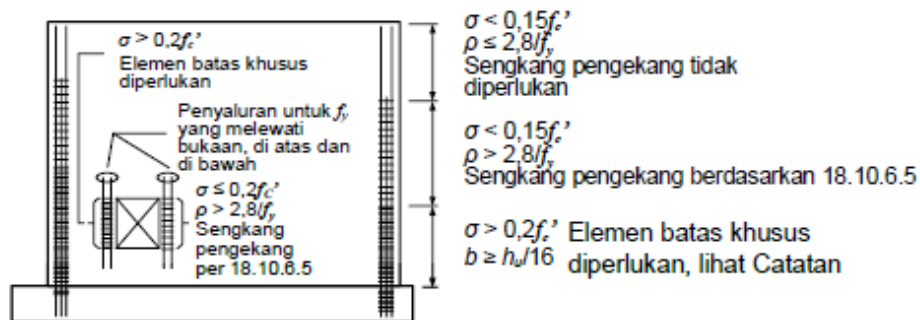
$b_{BE}$  : lebar elemen batas

$l_{BE}$  : panjang elemen batas

$c$  : tinggi garis netral penampang dinding geser



(a) Dinding dengan  $h_w/l_w \geq 2.0$  dan satu penampang kritis terkontrol beban lentur dan aksial yang didesain menggunakan 18.10.6.2, 18.10.6.4, dan 18.10.6.5



Catatan: Persyaratan elemen batas khusus dipicu apabila maksimum tegangan tekan serat terluar  $\sigma > 0,2f_c'$ . Bila diwajibkan, elemen batas khusus diperpanjang sampai  $\sigma < 0,15f_c'$ . Bilamana  $h_w/l_w \leq 2,0$ , 18.10.6.4(c) menjadi tidak berlaku

(b) Dinding dan pilar dinding yang didesain menggunakan 18.10.6.3, 18.10.6.4, dan 18.10.6.5

Gambar 2.23 Rangkuman persyaratan elemen batas pada dinding geser (Sumber: SNI 2847:2019 pasal 18.10.6.4.2:411)

### 2.10.4.3 Tulangan

Pada perencanaan penulangan dinding geser ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dalam perencanaan dinding struktur khusus yang tercantum pada SNI 2847:2019 yaitu:

1. Persyaratan tulangan dinding struktur khusus, terdapat pada pasal 18.10.2.1, 18.10.2.2, 18.10.2.3 dan 18.10.3.

2. Kekuatan geser dinding struktur khusus, terdapat pada pasal 18.10.4.1, 18.10.4.2, 18.10.4.3, 18.10.4.4.

3. Elemen pembatas dinding struktur khusus, terdapat pada pasal 18.10.6.1, 18.10.6.2, 18.10.6.3, 18.10.6.4, 18.10.6.5.

4. Analisa tegangan dan regangan

Analisa tegangan dan regangan suatu dinding geser menggunakan dasar teori suatu kolom yang dibebani dari struktur itu sendiri sebagai bagian dari struktural rangka yang dibebani oleh beban aksial dan momen lentur. Maka analisa tegangan, regangan, dan gaya dalam bukannya beton bertulang ialah sebagai berikut:

- Menghitung regangan

Untuk daerah tekan:

$$\frac{\varepsilon s'}{\varepsilon c} = \frac{c - d}{c} \rightarrow \varepsilon s' = \frac{c - d}{c} \times \varepsilon c \quad ; \varepsilon c = 0,003$$

Untuk daerah tarik:

$$\frac{\varepsilon s'}{\varepsilon c} = \frac{d - c}{c} \rightarrow \varepsilon s' = \frac{d - c}{c} \times \varepsilon c \quad ; \varepsilon c = 0,003$$

Dimana:

$\varepsilon s'$  = regangan tekan

$\varepsilon s$  = regangan tarik

$d$  = jarak masing-masing tulangan terhadap serat penampang atas

$\varepsilon$  = regangan maksimum pada serat beton terluar

- Menghitung tegangan

Jika nilai tegangan dalam tulangan ( $f_s'$ ) di bawah kuat leleh ( $f_y$ ) yang ditentukan maka mutu tulangan yang digunakan ialah:

Untuk daerah tekan  $f_s' = \varepsilon s' \times E_s$ , untuk daerah tarik  $f_s = \varepsilon s \times E_s$

Jika, nilai tegangan dalam tulangan ( $f_s$ ) di atas kuat leleh ( $f_y$ ) yang ditentukan maka tulangan yang digunakan nilai  $f_y$ .

Dimana:

$f_s'$  = tegangan tulangan tekan (Mpa)

$f_s$  = tegangan tulangan tarik (Mpa)

$E_s$  = modulus elastisitas non prategang = 200000 Mpa

5. Daerah sendi plastis

- Menentukan nilai spasi tulangan transversal ( $S_o$ )  
Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3 spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari (a) hingga (c):
  - a. Seperempat dimensi terkecil penampang kolom
  - b. Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
  - c.  $S_o$ , yang dihitung dengan

$$S_o = 100 + \left( \frac{350-h}{3} \right) \dots\dots\dots(2-148)$$

- Mencari luas tulangan geser dan kekuatan geser nominal  
Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.5.3  $A_v$  merupakan luas efektif semua kaki tulangan atau kawat dengan spasi  $s$ .  $A_v$  adalah dua kali luas tulangan atau kawat dengan spasi  $s$ .

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{s} \dots\dots\dots(2-149)$$

Dimana:

$A_v$  = luas tulangan geser dalam rentang jarak  $s$  ( $A_v$  harus diambil dua kali luas batang tulangan pada sengkang ikat bundar, ikat persegi atau spiral dengan spasi  $s$ )

$f_{yt}$  = kekuatan leleh tulangan transversal

$s$  = spasi pusat ke pusat benda

**2.10.5 Penulangan Hubungan Balok dan Kolom**

Menurut SNI 2847:2019 hubungan balok dan kolom harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. SNI 2847:2019 pasal 18.8.2.1 gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal di muka joint harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah  $1,25f_y$ .
- b. Pasal 18.8.2.3 bila tulangan balok longitudinal menerus melalui joint balok-kolom, dimensi kolom yang sejajar terhadap tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter batang tulangan balok longitudinal terbesar untuk beton normal (*normal weight*). Untuk beton ringan (*light weight*), dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter batang tulangan.
- c. Pasal 18.8.3.2 bila pada komponen struktur merangka ke dalam semua empat sisi joint dan bila setiap lebar komponen struktur adalah paling

sedikit tiga perempat lebar kolom, jumlah tulangan yang ditetapkan dalam pasal 18.7.5.4 diizinkan untuk direduksi dengan setengahnya dan spasi yang disyaratkan dalam pasal 18.7.5.3 diizinkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian balok **h** yang terendah yang merangka pada joint tersebut.

- d. Gaya yang bekerja pada tulangan sisi atas (T) pada balok kiri/kanan HBK:

$$T = 1,25 \times A_s \times f_y \dots\dots\dots(2-150)$$

Gaya tekan yang bekerja pada beton sisi kiri/kanan HBK:  $C = T$

$$\text{Momen kolom (Mc) : } Mc = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{2} \dots\dots\dots(2-151)$$

- e. Gaya geser horizontal pada joint (Vjh):

$$V_{jh} = T + C - V_h \dots\dots\dots(2-152)$$

- f. Pasal 18.8.4.1 untuk beton berat normal,  $V_n$  joint harus sesuai tabel berikut:

Tabel 2.9 Kekuatan Geser Nominal Joint  $V_n$

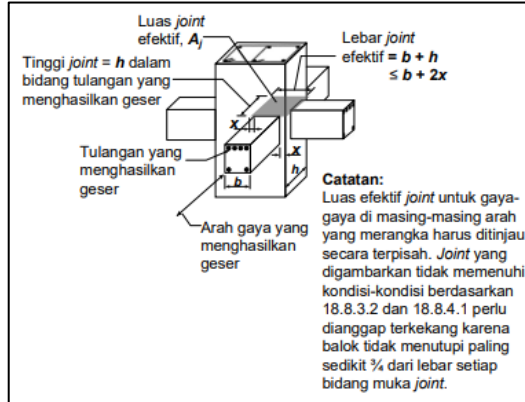
Konfigurasi Joint	$V_n$
Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya	$1,7\lambda\sqrt{f'c'} A_f$
Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan	$1,2\lambda\sqrt{f'c'} A_f$
Untuk kasus-kasus lainnya	$1,0\lambda\sqrt{f'c'} A_f$

(Sumber: SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.1)

Pada tabel 2.9 suatu muka joint dianggap terkekang oleh balok apabila lebar balok tersebut paling tidak tiga perempat dari lebar efektif joint. Perpanjangan balok yang melewati muka joint setidaknya sama dengan tinggi balok **h** boleh dianggap memberikan kekangan pada muka joint tersebut. Perpanjangan balok tersebut harus memenuhi pasal 18.6.2.1 (b), 18.6.3.1, 18.6.4.2, 18.6.4.3 dan 18.6.4.4.

$A_j$  ialah luas penampang efektif dalam suatu joint yang dihitung dari tinggi joint kali lebar joint efektif. Tinggi joint harus merupakan tinggi keseluruhan kolom **h**. Lebar joint efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar joint efektif tidak melebihi yang lebih kecil dari a) dan b):

- a) Lebar balok ditambah tinggi joint
- b) Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.



Gambar 2.24 Luas Joint Efektif  
(Sumber SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.3 hal 396)

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.8.5.1, untuk tulangan D10 sampai D36, yang ujungnya diberi kait standar, panjang penyaluran  $l_{dh}$  harus dihitung dan untuk beton normal,  $l_{dh}$  tidak boleh kurang dari yang terbesar dari  $8d_b$  dan 150 mm dan panjang yang disyaratkan dengan persamaan berikut:

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \lambda \sqrt{f'_c}} \dots\dots\dots(2-153)$$

### 2.11 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6:75, penentuan simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbebedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan,  $\Delta$  harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan dalam pasal 7.8.1 tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.

Simpangan pusat massa di tingkat- $x$  ( $\delta x$ ) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta x = \frac{C_d x \delta x_e}{I_e} \dots\dots\dots(2-154)$$

Besar simpangan antar lantai dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\Delta x = \delta x_a - \delta x_b \leq \Delta a \dots\dots\dots(2-155)$$

$$\Delta x = (\delta_{exa} - \delta_{exb}) C_d I_e \leq \Delta a \dots\dots\dots(2-156)$$

Keterangan:

$C_d$  = faktor pembesaran defleksi

$\delta_{xe}$  = simpangan ditingkat-x, dengan analisis elastik

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

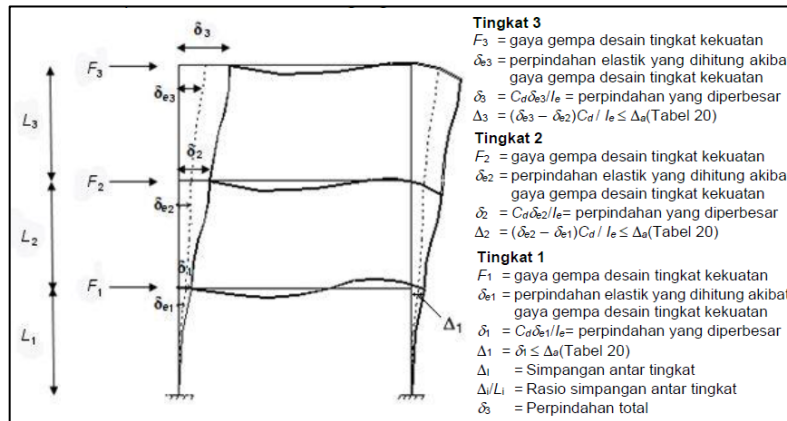
$\delta_{exa}$  = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan pada tingkat atas.

$\delta_{exb}$  = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan pada tingkat bawah.

$\Delta x$  = simpangan pada lantai ke-x

$\Delta a$  = simpangan antar lantai tingkat ijin

$H_{sx}$  adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x.

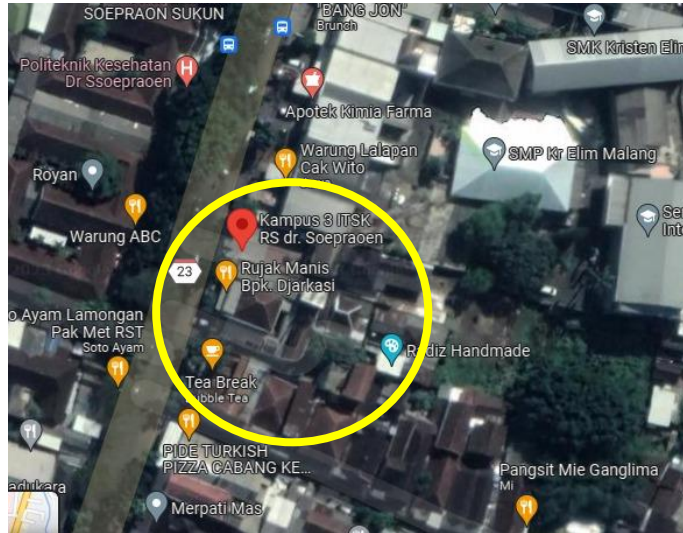


Gambar 2.25 Penentuan Simpangan Antar Tingkat  
 (Sumber SNI 1726:2019 hal 75)



## BAB III METODE PERENCANAAN

### 3.1 Data Lokasi Perencanaan



Gambar 3.1 Lokasi Gedung *Lokasi Proyek Gedung Perkuliahan Kampus 3 ITSK*  
(Sumber Google Maps)

### 3.2 Data Teknis Perencanaan

- Nama Bangunan : Gedung Perkuliahan ITKS Malang
- Lokasi Bangunan : Jalan S. Supriyadi No.22 Kecamatan Sukun, Malang
- Fungsi Bangunan : Gedung Perkuliahan
- Jumlah Lantai : 7 Lantai
- Tinggi Bangunan : 27 m
- Lebar Bangunan : 28,8 m
- Panjang Bangunan : 50,4 m
- Tingi Antara lantai : 4,5 m
- Struktur Gedung : Beton bertulang
- Mutu Beton : 30 Mpa
- Mutu tulangan ulir : BJTS 420B
- Mutu tulangan sengkang : BJTP 280
- Mutu tulangan plat lantai : BJTS 420B

### **3.3 Teknik Pengumpulan Data**

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara meminta data dari Konsultan Perencana pada proyek Gedung ITKS Soepraoen yang berupa data gambar struktur kemudian data yang sudah ada diolah dan dihitung kembali.

### **3.4 Tahapan Perencanaan**

Tahapan dari perencanaan gedung ITKS Soepraoen meliputi tahapan sebagai berikut:

#### **3.4.1 Studi Literatur**

Literatur-literatur yang digunakan sebagai pedoman perencanaan meliputi:

1. SNI 2847:2019 Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung
2. SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung.
3. SNI 1727:2020 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain
4. SNI 2052:2017 Baja Tulangan Beton

#### **3.4.2 Pengumpulan Data Perencanaan**

Data yang perlukan pada Perencanaan Gedung ITKS Soepraoen berikut:

1. Data konstruksi bangunan
2. Data tanah
3. Gambar Arsitektur Gedung

#### **3.4.3 Analisa Pembebanan**

Pembebanan yang diperhitungkan pada Perencanaan ITKS Soepraoen secara garis besar sebagai berikut:

- a. Beban mati (*dead load*)
- b. Beban hidup (*live load*)
- c. Beban gempa (*earthquake load*), untuk Kota Malang berdasarkan SNI 1726:2019

#### **3.4.4 Perencanaan Awal Dimensi Plat lantai, Balok, Kolom dan Dinding Geser**

Perencanaan awal dimensi balok dan kolom dilakukan untuk mengetahui penampang balok dan kolom yang memenuhi dan dilanjutkan dengan analisa struktur menggunakan ETABS.

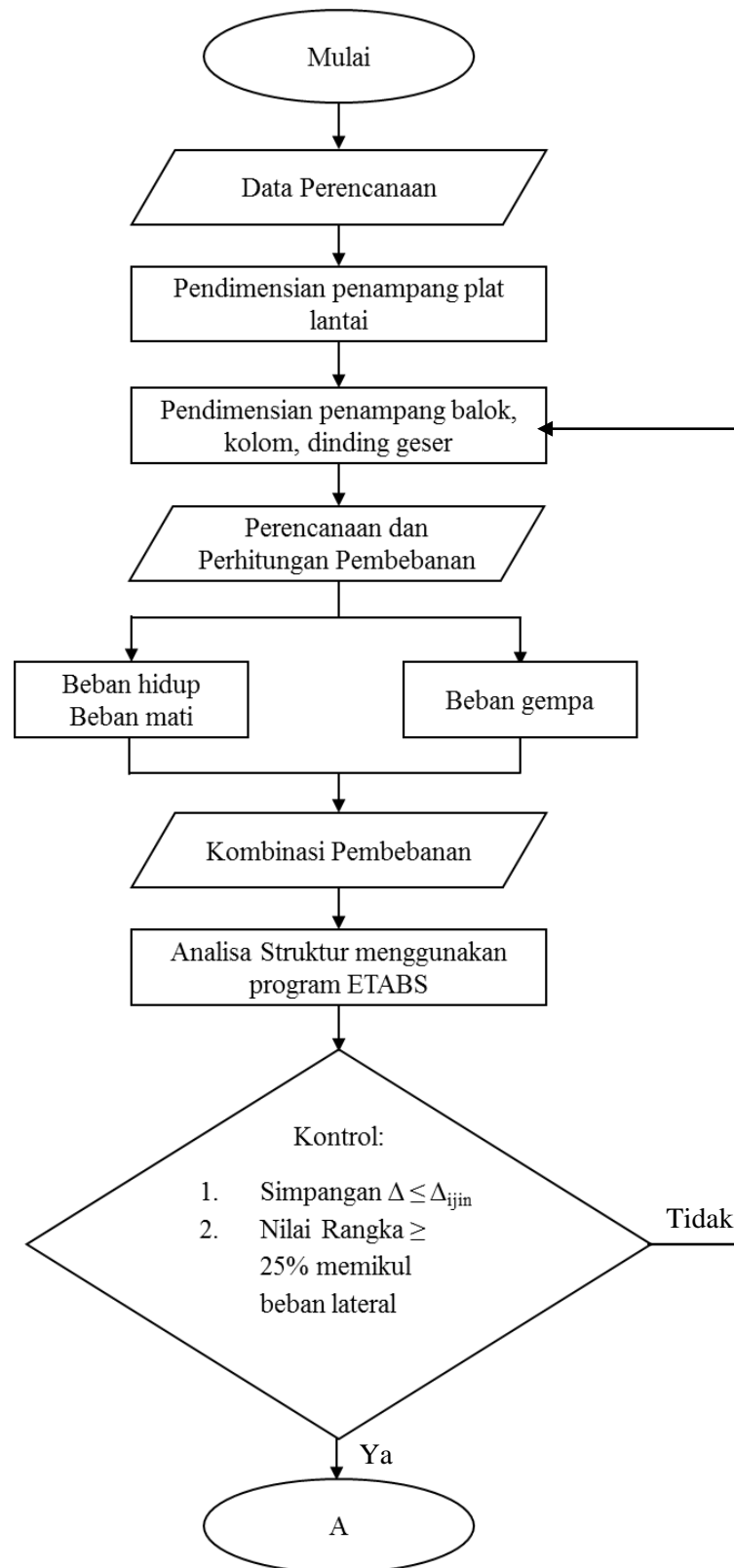
#### **3.4.5 Analisa Struktur (Pemodelan Struktur)**

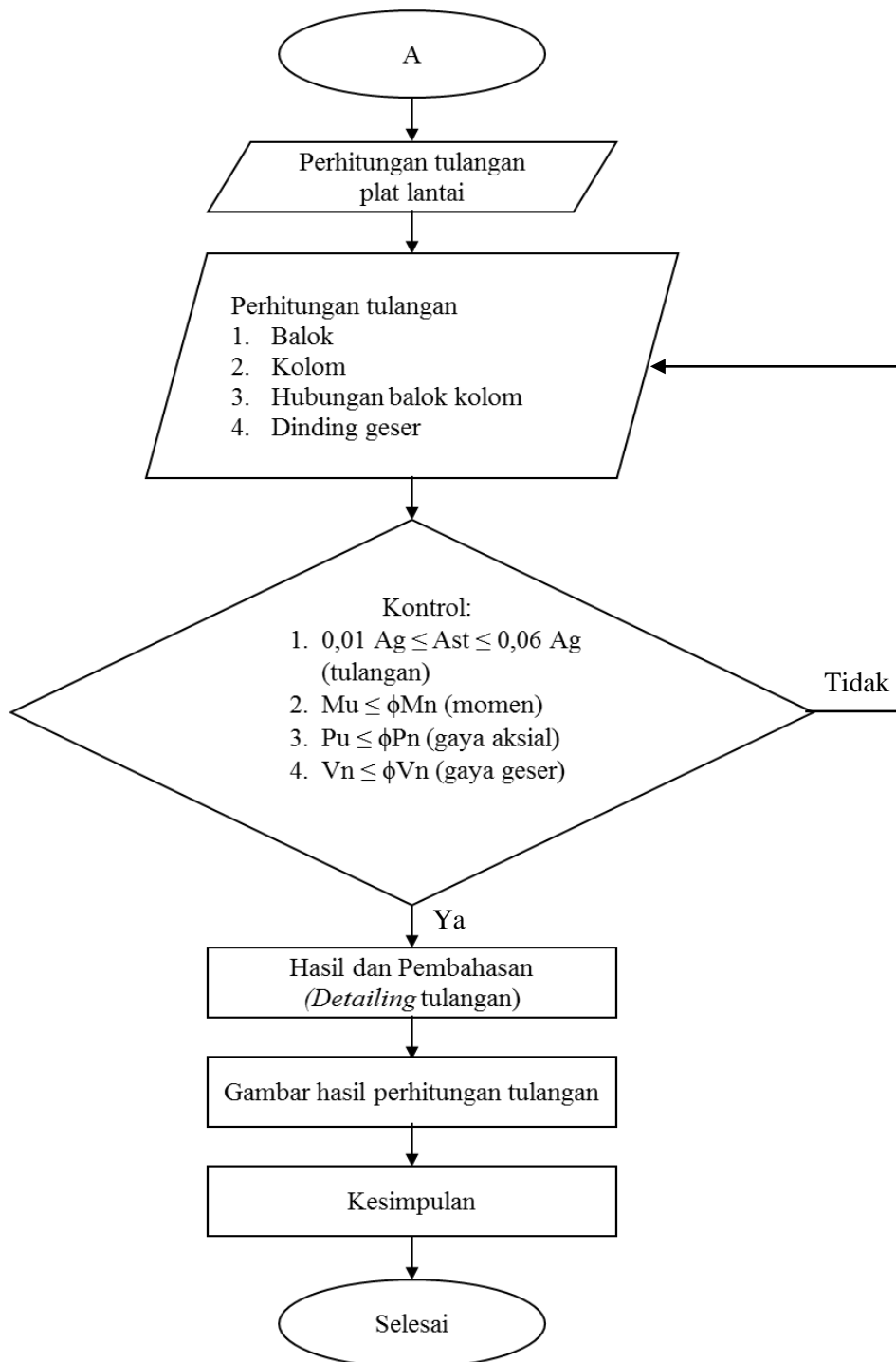
Untuk mengetahui perilaku struktur dan untuk menghitung besaran gaya-gaya dalam bekerja pada struktur Gedung ITKS Soepraoen yaitu dengan menggunakan program bantu ETABS.

#### **3.4.6 Pemeriksaan Hasil *Output***

Pemeriksaan hasil *output* pada ETABS dilakukan untuk memperoleh dan mengambil hasil gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur gedung untuk digunakan dalam perhitungan struktur portal.

### 3.5 Bagan Alir (Flowchart)





Gambar 3.2 Bagan alir

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (2017). SNI 2052-2017 Baja Tulangan Beton. *Badan Stand. Nas.* 13 (2017).
- Anonim (2019). SNI 1726:2019. *Tata Cara Perenc. Ketahanan Gempa Untuk Strukt. Bangunan Gedung dan Non Gedung* 254 (2019).
- Anonim (2019). SNI 2847-2019. *Persyaratan Bet. Strukt. untuk Bangunan Gedung* 720 (2019).
- Anonim (2020). SNI 1727:2020 Penetapan Standar Nasional Indonesia 1727 : 2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur. *Badan Standarisasi Nas. 17272020* 1–336 (2020).
- Jeremy Irawan. begawan malang menggunakan srpm dan dinding geser Sistem Ganda / Dual System. **2**, 292–302 (2020).
- Okny, Yuansyah, F., Wedyantadji, B., Priskasari, E. & Sipil, J. T. STUDI alternatif gedung attic showroom surabaya menggunakan. **2**, 208–216 (2020).
- Hopkins, D. C. *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings* . *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering* roč. 25 (1992).
- Putri, and S. Analisis Kinerja Bangunan Gedung Tinggi Dengan Penambahan Dinding Geser. **7**, 26–37 (2021).
- Yudha, Lesmana. 2020. *Handbook Analisa Dan Desain Shear Wall Beton Bertulang Dual System Berdasarkan SNI 2847-2019 & 1726-2019*. yogyakarta.
- Yudha, Lesmana. 2020. *Handbook Analisa Dan Desain Struktur Tahan Gempa Beton Bertulang (SRPMB, SRPMM & SRPMK) Berdasarkan SNI 2847-2019 & SNI 1726-2019*. yogyakarta.
- Hartono, bagio tony, and Tavio. 2019. *Dasar-Dasar Beton Bertulang*. yogyakarta.