



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI PERBANDINGAN DIAGRAM BEBAN-LENDUTAN  
DINDING *SQUAT WALL* YANG DIANALISIS DENGAN  
MEMASUKKAN FAKTOR MODIFIKASI DAN DIANALISIS  
SECARA NON-LINEAR**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana  
Teknik Program Studi Teknik Sipil

**INDRA KUSUMA  
0806329281**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : Indra Kusuma**

**NPM : 0806329281**

**Tanda Tangan : **


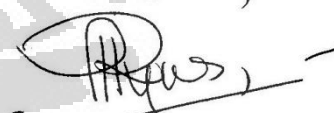

**Tanggal : 2 Juli 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Indra Kusuma  
NPM : 0806329281  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Studi Perbandingan Diagram Beban-Lendutan Dinding *Squat Wall* yang Dianalisis dengan Memasukkan Faktor Modifikasi dan Dianalisis secara Non-linear

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng (  )  
Penguji : Ir. Essy Arijoeni, Ph.D (K) (  )  
Penguji : Dr.-Ing. Ir. Henki W. Ashadi (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus. Karena atas berkat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil kekhususan Struktur pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal perkuliahan sampai pada penyusunan seminar ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan seminar ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Kwok Choi Sing dan Henny Tjau, kedua orang tua penulis yang telah memberikan dukungan baik secara moral maupun material dalam penyusunan skripsi ini.
- (3) Teman-teman mahasiswa dari Departemen Teknik Sipil FTUI angkatan 2008, terutama Nessa, Iezal, Johanna, dan Rizal yang telah banyak membantu penulis dalam dukungan serta doa sehingga skripsi dapat diselesaikan.
- (4) Teman-teman dari EDS UI, khususnya Gesa, Odi, Ega, Bram, Hana, Colley, Sume dan Ahdiat yang telah memberikan dukungan moral selama penyusunan skripsi.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu di Indonesia.

Depok, Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Indra Kusuma  
NPM : 0806329281  
Program Studi : Teknik Sipil  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Studi Perbandingan Diagram Beban-Lendutan Dinding *Squat Wall* yang  
Dianalisis dengan Memasukkan Faktor Modifikasi dan Dianalisis secara Non-  
Linear

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 2 Juli 2012

Yang menyatakan,



---

(Indra Kusuma)

## ABSTRAK

Nama : Indra Kusuma  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Studi Perbandingan Diagram Beban-Lendutan Dinding *Squat Wall* yang Dianalisis dengan Memasukkan Faktor Modifikasi dan Dianalisis secara Non-Linear

*Squat wall* adalah dinding geser dengan rasio tinggi terhadap panjang ( $h_w/l_w$ )  $\leq 2$ , berfungsi untuk menahan gaya lateral. Dalam menganalisa *squat wall* secara linear, digunakanlah faktor modifikasi/reduksi kekakuan yang dikalikan pada beberapa parameter kekakuan untuk memodelkan retak pada kondisi ambang keruntuhan. Melalui penelitian ini, diketahui bahwa faktor modifikasi kekakuan pada peraturan SNI 03-2847-2002/ACI 318-05 dapat digunakan untuk memperhitungkan perubahan kekakuan akibat retak. Apabila gaya yang ditahan searah dengan *squat wall*, maka parameter kekakuan yang paling berpengaruh adalah  $f_{22}$ , disusul dengan  $f_{12}$ , dan  $f_{11}$ . Pengaruh parameter kekakuan  $f_{12}$  sendiri berbanding terbalik dengan rasio  $h_w/l_w$ . Tahap terakhir dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *squat wall* sebagai sistem dinding penumpu memungkinkan penggunaan *flat slab* pada wilayah gempa kuat.

Kata kunci: *Squat wall*, faktor modifikasi/reduksi kekakuan, parameter kekakuan, *flat slab*, wilayah gempa kuat

## ABSTRACT

Name : Indra Kusuma  
Major : Civil Engineering  
Title : Comparative Study on Load-Deflection Diagrams of Squat Wall Analyzed with Modification Factor and Analyzed in Non-Linear Manner

Squat wall is shear wall with height-to-length-ratio ( $h_w/l_w$ )  $\leq 2$ , used to resist lateral forces. In analyzing squat wall with a linear fashion, stiffness modifier are applied to several stiffness parameters to model cracks on ultimate limit state. Through this research, it is known that stiffness modifier in SNI 03-2847-2002/ACI 318-05 building codes can be used to account for changes in stiffness due to cracking. If the force applied is in line with squat wall, the most influential stiffness parameter is  $f_{22}$ , followed by  $f_{12}$  and  $f_{11}$ . Influence of  $f_{12}$  is inversely proportionate with the  $h_w/l_w$  ratio. The last phase of this study indicates that the use of squat wall as bearing wall system allows the use of flat slab in strong earthquake region.

Keyword: Squat wall, stiffness modifier, stiffness parameter, flat slab, strong earthquake region

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	II
HALAMAN PENGESAHAN .....	III
KATA PENGANTAR .....	IV
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	V
ABSTRAK .....	VI
ABSTRACT .....	VII
DAFTAR ISI .....	VIII
DAFTAR GAMBAR .....	XI
DAFTAR TABEL .....	XII
DAFTAR LAMPIRAN .....	XIII
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 TUJUAN PENULISAN .....	2
1.3 METODE PENELITIAN .....	2
1.4 RUANG LINGKUP PEMBAHASAN .....	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 DINDING GESER .....	5
2.2 ANALISA STRUKTUR SECARA LINEAR .....	6
2.3 ANALISA STRUKTUR SECARA NON-LINEAR .....	7
2.4 PERILAKU DINDING GESER TERHADAP BEBAN LATERAL .....	11
2.5 SISTEM PELAT LANTAI .....	13
2.6 KETENTUAN UMUM DALAM PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG .....	14
2.7 TATA CARA PERENCANAAN KETAHANAN GEMPA UNTUK BANGUNAN GEDUNG .....	17
2.7.1 <i>Ketentuan Umum</i> .....	17
2.7.2 <i>Perencanaan Umum Struktur Gedung</i> .....	21
2.7.3 <i>Perencanaan Struktur Gedung Beraturan</i> .....	24
2.7.4 <i>Perencanaan Struktur Gedung Tidak Beraturan</i> .....	25
2.7.5 <i>Kinerja Struktur Gedung</i> .....	26
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN DAN PERMODELAN .....</b>	<b>27</b>
3.1 ALUR BERPIKIR .....	27
3.2 PROPERTI <i>SQUAT WALL</i> .....	28
3.3 PERMODELAN DENGAN PROGRAM SAP2000 .....	30
3.4 APLIKASI FAKTOR REDUKSI KEKAKUAN PADA STRUKTUR GEDUNG .....	33
<b>BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS .....</b>	<b>38</b>
4.1 PERILAKU STATIK/DINAMIK STRUKTUR .....	47



4.1.1	<i>Periode Alami Struktur</i> .....	47
4.1.2	<i>Perbandingan Gaya Geser Statik (S) dan Gaya Geser Dinamik (D)</i> .....	47
4.1.3	<i>Pengecekan Drift Layan dan Drift Ultimit</i> .....	48
4.2	PERENCANAAN PENULANGAN GEDUNG 4 LANTAI .....	50
4.2.1	<i>Penulangan Squat Wall (Pier)</i> .....	50
4.2.1.1	Penentuan Tebal Dinding Geser ( <i>Pier</i> ).....	50
4.2.1.2	Penulangan Lentur Dinding Geser ( <i>Pier</i> ).....	50
4.2.1.3	Penulangan Geser Dinding Geser ( <i>Pier</i> ).....	51
4.2.1.4	Pengecekan Sliding Shear ( <i>Pier</i> ) .....	52
4.2.1.5	Pengecekan Boundary Element ( <i>Pier</i> ) .....	52
4.2.2	<i>Penulangan Squat Wall (Spandrel)</i> .....	53
4.2.2.1	Penentuan Tebal Dinding Geser ( <i>Spandrel</i> ).....	53
4.2.2.2	Penulangan Lentur Dinding Geser ( <i>Spandrel</i> ).....	54
4.2.2.3	Penulangan Geser Dinding Geser ( <i>Spandrel</i> ).....	54
4.2.2.4	Pengecekan Sliding Shear ( <i>Spandrel</i> ).....	55
4.2.2.5	Pengecekan Boundary Element ( <i>Spandrel</i> ) .....	56
4.2.3	<i>Penulangan Kolom</i> .....	56
4.2.3.1	Properti Kolom .....	56
4.2.3.2	Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain.....	56
4.2.3.3	Konfigurasi Penulangan Longitudinal .....	57
4.2.3.4	Kuat Lentur Kolom.....	57
4.2.3.5	Konfigurasi Penulangan Geser.....	58
4.3	PERENCANAAN PENULANGAN GEDUNG 8 LANTAI .....	59
4.3.1	<i>Penulangan Squat Wall (Pier)</i> .....	59
4.3.1.1	Penentuan Tebal Dinding Geser ( <i>Pier</i> ).....	59
4.3.1.2	Penulangan Lentur Dinding Geser ( <i>Pier</i> ).....	59
4.3.1.3	Penulangan Geser Dinding Geser ( <i>Pier</i> ).....	60
4.3.1.4	Pengecekan Sliding Shear ( <i>Pier</i> ) .....	61
4.3.1.5	Pengecekan Boundary Element ( <i>Pier</i> ) .....	61
4.3.1.6	Pendimensian Boundary Element ( <i>Pier</i> ).....	62
4.3.2	<i>Penulangan Squat Wall (Spandrel)</i> .....	63
4.3.2.1	Penentuan Tebal Dinding Geser ( <i>Spandrel</i> ).....	64
4.3.2.2	Penulangan Lentur Dinding Geser ( <i>Spandrel</i> ).....	64
4.3.2.3	Penulangan Geser Dinding Geser ( <i>Spandrel</i> ).....	64
4.3.2.4	Pengecekan Sliding Shear ( <i>Spandrel</i> ).....	66
4.3.2.5	Pengecekan Boundary Element ( <i>Spandrel</i> ) .....	66
4.3.2.6	Pendimensian <i>Boundary Element</i> ( <i>Spandrel</i> ) .....	66
4.3.3	<i>Penulangan Kolom</i> .....	68
4.3.3.1	Properti Kolom .....	68
4.3.3.2	Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain.....	69
4.3.3.3	Konfigurasi Penulangan Longitudinal .....	69
4.3.3.4	Kuat Lentur Kolom.....	69
4.3.3.5	Konfigurasi Penulangan Geser.....	70
4.4	PERENCANAAN PENULANGAN GEDUNG 12 LANTAI .....	71
4.4.1	<i>Penulangan Squat Wall (Pier)</i> .....	71
4.4.2	<i>Penentuan Tebal Dinding Geser (Pier)</i> .....	71
4.4.3	<i>Penulangan Lentur Dinding Geser (Pier)</i> .....	71
4.4.4	<i>Penulangan Geser Dinding Geser (Pier)</i> .....	72
4.4.4.1	Pengecekan Sliding Shear ( <i>Pier</i> ) .....	73
4.4.4.2	Pengecekan Boundary Element ( <i>Pier</i> ) .....	73
4.4.4.3	Pendimensian <i>Boundary Element</i> ( <i>Spandrel</i> ) .....	74

4.4.5	<i>Penulangan Squat Wall (Spandrel)</i> .....	75
4.4.5.1	Penentuan Tebal Dinding Geser ( <i>Spandrel</i> ).....	76
4.4.6	<i>Penulangan Lentur Dinding Geser (Spandrel)</i> .....	76
4.4.6.1	Penulangan Geser Dinding Geser ( <i>Spandrel</i> ).....	76
4.4.6.2	Pengecekan Sliding Shear ( <i>Spandrel</i> ).....	78
4.4.6.3	Pengecekan Boundary Element ( <i>Spandrel</i> ) .....	78
4.4.6.4	Pendimensian <i>Boundary Element</i> ( <i>Spandrel</i> ) .....	78
4.4.7	<i>Penulangan Kolom</i> .....	80
4.4.7.1	Properti Kolom (Lantai 1-6) .....	81
4.4.7.2	Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain (Lantai 1-6) .....	81
4.4.7.3	Konfigurasi Penulangan Longitudinal (Lantai 1-6) .....	81
4.4.7.4	Kuat Lentur Kolom (Lantai 1-6).....	81
4.4.7.5	Konfigurasi Penulangan Geser (Lantai 1-6).....	82
4.4.7.6	Properti Kolom (Lantai 7-12) .....	83
4.4.7.7	Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain (Lantai 7-12) .....	83
4.4.7.8	Konfigurasi Penulangan Longitudinal (Lantai 7-12) .....	83
4.4.7.9	Kuat Lentur Kolom (Lantai 7-12).....	83
4.4.7.10	Konfigurasi Penulangan Geser (Lantai 7-12).....	84
4.5	PERENCANAAN PELAT LANTAI .....	85
4.5.1	<i>Pembebanan Pelat</i> .....	86
4.5.2	<i>Penentuan Tinggi Efektif</i> .....	87
4.5.3	<i>Penulangan Lentur (End Span-Column Strip)</i> .....	87
4.5.3.1	Tulangan Lapangan (Arah x) .....	87
4.5.3.2	Tulangan Lapangan (Arah y) .....	88
4.5.4	<i>Penulangan Lentur (End Span-Middle Strip)</i> .....	88
4.5.4.1	Tulangan Lapangan (Arah x) .....	88
4.5.4.2	Tulangan Lapangan (Arah y) .....	89
4.5.5	<i>Penulangan Lentur (Interior Span-Column Strip)</i> .....	89
4.5.5.1	Tulangan Lapangan (Arah x) .....	89
4.5.5.2	Tulangan Lapangan (Arah y) .....	90
4.5.6	<i>Penulangan Lentur (Interior Span-Middle Strip)</i> .....	90
4.5.6.1	Tulangan Lapangan (Arah x) .....	90
4.5.6.2	Tulangan Lapangan (Arah y) .....	91
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....		<b>92</b>
5.1	KESIMPULAN.....	92
5.2	SARAN.....	92
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>93</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sembilan Nodal pada Elemen Heterosis .....	9
Gambar 2.2. DOF pada Setiap Nodal .....	9
Gambar 2.3. Sistem Acuan dalam Lapisan Elemen.....	10
Gambar 2.4. Generalisasi Hubungan Tegangan-Regangan pada Beton .....	11
Gambar 2.5. Rotasi Sendi Plastis pada Dinding Geser dengan Respon Inelastik yang Didominasi Momen Lentur .....	12
Gambar 2.6. <i>Story Drift</i> pada Dinding Geser dengan Respon Inelastik yang Didominasi Gaya Geser .....	13
Gambar 2.7. Tipe Sistem Pelat 2 Arah .....	14
Gambar 2.8. Ilustrasi Pasal 21.11.5 .....	14
Gambar 2.9. Respon Spektrum Wilayah Kegempaan Indonesia untuk Berbagai Jenis Tanah.....	21
Gambar 3.1. Detail Penulangan a) <i>Squat Wall</i> Tipe 1; b) <i>Squat Wall</i> Tipe 2.....	28
Gambar 3.2. Kurva <i>Stress-Strain</i> Material untuk a) Beton; dan b) Tulangan .....	29
Gambar 3.3. Permodelan dalam Program SAP2000 untuk a) <i>Squat Wall</i> Tipe 1; b) <i>Squat Wall</i> Tipe 2.....	30
Gambar 3.4. Elemen <i>Shell</i> dengan 4 Nodal .....	31
Gambar 3.5. Lapisan pada Elemen <i>Layered Shell</i> .....	31
Gambar 3.6. Tegangan pada Elemen <i>Shell</i> Terkait Dengan (a) <i>Membrane Action</i> ; dan (b) <i>Plate-Bending Action</i> .....	33
Gambar 3.7. Permodelan pada Program ETABS untuk (a) Gedung 1; (b) Gedung 2; dan (c) Gedung 3.....	35
Gambar 3.8. Respon Spektra Rencana.....	36
Gambar 4.1. Diagram Beban-Lendutan untuk a) <i>Squat Wall</i> Tipe 1; dan b) <i>Squat Wall</i> Tipe 2.....	38
Gambar 4.2. Diagram Beban-Lendutan dengan Variasi Faktor Reduksi Kekakuan untuk a) <i>Squat Wall</i> Tipe 1; dan b) <i>Squat Wall</i> Tipe 2 .....	39
Gambar 4.3. Diagram Tegangan dan Lokasi Retak pada (a) <i>Squat Wall</i> Tipe 1; dan (b) <i>Squat Wall</i> Tipe 2 .....	41

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Faktor Reduksi Kekakuan.....	7
Tabel 2.2. Faktor Reduksi Kekakuan.....	7
Tabel 2.3. Faktor Keutamaan Berbagai Kategori Gedung.....	18
Tabel 2.4. Parameter Daktilitas Struktur Gedung.....	19
Tabel 2.5. Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka Tanah untuk Masing-Masing Wilayah Gempa Indonesia .....	19
Tabel 2.6. Spektrum Respon Gempa Rencana.....	20
Tabel 2.7. Koefisien $\zeta$ yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung.....	23
Tabel 3.1. Properti Material <i>Squat Wall</i> .....	28
Tabel 3.2. Kombinasi Pembebanan untuk Perancangan Stuktur .....	37
Tabel 4.1. Detail Parameter Kekakuan yang Direduksi pada Setiap Variasi Faktor Reduksi Kekakuan .....	40

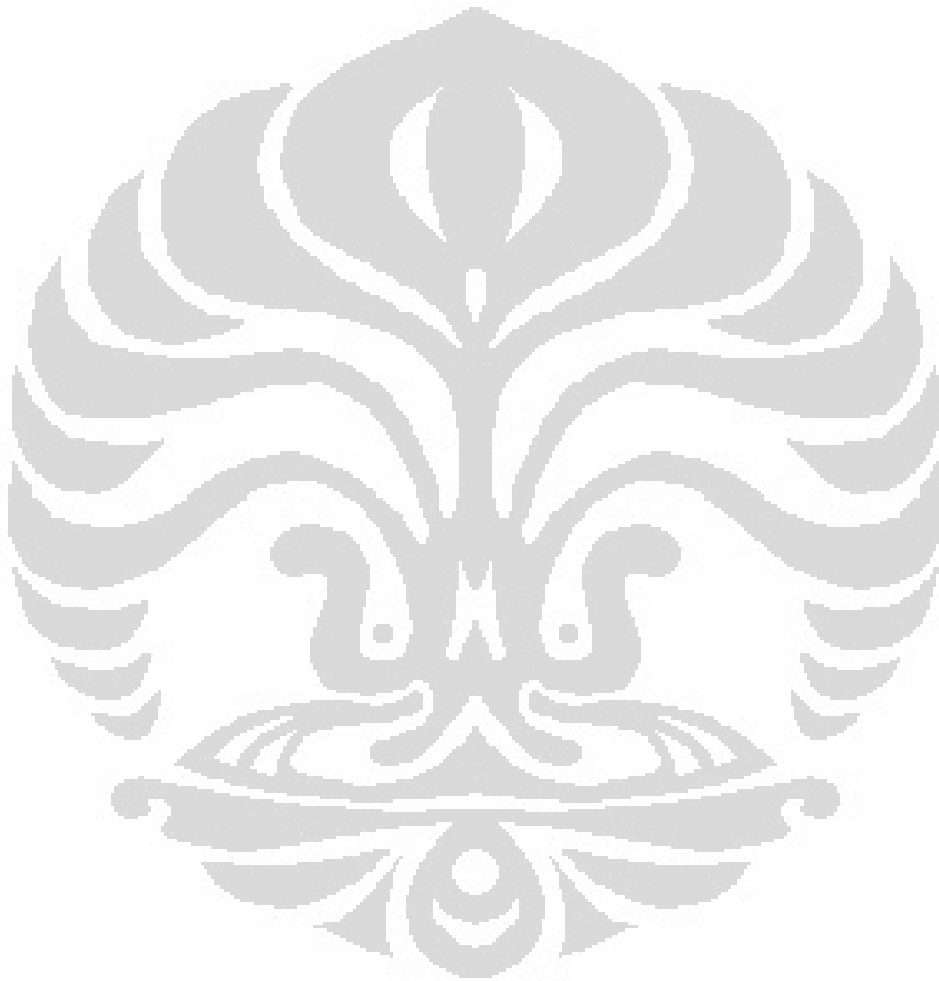
## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Beban-Lendutan Analisa Non-Linear untuk Squat Wall Tipe 1 dan Tipe 2

Lampiran 2. *Modal Participating Mass Ratios* (Gedung 1)

Lampiran 3. *Modal Participating Mass Ratios* (Gedung 2)

Lampiran 4. *Modal Participating Mass Ratios* (Gedung 3)



## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Squat wall* umumnya digunakan pada *low-rise building* dan lantai dasar dari *high-rise building*, seperti dinding *basement*, dimana tujuan dari penempatan *squat wall* adalah menahan gaya lateral seperti gempa yang diterima oleh sistem struktur. Pada saat terjadi kerusakan yang disebabkan oleh gempa, sering kali ditemukan bahwa faktor penyebab kerusakan tersebut adalah penggunaan desain elastis, dimana struktur dianggap tidak akan mengalami perubahan properti seperti kekakuan, redaman, dan sebagainya. Hal ini tidak sesuai dengan kenyataannya, karena properti struktur akan berubah akibat pembebanan yang diberikan, e.g. nilai kekakuan turun akibat retak. Tetapi desain elastis umum digunakan pada masa lampau karena *engineer* mengalami kesulitan dalam memprediksi perubahan properti yang akan dialami struktur. Namun, seiring dengan perkembangan teknologi dalam bidang rekayasa struktur, perilaku non-linear mulai bisa diprediksi dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu memodelkan material dengan lebih detail.

Walaupun analisa non-linear sudah bisa dilakukan, dewasa ini masih banyak *engineer* yang memilih untuk menggunakan analisa linear karena relatif lebih mudah dan cepat. Untuk mengakomodasi pilihan tersebut, beberapa peraturan mengeluarkan nilai faktor modifikasi/reduksi agar analisa linear yang digunakan mampu mencerminkan perubahan properti struktur yang mungkin terjadi. Untuk reduksi kekakuan pada dinding geser, SNI 03-2847-2002 dan ACI 318-05 menetapkan nilai reduksi sebesar 0.7 sedangkan FEMA 356 menetapkan nilai reduksi sebesar 0.8. Faktor modifikasi ini sendiri dapat diaplikasikan pada beberapa parameter kekakuan yang bersesuaian dengan gaya dalam yang terjadi ketika dinding dibebani. Pada prakteknya, hanya beberapa parameter kekakuan yang harus direduksi pada saat mendesain dinding geser berukuran ramping (*shear wall*).

Melihat adanya perbedaan dalam nilai faktor reduksi yang dikeluarkan, penulis ingin mengevaluasi nilai faktor reduksi yang telah ada dan menentukan

nilai mana yang paling tepat serta menganalisa apakah parameter kekakuan yang paling berpengaruh adalah sama untuk *shear wall* dan *squat wall*. Hal ini penting dilakukan karena Indonesia merupakan salah satu negara rawan gempa sehingga desain dari setiap elemen bangunan yang berfungsi menahan gempa harus dilakukan sebaik mungkin.

Indonesia terletak di atas 3 lempeng utama dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Pergerakan ke-3 lempeng tersebut mengakibatkan Indonesia menjadi negara rawan gempa karena pusat gempa bumi ada pada perbatasan antar lempeng. Wajar apabila Indonesia pernah mengalami gempa bumi berkekuatan 7.6 Skala Richter. Dalam 3 tahun terakhir, terjadi beberapa gempa besar seperti gempa bumi Mentawai 7.2 SR (2010), gempa bumi Biak 7.1 SR (2010), gempa bumi Sinabang 7.2 SR (2010), dan gempa bumi Padang 7.6 SR (2009).

## 1.2 Tujuan Penulisan

- Mengevaluasi nilai faktor modifikasi kekakuan serta mencari parameter kekakuan yang paling berpengaruh pada *squat wall* dengan cara menganalisa perbedaan antara diagram beban-lendutan yang dianalisa secara linear dengan memasukkan faktor modifikasi dan dianalisa secara non-linear.
- Menganalisa penggunaan *flat slab* sebagai sistem penahan gaya lateral atau sistem penahan gaya gravitasi pada wilayah gempa kuat dengan cara mendesain gedung sesuai dengan ACI 318-05.

## 1.3 Metode Penelitian

### a. Penelusuran literatur

Penulis mempelajari dasar teori dari analisa non-linear serta hasil uji kekuatan yang telah dilakukan pada *squat wall*. Sumber berasal dari buku, jurnal, dan tugas akhir yang berkaitan.

### b. Modelisasi *squat wall*

Penulis memodelkan *squat wall* secara linear dan non-linear. Permodelan non-linear akan dilakukan dengan memodelkan dinding sebagai elemen *layered shell* dan mendiskretisasi dinding menjadi elemen-elemen yang lebih kecil.

- c. Evaluasi nilai faktor reduksi kekakuan.  
Penulis akan membandingkan diagram beban-lendutan dari analisa linear dan non-linear untuk mengevaluasi nilai faktor reduksi kekakuan. Selain itu penulis juga akan menganalisa parameter kekakuan mana yang berpengaruh pada *squat wall*.
- d. Mengaplikasikan sistem *squat wall* pada bangunan dengan sistem *flat slab* pada wilayah gempa kuat.  
Penulis akan mengaplikasikan nilai faktor reduksi kekakuan yang telah dievaluasi dalam desain bangunan dengan sistem struktur dinding penumpu, dimana dinding geser didesain untuk memikul gaya lateral dan elemen struktur lainnya didesain sebagai sistem penahan gaya gravitasi.
- e. Analisa dan Kesimpulan  
Pada tahap ini akan ditampilkan evaluasi dari tahap-tahap yang telah dilakukan pada bab sebelumnya.

#### 1.4 Ruang Lingkup Pembahasan

- a. Pembahasan masalah dalam penelitian ini adalah dinding geser dengan rasio tinggi terhadap panjang ( $h_w/l_w$ )  $\leq 2$  (*squat wall*).
- b. Analisa non-linear akan dilakukan dengan mendiskretisasi dinding menjadi beberapa elemen (metode elemen hingga) dan penggunaan elemen *layered shell*, dimana material yang digunakan akan diperbolehkan untuk berdeformasi secara non-linear. Sedangkan analisa non-linear melalui uji laboratorium akan dilakukan dengan pengumpulan data dari uji laboratorium yang pernah dilakukan.
- c. Pembebanan pada bangunan terbatas pada beban statik dan beban dinamik, tidak akan dilakukan sampai bangunan mengalami keruntuhan (*pushover*).

#### 1.5 Sistematika Penulisan

##### Bab 1 Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang, tujuan, metode penulisan, dan ruang lingkup pembahasan dari penelitian pada skripsi ini.

##### Bab 2 Tinjauan Pustaka

Pada bab ini dijelaskan mengenai teori yang mendukung penelitian ini, meliputi: definisi dinding geser, analisa struktur secara linear, analisa struktur



secara non-linear, perilaku dinding geser terhadap beban lateral, pengaruh pengekangan pada beton bertulang, dan ketentuan umum dalam perencanaan struktur bangunan gedung.

### Bab 3 Metode Penelitian

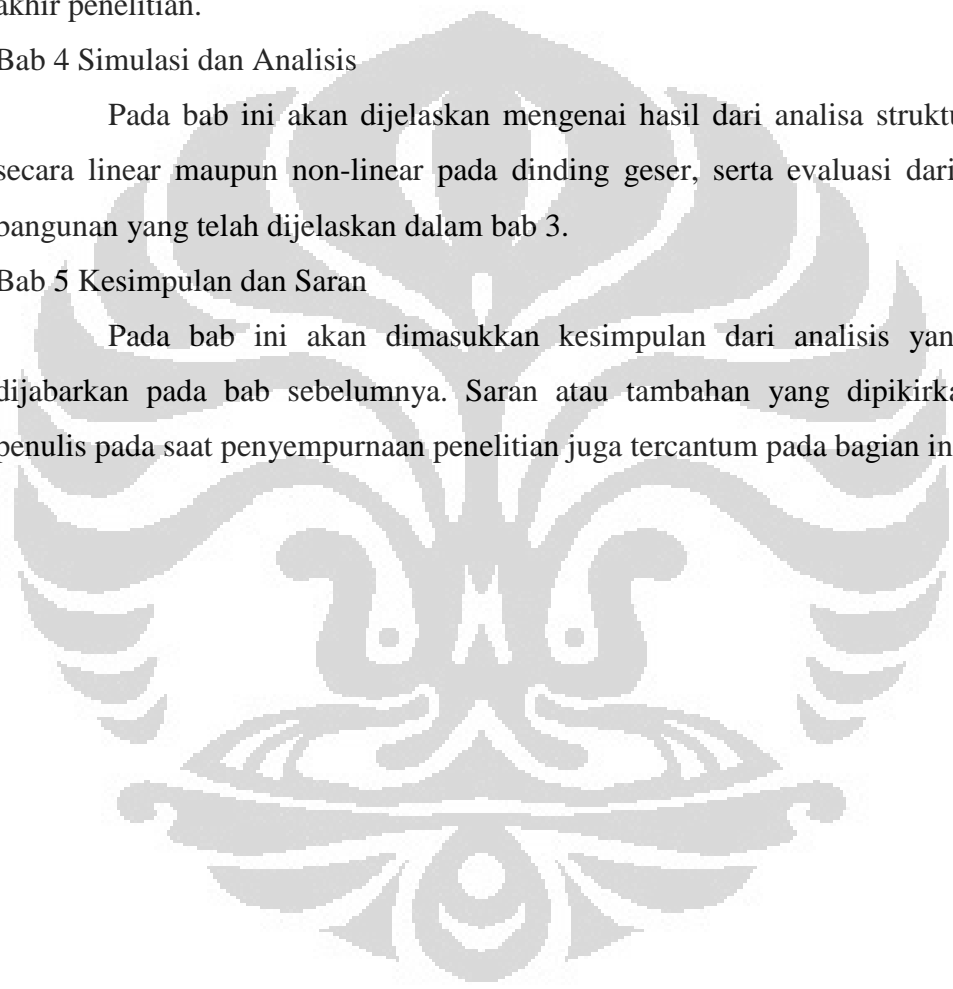
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai alur berpikir dari penelitian ini, penjelasan mengenai properti *squat wall* dan material yang digunakan, analisa dengan program SAP2000, serta data bangunan yang akan didesain pada tahap akhir penelitian.

### Bab 4 Simulasi dan Analisis

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari analisa struktur, baik secara linear maupun non-linear pada dinding geser, serta evaluasi dari desain bangunan yang telah dijelaskan dalam bab 3.

### Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini akan dimasukkan kesimpulan dari analisis yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya. Saran atau tambahan yang dipikirkan oleh penulis pada saat penyempurnaan penelitian juga tercantum pada bagian ini.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Dinding Geser

Dinding geser (*shear wall*) adalah “blok kantilever tipis” yang langsing vertikal, digunakan untuk menahan gaya lateral. Dapat berbentuk persegi panjang, *box core*. Biasanya diletakkan di sekeliling lift, tangga, elevator, atau shaft guna menahan beban lateral dan gravitasi tanpa mengganggu penyusunan ruang dalam bangunan. Dinding geser bidang, misalnya pada bangunan yang memanjang, hanya berfungsi baik dalam menahan beban lateral dalam bidangnya saja. Sehingga diperlukan dinding geser lain dalam arah tegak lurus nya. Sedangkan pada bangunan dengan bentuk denah yang persegi akan lebih baik menggunakan dinding geser penampang tertutup, karena cukup efisien dalam menahan torsi, momen lentur, dan geser pada semua arah.

Sering kali, satu baris vertikal dari pintu, jendela terletak pada dinding geser sehingga membagi dinding geser tersebut menjadi dua bagian dinding yang saling dihubungkan dengan balok pada tiap lantai, disebut sebagai dinding geser berantai (*coupled shear wall*). Jika dinding pemikul (*bearing wall*) harus berfungsi sebagai balok penahan angin (*wind bracing*) atau sebagai dinding geser untuk menahan gempa, penggunaan prategang akan menguntungkan dalam menahan lentur pada bangunan tinggi.

Dinding geser yang mempunyai rasio tinggi terhadap panjang ( $h_w/l_w$ )  $\leq 2$  disebut sebagai *squat wall*, sedangkan dinding geser dengan rasio tinggi terhadap panjang ( $h_w/l_w$ )  $\geq 2$  disebut sebagai *shear wall*. Adanya perbedaan antara rasio menunjukkan bahwa perhitungan kekuatan dinding, baik dalam menahan momen lentur maupun gaya geser, berbeda satu sama lain. Pada *squat wall*, pendekatan yang digunakan mirip dengan *deep beam*, dimana momen lentur dan gaya geser harus dianalisa secara bersamaan karena keduanya saling berhubungan.

Pada umumnya *squat wall* menahan beban gravitasi dalam jumlah yang sangat kecil. Hal ini merupakan salah satu keuntungan dari penggunaan *squat wall*, dimana beban gravitasi dapat diabaikan. Kebutuhan tulangan lentur juga lebih kecil karena telah tersedia *internal lever arm* yang relatif besar. Akan lebih

praktis apabila tulangan pada arah vertikal didistribusikan sepanjang dinding secara seragam.

Untuk pembebanan gempa, kehilangan daktilitas tidak akan begitu besar karena 2 alasan. Pertama, kebutuhan tulangan yang kecil biasanya telah terpenuhi dengan menggunakan jumlah minimum (0.25%), menyediakan penyerapan energi yang cukup pada zona plastis. Kedua, *squat wall* yang didetailkan sebagaimana mestinya mampu menyerap hampir semua energi gempa pada zona elastis walaupun jumlah perkuatan tidak besar.

## 2.2 Analisa Struktur Secara Linear

Analisa linear adalah salah satu pendekatan yang digunakan dalam menganalisa sebuah struktur. Pada analisa linear, nilai dari properti struktur, seperti kekakuan, redaman, dan sebagainya, dianggap konstan. Selain itu, analisa selalu dimulai dari kondisi awal, dimana tidak ada pembebanan dari analisa sebelumnya. Respon dari struktur, seperti *displacement*, tegangan, dan reaksi mempunyai nilai yang proporsional dengan besarnya pembebanan yang diberikan.

Namun, pada kenyataannya nilai dari properti struktur tidaklah konstan karena adanya perubahan yang mungkin terjadi seperti retak dan sebagainya. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, beberapa peraturan memperkenalkan nilai reduksi/faktor modifikasi untuk mengurangi nilai properti struktur.

Gaya-gaya aksial terfaktor,  $P_u$ , momen terfaktor  $M_1$  dan  $M_2$  pada ujung-ujung kolom dan bilamana diperlukan simpangan relatif antar lantai,  $\Delta_0$ , harus dihitung dengan analisis elastik rangka orde satu, dimana besaran-besaran penampang ditentukan dengan memperhatikan pengaruh beban aksial, adanya retak sepanjang bentang komponen struktur, dan pengaruh durasi beban. Sebagai alternatif, nilai-nilai besaran di bawah ini boleh digunakan untuk komponen-komponen struktur pada bangunan yang ditinjau.

Modulus Elastisitas	$E_c$
Momen Inersia	
Balok	$0,35 I_g$
Kolom	$0,70 I_g$
Dinding - Tak Retak	$0,70 I_g$
- Retak	$0,35 I_g$
Pelat datar dan slab datar	$0,25 I_g$

Tabel 2.1. Faktor Reduksi Kekakuan  
SNI 03-2847-2002 dan ACI 318-05

Component	Flexural Rigidity	Shear Rigidity	Axial Rigidity
Beams—nonprestressed	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	—
Beams—prestressed	$E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	—
Columns with compression due to design gravity loads $\geq 0.5 A_g f_c$	$0.7E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	$E_cA_g$
Columns with compression due to design gravity loads $\leq 0.3 A_g f_c$ or with tension	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	$E_cA_s$
Walls—uncracked (on inspection)	$0.8E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	$E_cA_g$
Walls—cracked	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	$E_cA_g$
Flat Slabs—nonprestressed	See Section 6.5.4.2	$0.4E_cA_g$	—
Flat Slabs—prestressed	See Section 6.5.4.2	$0.4E_cA_g$	—

Note: It shall be permitted to take  $I_g$  for T-beams as twice the value of  $I_g$  of the web alone. Otherwise,  $I_g$  shall be based on the effective width as defined in Section 6.4.1.3. For columns with axial compression falling between the limits provided, linear interpolation shall be permitted. Alternatively, the more conservative effective stiffnesses shall be used.

Tabel 2.2. Faktor Reduksi Kekakuan  
FEMA 356

Kekakuan EI yang digunakan dalam analisis elastik yang dipakai untuk desain kekuatan harus mewakili kekakuan komponen struktur sesaat sebelum kegagalan. Hal ini adalah sangat benar untuk analisis orde kedua yang harus memprediksi defleksi lateral pada saat beban mendekati ultimit. Nilai EI harus tidak secara total didasarkan pada hubungan momen-kurvatur untuk penampang yang terbebani paling tinggi disepanjang panjang setiap komponen struktur. Sebagai gantinya, nilai EI tersebut harus sesuai dengan hubungan momen-rotasi ujung untuk komponen struktur yang lengkap.

### 2.3 Analisa Struktur Secara Non-Linear

Selain analisa linear, pendekatan lain yang data digunakan dalam menganalisa struktur adalah analisa non-linear. Berbeda dengan analisa linear, nilai properti struktur tidak konstan namun berubah berdasarkan waktu,

deformasi, dan pembebanan. Sifat non-linear ini bergantung pada properti yang dimodelkan, besarnya pembebanan, dan parameter yang digunakan dalam analisa. Oleh karena itu, respon dari analisa non-linear tidak proporsional dengan pembebanan yang diberikan. Untuk memodelkan sifat non-linear ini, digunakanlah metode elemen hingga.

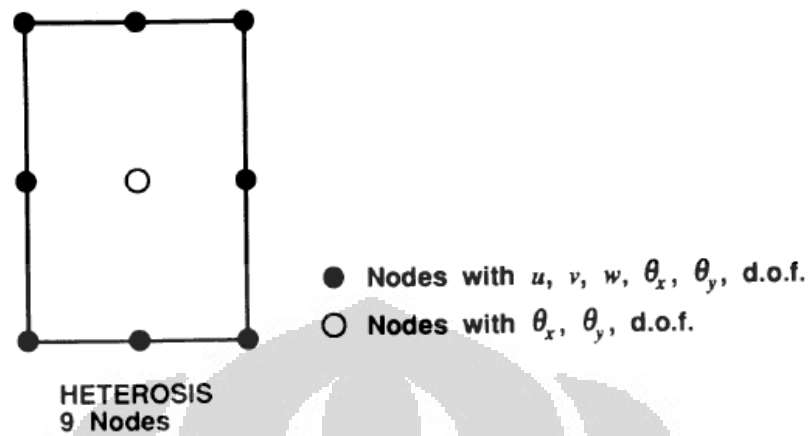
Metode elemen hingga merupakan metode model matematis yang digunakan untuk mendapatkan perkiraan solusi numerik dari persamaan diferensial parsial dan persamaan integral. Kedua persamaan ini berfungsi memprediksi respon sistem fisik yang dipengaruhi secara eksternal. Elemen hingga non-linear diperkenalkan untuk analisa pada kerangka beton bertulang, dimana keretakan yang terjadi pada beton akan dianggap sebagai material *orthotropic* melalui pendekatan *smearred rotating crack*.

Salah satu cara untuk menentukan respon berupa retaknya struktur beton bertulang diwakilkan dengan memformulasikan model sederhana berupa *modified compression field theory* (MCFT) (Vecchio and Collins 1986). Teori ini didasarkan pada *smearred rotating crack idealization* yang mempertimbangkan keseimbangan (*equilibrium*) dan persamaan kompatibilitas (*compatibility condition*) dengan rata-rata tegangan dan rata-rata regangan sebagai ketentuan. Permodelan ini mampu menentukan retak pada beton akibat gaya tekan, mencerminkan efek berkurangnya gaya tekan yang berkaitan dengan retak pada arah lintang, serta retak pada beton akibat gaya tarik, dan mencerminkan efek bertambahnya kekakuan interaksi ikatan dengan tulangan.

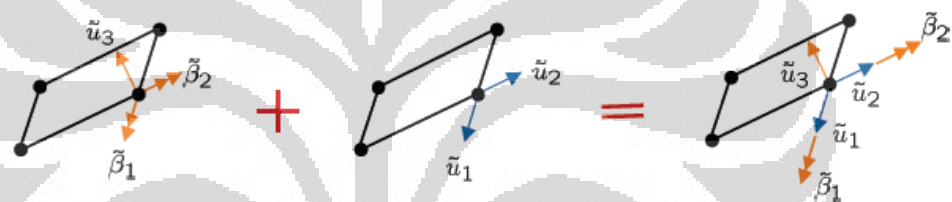
Dalam pemilihan spesifikasi tipe elemen, terdapat beberapa syarat yang harus dipertimbangkan, yaitu: elemen dipilih berdasarkan perumusan elastisitas tiga dimensi, memungkinkan permodelan dalam kerangka tebal dan tipis, dan elemen tersebut harus dapat menerima implementasi model *smearred rotating crack* untuk beton bertulang berdasarkan MCFT. Dari ketiga persyaratan yang diberikan, dipilih sebuah perumusan tipe elemen heterosis *degenerate isoparametric*.

Elemen *quadratic heterosis* yang digunakan mempunyai 9 titik nodal dengan 42 derajat kebebasan (gambar 2.1). Masing-masing 8 sisi elemen masing-masing mempunyai lima derajat kebebasan; tiga translasi dan dua rotasi. Nodal

ke-9, merupakan nodal pada titik pusat elemen yang hanya mempunyai dua derajat kebebasan yaitu rotasi.

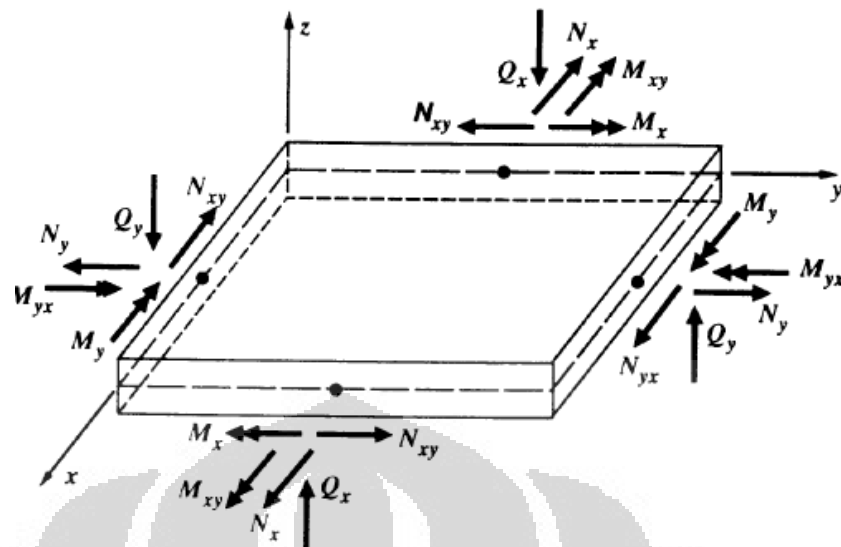


Gambar 2.1. Sembilan Nodal pada Elemen Heterosis



Gambar 2.2. DOF pada Setiap Nodal

Integrasi dari masing-masing ketebalan elemen, akan menghasilkan nilai yang akurat dari material yang non-linear, dimana hasil yang diperoleh berasal dari formulasi *layered-element*. Kerangka elemen dibagi kedalam beberapa lapisan, yang setiap lapisannya mempunyai satu titik integrasi pada kedalaman tengah permukaan. Lapisan beton dan lapisan perkuatan tulangan akan dimodelkan secara terpisah. Lapisan tulangan sebelumnya dimodelkan dalam satu bidang akan tetapi dibagi terpisah.



Gambar 2.3. Sistem Acuan dalam Lapisan Elemen

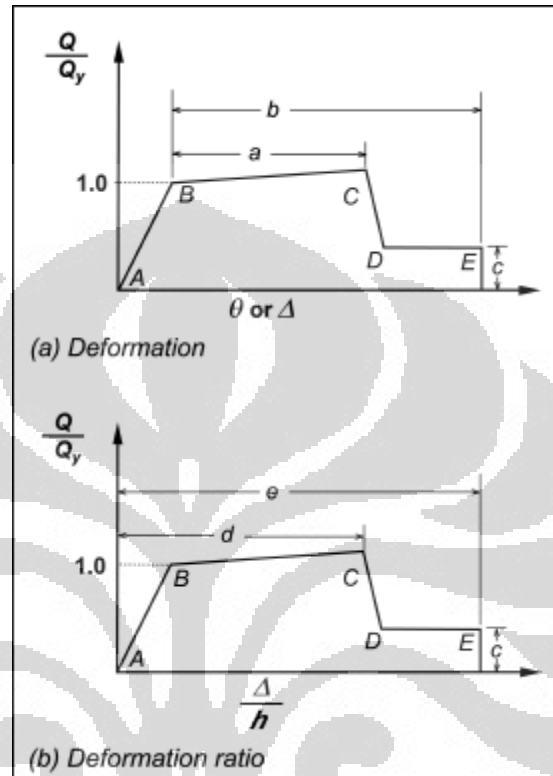
Sehingga regangan-lendutan yang diwakili oleh matrix B dan kekakuan material yang diwakili oleh matrix D akan dihitung pada titik tengah setiap lapisan dan semua titik integrasi pada bidang dari lapisan. Nilai resultan tegangan diperoleh dari integrasi yang sesuai dengan komponen tegangan di atas ketebalan elemen. Kekakuan elemen yang diwakili dengan matriks k dan gaya dalam yang diwakili dengan vektor f akan dihitung sesuai dengan cara standar. Solusi algoritma yang digunakan pada analisis nonlinear merupakan prosedur iterasi langsung dengan menggunakan variabel *secant moduli*. Dalam setiap langkah iterasinya, pembebanan penuh diaplikasikan terhadap struktur dan total perpindahannya dihitung berdasarkan;

$$K_i d_{i+1} = R$$

Dimana  $K_i$  merupakan matriks kekakuan untuk sumbu global yang diperoleh dalam iterasi ke-i;  $d_{i+1}$  merupakan vektor perpindahan yang dihitung pada iterasi i+1; dan R merupakan beban yang diberikan. Solusi algoritma ini memuat material nonlinear dan perilaku geometri nonlinear. Dalam setiap iterasi, regangan-perpindahan matriks B, kekakuan material matriks D dan kekakuan elemen matriks k dievaluasi ulang sesuai dengan regangan lokal dan kondisi perpindahan. Pembebanan penuh lalu diaplikasikan kembali, dan proses ini diulang sampai tingkat yang diinginkan dari titik temu diperoleh.

## 2.4 Perilaku Dinding Geser Terhadap Beban Lateral

Pendekatan berikut dapat digunakan dalam menganalisa perilaku inelastik dinding geser yang dibebani secara lateral dengan momen lentur dominan.



Gambar 2.4. Generalisasi Hubungan Tegangan-Regangan pada Beton  
FEMA 356

Sumbu- $x$  gambar 2.4 dianggap sebagai rotasi terhadap zona sendi plastis yang berada pada ujung elemen seperti yang tergambar pada gambar 2.5. Rotasi titik B pada gambar 2.1 berhubungan dengan nilai  $\theta_y$ , dan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\theta_y = \left( \frac{M_y}{E_c I} \right) I_p$$



Dimana

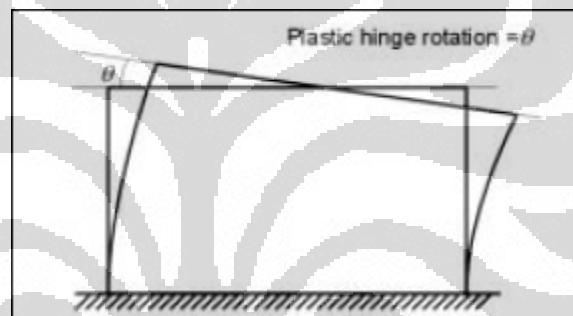
$M_y$  = Kapasitas momen leleh dari dinding geser

$E_c$  = Concrete modulus

$I$  = Momen Inersia

$I_p$  = Asumsi panjang sendi plastis

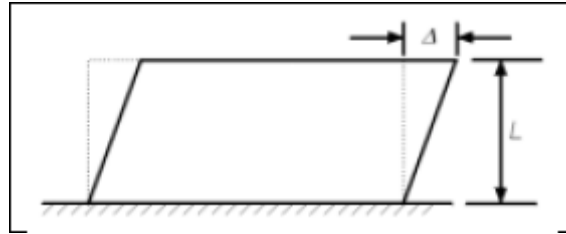
Dalam analisa dinding geser, nilai  $I_p$  yang digunakan adalah 0.5 dikalikan dengan tinggi *flexural depth*, namun lebih kecil dari tinggi lantai pada dinding geser, dan lebih kecil dari 50% panjang elemen pada segmen dinding.



Gambar 2.5. Rotasi Sendi Plastis pada Dinding Geser dengan Respon Inelastik yang Didominasi Momen Lentur

FEMA 356

Sedangkan pendekatan berikut digunakan dalam menganalisa perilaku inelastik dinding geser yang dibebani secara lateral dengan gaya geser dominan. Gambar 2.4(b) dapat digunakan, dengan sumbu- $x$  sebagai pergeseran lateral. Pada dinding geser, pergeseran ini merupakan pergeseran lantai seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. *Story Drift* pada Dinding Geser dengan Respon Inelastik yang Didominasi Gaya Geser

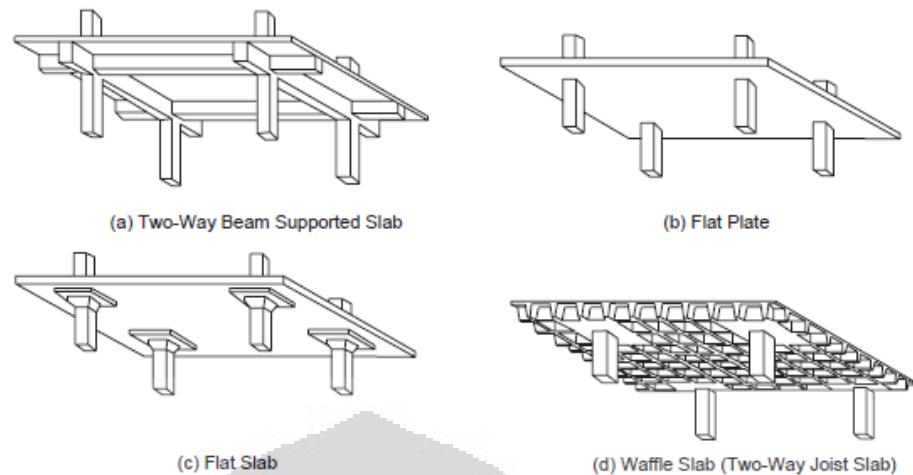
FEMA 356

## 2.5 Sistem Pelat Lantai

Pelat dengan balok sebagai tumpuan pada keempat sisinya merupakan sistem pelat yang awalnya digunakan pada struktur beton bertulang. Pada sistem ini, apabila rasio bentang panjang terhadap bentang pendek lebih besar atau sama dengan 2, transfer beban akan didominasi oleh *bending* pada bentang pendek dan pelat akan bekerja sebagai pelat 1 arah. Apabila rasio mendekati angka 1, beban akan ditransfer oleh *bending* pada kedua arah ortogonal dan pelat dianggap bekerja sebagai pelat 2 arah.

Seiring dengan perkembangan waktu dan teknologi, penggunaan balok mulai berkurang secara perlahan, menghasilkan sistem pelat yang menumpu langsung pada kolom (*flat plate*). Penggunaan *flat plate* 2 yang sangat efisien dan ekonomis menjadikan sistem ini sebagai sistem pelat yang umum digunakan untuk gedung bertingkat seperti motel, hotel, asrama, apartemen, dan rumah sakit. Dibandingkan dengan sistem lain, proses konstruksi *flat plate* memakan waktu dan biaya pekerja yang lebih sedikit karena sistem ini menggunakan *formwork* dan penyusunan tulangan yang paling sederhana. Selain itu penggunaan *flat plate* juga memberikan keuntungan ekonomis lainnya, seperti mengurangi tinggi lantai dikarenakan penggunaan sistem lantai yang tipis.

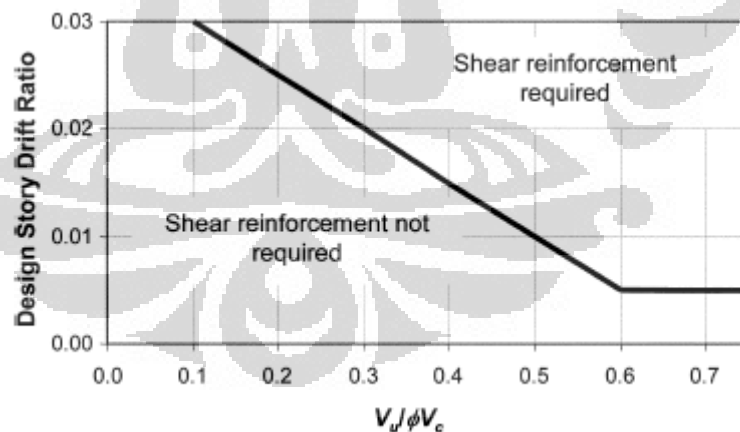
Mengingat bahwa penggunaan *flat plate* biasanya dibatasi oleh gaya geser di sekitar kolom, apabila pelat harus menanggung beban yang berat atau mempunyai bentang yang panjang, perlu dilakukan penebalan pada area sekitar kolom (*drop panel*). *Flat plate* yang dilengkapi dengan *drop panel* disebut juga dengan *flat slab*.



Gambar 2.7. Tipe Sistem Pelat 2 Arah

ACI 318-05

Sesuai dengan pasal 21.2.1.4 pada ACI 318-05, elemen struktur dari bangunan yang berada pada wilayah gempa kuat dapat digunakan untuk memikul gaya yang diberikan oleh gempa. Sedangkan elemen yang tidak didesain untuk memikul gaya gempa harus didesain berdasarkan pasal 21.11. *Flat plate/flat slab* sendiri diatur dalam pasal 21.11.5 yang menyatakan bahwa tulangan geser harus disediakan pada area sambungan kolom-pelat, kecuali rasio *drift* lantai tidak melampaui 0.005 dan  $[0.035-0.05(V_u/\phi V_c)]$ .



Gambar 2.8. Ilustrasi Pasal 21.11.5

ACI 318-05

## 2.6 Ketentuan Umum dalam Perencanaan Struktur Bangunan Gedung

Berdasarkan SKBI-13.53.1987, Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, pengertian berbagai jenis beban yang harus

dipertimbangkan dalam perencanaan bangunan rumah dan gedung adalah sebagai berikut:

a. **Beban Mati**

Beban mati adalah berat dari semua bagian gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian, mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung itu.

b. **Beban Hidup**

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

Menurut SNI 03-1726-2002, pengertian berbagai beban nominal adalah sebagai berikut:

a. **Beban Mati Nominal**

Beban mati nominal adalah beban yang berasal dari berat semua bagian dari gedung yang bersifat tetap, termasuk dinding dan sekat pemisah, kolom, balok, lantai, atap, penyelesaian, mesin, dan peralatan yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari gedung, yang nilai seluruhnya adalah sedemikian rupa sehingga probabilitasnya untuk dilampauinya dalam kurun waktu tertentu terbatas pada suatu persentase tertentu. Pada umumnya, probabilitas beban tersebut untuk dilampaui adalah dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun dan ditetapkan sebesar 10%. Namun demikian, beban mati rencana yang biasa ditetapkan dalam standar-standar pembebanan struktur gedung dapat dianggap sebagai beban mati nominal.

b. **Beban Hidup Nominal**

Beban hidup nominal adalah beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung tersebut, baik akibat beban yang berasal dari orang maupun dari barang yang dapat berpindah atau mesin dan peralatan serta komponen yang tidak merupakan bagian yang tetap dari gedung, yang nilai seluruhnya adalah sedemikian rupa sehingga probabilitas untuk

dilampauinya dalam kurun waktu tertentu terbatas pada suatu persentase tertentu. Pada umumnya, probabilitas beban tersebut untuk dilampaui adalah dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun dan ditetapkan sebesar 10%. Namun demikian, beban hidup rencana yang biasa ditetapkan dalam standar-standar pembebanan struktur gedung dapat dianggap sebagai beban hidup nominal.

c. **Beban Gempa Nominal**

Beban gempa nominal adalah beban gempa yang nilainya ditentukan oleh 3 hal, yaitu oleh besarnya probabilitas beban itu dilampaui dalam kurun waktu tertentu, oleh tingkat daktilitas struktur yang mengalaminya, dan oleh kekuatan lebih yang terkandung dalam struktur tersebut. Menurut standar ini, peluang dilampauinya beban tersebut dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun adalah 10% dan gempa yang menyebabkannya disebut gempa rencana (dengan periode ulang 500 tahun), tingkat daktilitas struktur gedung dapat ditetapkan sesuai dengan kebutuhan, sedangkan faktor kuat lebih  $f_1$  untuk struktur gedung secara umum nilainya adalah 1.6. Dengan demikian, beban gempa nominal adalah beban akibat pengaruh gempa rencana yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama dalam struktur gedung, kemudian direduksi dengan faktor kuat lebih  $f_1$ .

d. **Kombinasi Pembebanan**

Dengan menyatakan kekuatan ultimit suatu struktur gedung dan pembebanan ultimit pada struktur gedung itu berturut-turut sebagai berikut

$$R_u = \phi R_n$$

$$Q_u = \gamma Q_n$$

Dimana

$\phi$  = Faktor reduksi kekuatan

$R_n$  = Kekuatan nominal struktur gedung

$\gamma$  = Faktor beban

$Q_n$  = Pembebanan nominal pada struktur gedung

Berdasarkan perencanaan beban dan kuat terfaktor (LRFD) harus dipenuhi persyaratan pada keadaan batas ultimit sebagai berikut:

$$R_u \geq Q_u$$

Dengan menyatakan beban mati nominal sebagai  $D_n$ , beban hidup nominal sebagai  $L_n$ , dan beban gempa nominal sebagai  $E_n$ , maka perencanaan beban dan kuat terfaktor pada struktur gedung adalah sebagai berikut

Untuk kombinasi pembebanan gravitasi

$$Q_u = \gamma_D D_n + \gamma_L L_n$$

Untuk kombinasi pembebanan gravitasi dan gempa

$$Q_u = \gamma_D D_n + \gamma_L L_n + \gamma_E E_n$$

Berikut adalah persamaan untuk mencari kombinasi pembebanan gravitasi dan gempa untuk perencanaan bangunan beton bertulang sesuai SNI 03-2847-2002.

$$Q_u = 1.2DL + 1.0LL \pm 1.0E$$

$$Q_u = 0.9DL \pm 1.0E$$

## 2.7 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung

### 2.7.1 Ketentuan Umum

#### a. Gempa Rencana dan Kategori Gedung

Untuk berbagai kategori gedung, bergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan gedung selama umur gedung dan umur gedung yang diharapkan, pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan ( $I$ ) menurut persamaan berikut:

$$I = I_1 I_2$$

Dimana

$I_1$  = Faktor keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa selama umur gedung.

$I_2$  = Faktor keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut.

Kategori Gedung	Faktor Keutamaan		
	$I_1$	$I_2$	$I$
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan, dan perkantoran	1.0	1.0	1.0
Monumen dan bangunan monumental	1.0	1.6	1.6
Gedung pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, usat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio, dan televise	1.6	1.0	1.6
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun	1.6	1.0	1.6
Cerobong, tangki di atas menara	1.5	1.0	1.5

Tabel 2.3. Faktor Keutamaan Berbagai Kategori Gedung

## b. Daktilitas Struktur Bangunan dan Pembebanan Gempa Nominal

Faktor daktilitas gedung ( $\mu$ ) adalah rasio antara simpangan maksimum struktur akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan ( $\delta_m$ ) dan simpangan struktur gedung saat terjadinya pelepasan pertama ( $\delta_y$ ), yaitu

$$1.0 \leq \mu = \delta_m / \delta_y \leq \mu_m$$

$\mu = 1.0$  adalah nilai faktor daktilitas untuk struktur gedung yang berperilaku elastik penuh, yaitu gedung yang mengalami kondisi di ambang keruntuhan saat terjadinya pelepasan pertama, sedangkan  $\mu_m$  adalah nilai faktor daktilitas maksimum yang dapat dikerahkan oleh sistem struktur gedung yang bersangkutan.

Taraf Kinerja Struktur Gedung	$\mu$	R
Elastik Penuh	1.0	1.6
Daktail Parsial	1.5	2.4
	2.0	3.2
	2.5	4.0
	3.0	4.8
	3.5	5.6
	4.0	6.4
	4.5	7.2
5.0	8.0	
Daktail Penuh	5.3	8.5

Tabel 2.4. Parameter Daktilitas Struktur Gedung

## c. Wilayah Gempa dan Spektrum Respons

Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 wilayah gempa, wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 dengan wilayah kegempaan paling tinggi. Pembagian wilayah gempa ini berdasarkan percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk setiap wilayah gempa ditetapkan sebagai berikut

Wilayah Gempa	Percepatan Puncak Batuan Dasar (g)	Percepatan Puncak Muka Tanah $A_0$ (g)			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0.03	0.04	0.05	0.08	Diperlukan
2	0.10	0.12	0.15	0.20	Evaluasi
3	0.15	0.18	0.23	0.30	Khusus di
4	0.20	0.24	0.28	0.34	Setiap
5	0.25	0.28	0.32	0.36	Lokasi
6	0.30	0.33	0.36	0.38	

Tabel 2.5. Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka Tanah untuk Masing-Masing Wilayah Gempa Indonesia

Untuk menentukan pengaruh gempa rencana pada struktur gedung, yaitu berupa gaya geser dasar nominal statik ekuivalen pada struktur beraturan,



gaya geser dasar nominal sebagai respon dinamik ragam pertama pada struktur gedung tidak beraturan, dan gaya geser dasar nominal sebagai respon dinamik seluruh ragam yang berpartisipasi pada struktur gedung tidak beraturan untuk masing-masing wilayah gempa ditetapkan spektrum respon gempa rencana C-T. Dalam gambar, C adalah Faktor Respon Gempa yang dinyatakan dalam percepatan gravitasi dan T adalah waktu getar alami struktur gedung yang dinyatakan dalam detik. Untuk  $T = 0$ , nilai C menjadi sama dengan  $A_0$  dengan  $A_0$  adalah percepatan puncak muka tanah yang tergantung pada jenis tanah.

Dengan menetapkan respon percepatan maksimum  $A_m$  sebesar  $A_m = A_0$  dan waktu getar alami sudut  $T_c$  sebesar 0.5 detik, 0.6 detik, dan 1.0 detik untuk jenis tanah berturut-turut tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak, maka faktor respon gempa C ditentukan oleh persamaan sebagai berikut:

Untuk  $T \leq T_c$

$$C = A_m$$

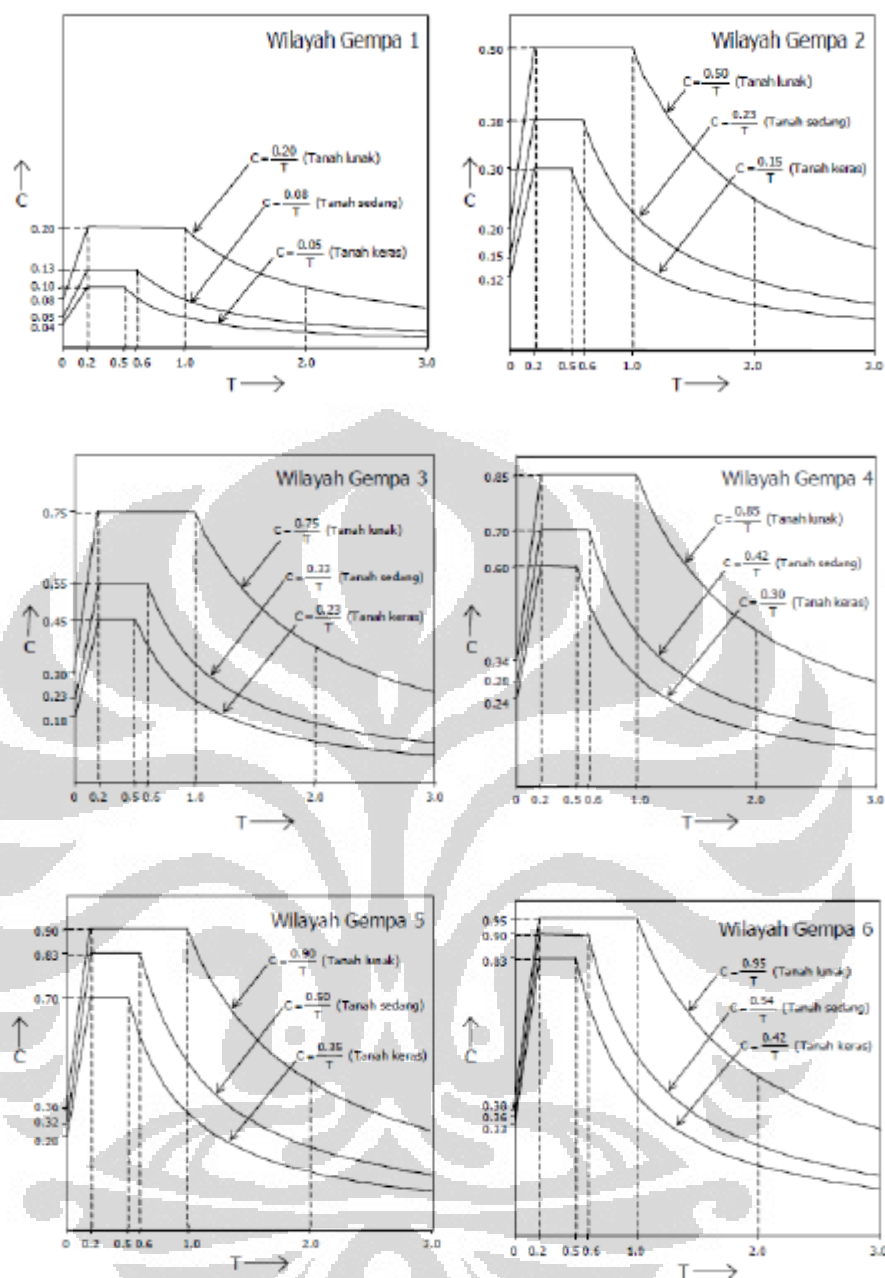
Untuk  $T > T_c$

$$C = \frac{A_r}{T}$$

Dimana  $A_r = A_m T_c$

Wilayah Gempa	Tanah Keras $T_c = 0.5$ detik		Tanah Sedang $T_c = 0.6$ detik		Tanah Lunak $T_c = 1.0$ detik	
	$A_m$	$A_r$	$A_m$	$A_r$	$A_m$	$A_r$
1	0.10	0.05	0.13	0.08	0.20	0.20
2	0.30	0.15	0.38	0.23	0.50	0.50
3	0.45	0.23	0.55	0.33	0.75	0.75
4	0.60	0.30	0.70	0.42	0.85	0.85
5	0.70	0.35	0.83	0.50	0.90	0.90
6	0.83	0.42	0.90	0.54	0.95	0.95

Tabel 2.6. Spektrum Respon Gempa Rencana



Gambar 2.9. Respon Spektrum Wilayah Kegempaan Indonesia untuk Berbagai Jenis Tanah

## 2.7.2 Perencanaan Umum Struktur Gedung

### a. Struktur Penahan Beban Gempa

Semua unsur struktur gedung, baik bagian dari subsistem struktur gedung maupun bagian dari sistem struktur gedung seperti rangka (portal), dinding geser, kolom, balok, lantai, lantai tanpa balok, dan kombinasinya harus diperhitungkan memikul pengaruh gempa rencana. Pengabaian pemikulan

pengaruh gempa rencana oleh salah satu atau lebih kolom atau subsistem struktur yang disebutkan hanya diperkenankan jika partisipasi pemikulan pengaruh gempanya kurang dari 10%.

b. Lantai Tingkat sebagai Diafragma

Lantai tingkat atap beton dan sistem lantai dengan ikatan suatu struktur gedung dapat dianggap sangat kaku dalam bidangnya dan karenanya dapat dianggap bekerja sebagai diafragma terhadap beban gempa horizontal. Lantai tingkat, atap beton, dan sistem lantai dengan ikatan suatu struktur gedung yang tidak kaku dalam bidangnya karena mengandung lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat, akan mengalami deformasi dalam bidangnya akibat beban gempa horizontal.

c. Eksentrisitas Pusat Massa terhadap Pusat Rotasi Lantai

Apabila pusat massa dan pusat rotasi ada suatu lantai tingkat suatu gedung tidak berhimpit maka akan terjadi eksentrisitas yang dapat menghasilkan momen torsi. Jarak antara kedua titik yang tidak berhimpit itulah yang disebut eksentrisitas teoritis ( $e$ ). namun dalam kenyataannya eksentrisitas dapat menyimpang jauh dari eksentrisitas teoritis. Penyebab terjadinya penyimpangan ini ada dua, yang pertama adalah akibat pembesaran dinamik akibat perilaku struktur non-linear pada tahap pembebanan gempa inelastik. Sedangkan penyebab kedua adalah karena adanya *torsional ground motion*, deviasi dari nilai kekakuan yang diasumsikan, dan perbedaan tingkat degradasi kekakuan dari komponen penahan gaya lateral selama respon inelastik dari bangunan, serta perbedaan nilai kekuatan leleh baja, nilai beban mati, nilai distribusi beban hidup. Untuk itulah dalam analisis harus ditinjau eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) berdasarkan SNI 03-1726-2002, apabila ukuran horizontal denah struktur bangunan pada lantai tingkat itu diukur tegak lurus pada arah pembebanan gempa, dinyatakan dalam  $b$ , maka eksentrisitas rencana harus ditentukan sebagai berikut.

Untuk  $0 < e \leq 0.3b$ :

$$e_d = 1.5e + 0.05b$$

Atau

$$e_d = e - 0.05b$$

Dipilih yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur bangunan yang ditinjau.

Untuk  $e > 0.3b$ :

$$e_d = 1.33e + 0.1b$$

Atau

$$e_d = 1.17e - 0.1b$$

Dipilih yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur bangunan yang ditinjau.

Eksentrisitas ini ditinjau dalam dua arah utama bangunan. Dengan demikian titik tangkap gaya gempa statik ekuivalen di setiap lantai digeser untuk memperhitungkan eksentrisitas rencana tersebut, sebelum dilakukan analisa statik.

d. Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental ( $T_1$ ) dari struktur gedung harus dibatasi, tergantung pada koefisien  $\zeta$  untuk Wilayah Gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkatnya ( $n$ ) menurut persamaan berikut.

$$T_1 < \zeta n$$

Wilayah Gempa	$\zeta$
1	0.20
2	0.19
3	0.18
4	0.17
5	0.16
6	0.15

Tabel 2.7. Koefisien  $\zeta$  yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung

e. Arah Pembebanan Gempa

Untuk mensimulasikan arah pengaruh Gempa Rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan

pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada utama pembebanan tadi dengan efektivitas hanya 30%.

### 2.7.3 Perencanaan Struktur Gedung Beraturan

#### a. Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen

Struktur gedung beraturan dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur tersebut, berupa beban gempa nominal statik ekuivalen. Namun demikian, apabila diinginkan hasil yang lebih akurat beban gempa nominal tersebut juga dapat diperoleh dari analisa dinamis. Gaya geser nominal statik ekuivalen ( $V$ ) yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung menurut persamaan:

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t$$

Dimana:

$V$  = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen

$C_1$  = Nilai faktor respon gempa yang diperoleh dari spektrum respon gempa rencana untuk waktu getar alami fundamental  $T_1$  dalam satuan  $g$  (percepatan gravitasi)

$I$  = Faktor keutamaan gedung

$R$  = Faktor reduksi gempa

$W_t$  = Massa total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai

Gaya geser dasar nominal ( $V$ ) harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen  $F_i$  yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke- $i$  menurut persamaan sebagai berikut

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V$$

Dimana:

$F_i$  = Gempa nominal statik ekuivalen yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke- $i$

$W_i$  = Massa lantai tingkat ke- $i$ , termasuk beban hidup yang sesuai

$z_i$  = Ketinggian lantai tingkat ke- $i$  diukur dari taraf penjepitan lateral

$n$  = Nomor lantai tingkat paling atas

b. Waktu Getar Alami Fundamental

Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat ditentukan dengan analisa getar bebas tiga dimensi dengan bantuan program computer yang menggunakan cara yang sama dengan *eigen value analysis*.

#### 2.7.4 Perencanaan Struktur Gedung Tidak Beraturan

a. Ketentuan untuk Analisis Respon Dinamik

Struktur gedung tidak beraturan yang memenuhi ketentuan dalam Pasal 4.2.1 SNI 03-1726-2002, pengaruh gempa rencana terhadap struktur harus ditentukan melalui analisa respon dinamik 3 dimensi. Untuk mencegah terjadinya respon struktur gedung terhadap pembebanan gempa yang dominan dalam rotasi, hasil analisa getar bebas 3 dimensi harus dominan dalam arah translasi paling tidak dalam ragam pertama (fundamental)

Nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respon ragam pertama. Bila respon dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal ( $V$ ), maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan melalui persamaan:

$$V \geq 0.8V_l$$

Dimana  $V_l$  = Gaya geser dasar nominal sebagai respon ragam yang pertama terhadap pengaruh gempa rencana menurut persamaan sebelumnya.

b. Analisa Dinamik Ragam Respon Spektrum

Perhitungan respon dinamik struktur gedung yang tidak beraturan maupun beraturan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dapat dilakukan dengan metode analisa ragam respon spektrum menggunakan Respon Spektrum Gempa Rencana sesuai wilayah kegempaan dan jenis tanah struktur itu berada, dimana nilai ordinatnya dikalikan faktor koreksi  $gI/R$ . Dalam hal ini, jumlah ragam yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai minimal 90%.

Penjumlahan respon ragam untuk struktur yang memiliki waktu getar alami yang berdekatan harus dilakukan dengan metode Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination* atau CQC). Waktu getar alami ini harus dianggap berdekatan apabila nilainya kurang dari 15%. Untuk struktur yang mempunyai waktu getar alami berjauhan, penjumlahan respon ragam dapat dilakukan dengan metode Akar Jumlah Kuadrat (*Square Root Sum Squares* atau SRSS).

Gaya geser dasar nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisa ragam spektrum respon pada suatu arah tertentu harus dikalikan nilainya dengan faktor skala sebesar

$$\frac{0.8V_l}{V} \geq 1$$

Apabila nilai  $V < 0.8V_l$ , setelah dikalikan faktor skala tersebut maka gaya geser dasar nominal itulah yang menjadi beban gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana untuk gedung tersebut yang akan digunakan untuk perancangan atau pemeriksaan struktur.

#### 2.7.5 Kinerja Struktur Gedung

##### a. Kinerja Batas Layan

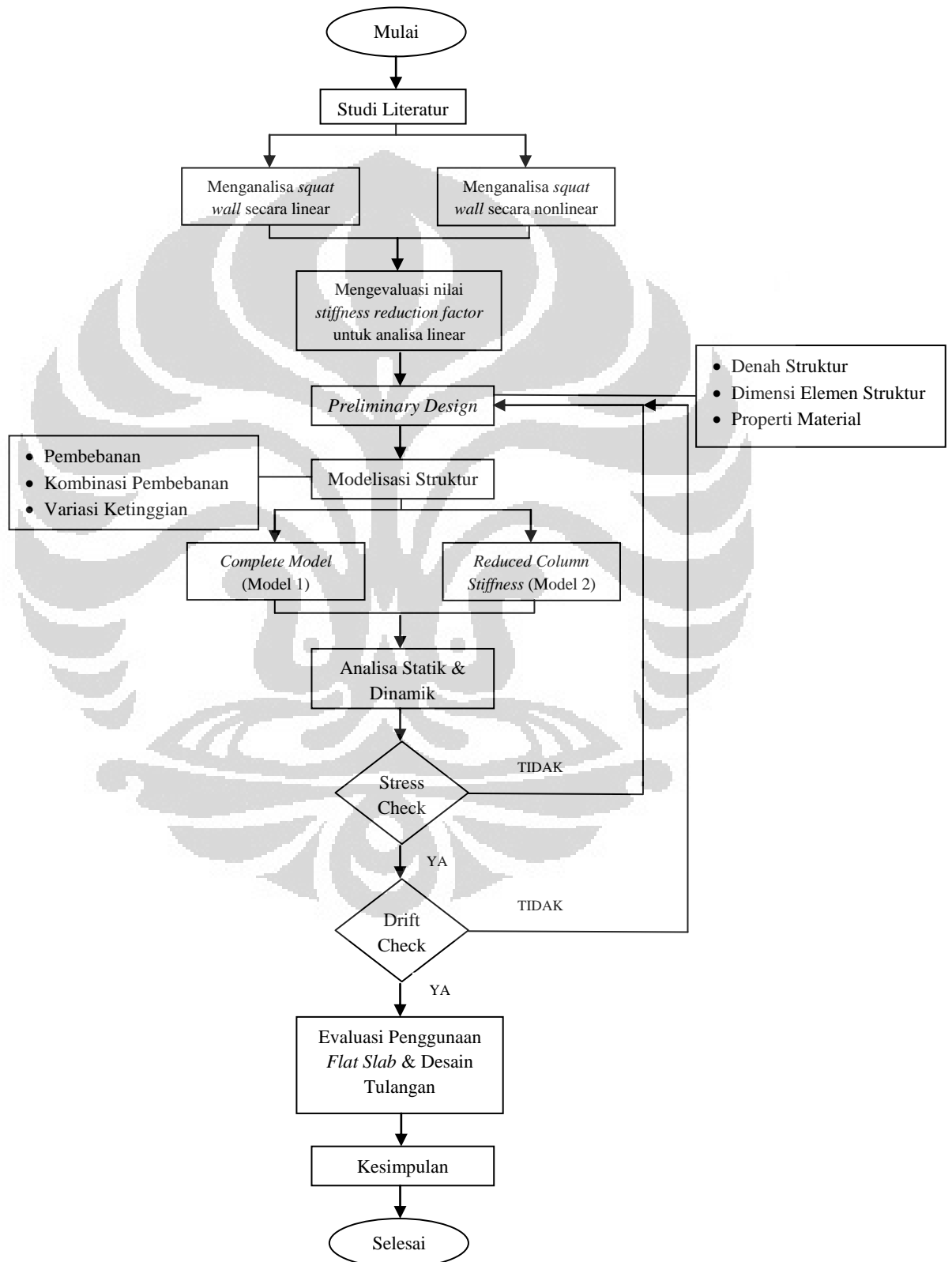
Kinerja batas layan struktur gedung dibatasi oleh simpangan antar tingkat (*drift*) akibat pengaruh gempa rencana. Simpangan antar tingkat ini dihitung dari simpangan struktur gedung yang telah dibagi Faktor Skala. Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan, simpangan antar tingkat tidak boleh melampaui  $0.03/R$  kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, bergantung pada nilai mana yang terkecil.

##### b. Kinerja Batas Ultimit

Kinerja batas ultimit ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan. Simpangan dan simpangan antar tingkat harus dihitung dari simpangan akibat pembebanan gempa nominal dikalikan faktor pengali  $\zeta = 0.7R$  (untuk struktur beraturan). Simpangan antar tingkat dalam kondisi ultimit ini tidak boleh melebihi 0.02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan.

## BAB 3 METODE PENELITIAN DAN PERMODELAN

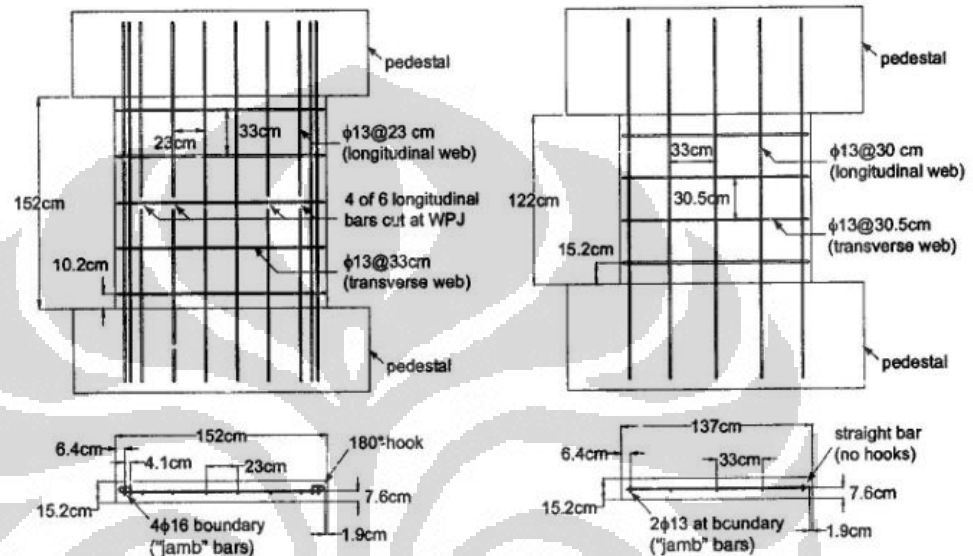
### 3.1 Alur Berpikir





### 3.2 Properti Squat Wall

Terdapat 2 jenis dinding geser yang dimodelkan dalam skripsi ini, yaitu dinding berukuran 1520 x 1520 mm dan dinding berukuran 1370 x 1370 mm. Kedua dinding mempunyai tebal sama yaitu 152 cm. Besar rasio  $h_w/l_w$  adalah 1 dan 0.9 sehingga dinding masuk ke dalam kategori *squat wall* ( $h_w/l_w \leq 2$ ). Berikut adalah detail penulangan dari kedua dinding yang akan dimodelkan.



Gambar 3.1. Detail Penulangan a) *Squat Wall* Tipe 1; b) *Squat Wall* Tipe 2

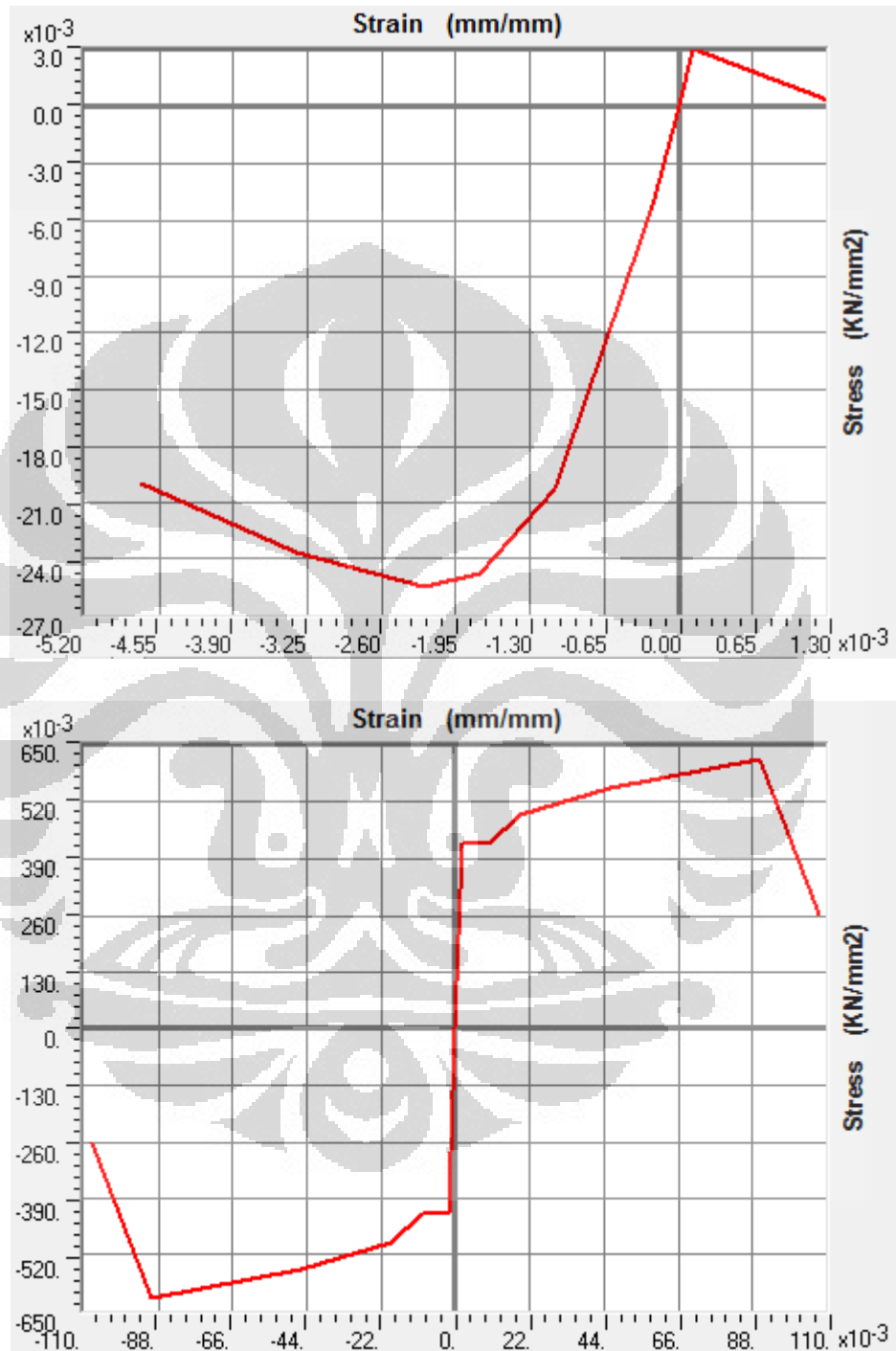
Sedangkan material yang digunakan dalam permodelan terlampir dalam tabel berikut

Spesimen	Tulangan Transversal	Tulangan Longitudinal	Properti Material [MPa]			
			$f'_c$	$f_y$	$E_c$	$E_s$
<i>Squat Wall</i> Tipe 1	φ13 – 33 cm	φ13 – 23 cm	25.5	424	23733.8	200000
<i>Squat Wall</i> Tipe 2	φ13 – 30.5 cm	φ13 – 33 cm	31.4	424	26336.8	200000

Tabel 3.1. Properti Material *Squat Wall*

Untuk analisa non-linear, perilaku non-linear dari material diatur dengan mendefinisikan kurva *stress-strain* dari material yang digunakan. Untuk material beton sendiri, kurva yang digunakan adalah kurva milik Hognestad yang

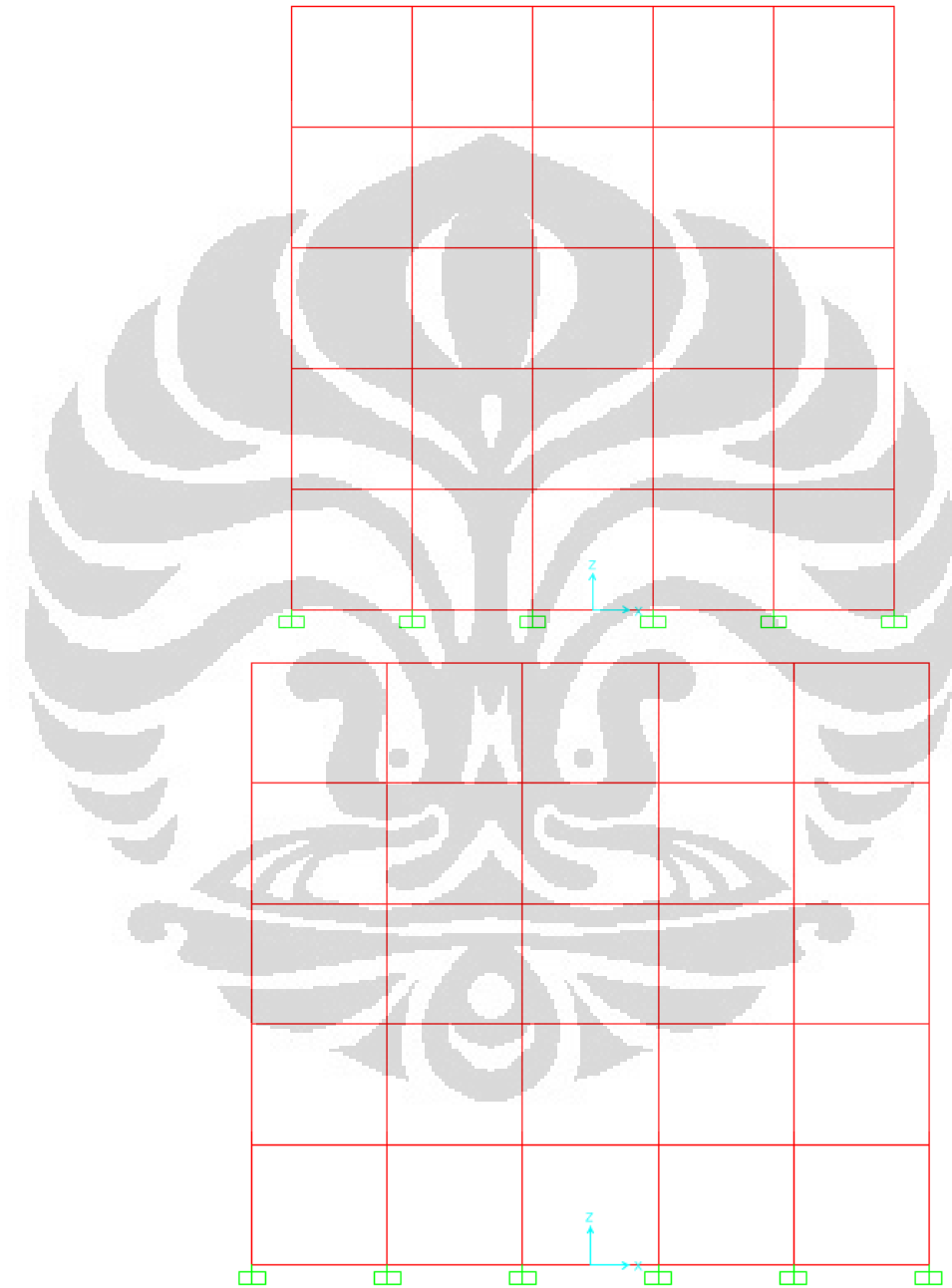
memperkirakan bahwa bentuk kurva sebelum *stress* maksimum adalah parabola kuadratik. Berikut adalah kurva *stress-strain* dari material yang digunakan



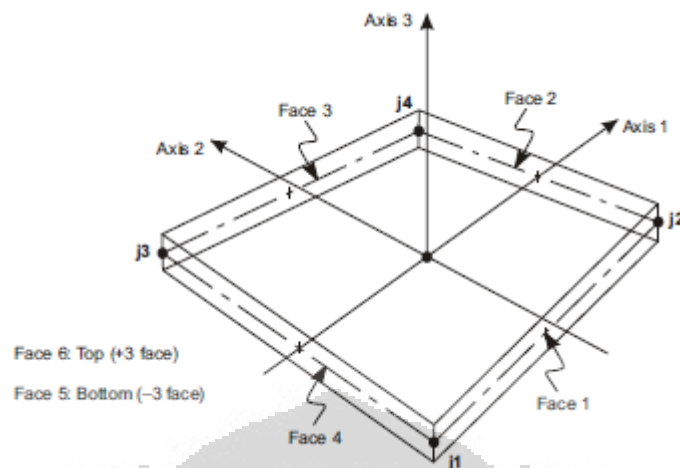
Gambar 3.2. Kurva *Stress-Strain* Material untuk a) Beton; dan b) Tulangan

### 3.3 Permodelan dengan Program SAP2000

*Squat wall* akan dimodelkan pada program SAP2000 dengan menggunakan elemen *shell*. Pada elemen *shell*, gaya hanya bekerja pada nodal yang berada di ujung sehingga dinding geser harus dibagi menjadi beberapa elemen *shell* (diskretisasi).

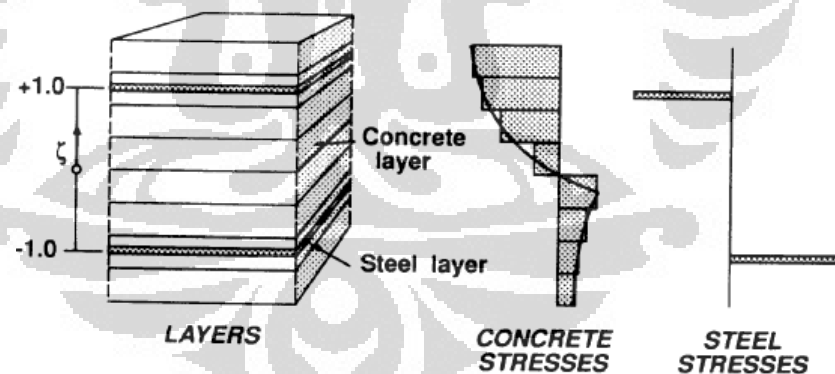


Gambar 3.3. Permodelan dalam Program SAP2000 untuk a) *Squat Wall* Tipe 1; b) *Squat Wall* Tipe 2



Gambar 3.4. Elemen *Shell* dengan 4 Nodal

Elemen *shell* sendiri terbagi menjadi 2 jenis yaitu *homogenous shell* dan *layered shell*. Untuk analisa linear akan digunakan *homogenous shell* sedangkan analisa non-linear akan dilakukan dengan *layered shell*. Elemen ini dipilih karena sifat non-linear dari material hanya dapat dimodelkan apabila elemen *shell* dibagi menjadi beberapa lapis, dimana setiap lapis merupakan material yang ada pada dinding geser tersebut.



Gambar 3.5. Lapisan pada Elemen *Layered Shell*

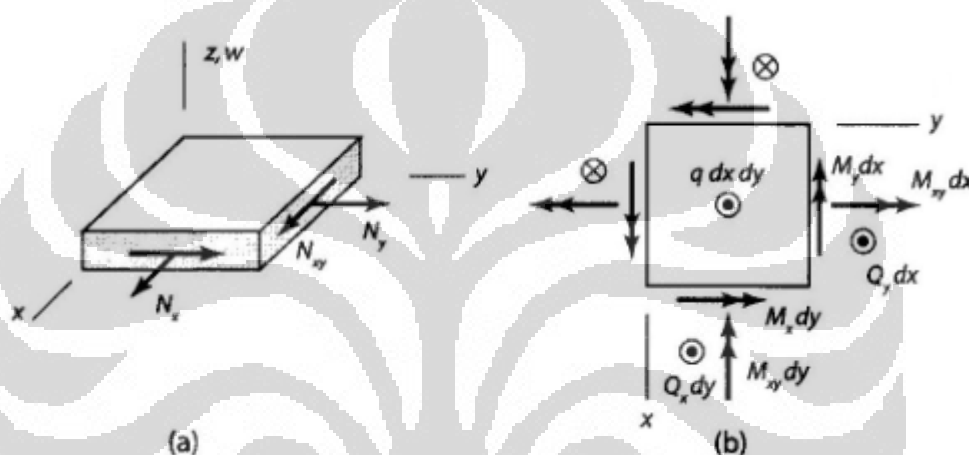
Permodelan lapisan untuk kedua jenis dinding geser pada program SAP2000 tersaji dalam tabel berikut

<i>Squat Wall Tipe 1</i>						
Nama <i>Layer</i>	Jarak [mm]	Tebal [mm]	Material	Perilaku Material		
				S11	S22	S12
Conc2	60.8	30.4	Beton	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear
Conc1	30.4	30.4	Beton	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear
ConcS	0	30.4	Beton	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear
Bar1	-6.5	0.402364	Tulangan	Nonlinear	Tidak Aktif	Nonlinear
Bar2	-19.5	0.577304	Tulangan	Nonlinear	Tidak Aktif	Nonlinear
Conc4	-30.4	30.4	Beton	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear
Conc5	-60.8	30.4	Beton	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear

<i>Squat Wall Tipe 2</i>						
Nama <i>Layer</i>	Jarak [mm]	Tebal [mm]	Material	Perilaku Material		
				S11	S22	S12
Conc2	60.8	30.4	Beton	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear
Conc1	30.4	30.4	Beton	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear
ConcS	0	30.4	Beton	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear
Bar1	-6.5	0.402364	Tulangan	Nonlinear	Tidak Aktif	Nonlinear
Bar2	-19.5	0.43518	Tulangan	Nonlinear	Tidak Aktif	Nonlinear
Conc4	-30.4	30.4	Beton	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear
Conc5	-60.8	30.4	Beton	Nonlinear	Nonlinear	Nonlinear

Pembebanan yang diberikan dalam permodelan untuk kedua jenis *squat wall* akan disesuaikan dengan uji laboratorium yang dilakukan oleh Leonardo M. Massone et al., dimana beban lateral akan diberikan secara statik non-linear pada puncak spesimen. Pembebanan dilakukan dengan lendutan sebagai kontrol dan dinding akan didorong sampai mengalami lendutan sebesar 200 mm. *Output* yang diharapkan dari permodelan ini adalah diagram beban-lendutan. Diagram beban-lendutan yang dianalisa secara non linear akan dibandingkan dengan diagram beban-lendutan yang dianalisa secara linear untuk mengevaluasi nilai faktor reduksi kekakuan yang tertera pada SNI 03-2847-2002/ACI 318-08 dan FEMA 356.

Setelah nilai faktor reduksi kekakuan dievaluasi, tahap selanjutnya adalah menganalisa parameter reduksi kekakuan mana yang paling berpengaruh pada *squat wall*. Pada elemen *shell*, faktor reduksi kekakuan dapat dikalikan pada 8 jenis parameter kekakuan, yaitu: parameter kekakuan untuk *membrane action* ( $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_{xy}$ ), biasanya terkait dengan gaya searah bidang, dan parameter kekakuan untuk *plate-bending action* ( $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_{xy}$ ,  $Q_x$ ,  $Q_y$ ), biasanya terkait dengan gaya tegak lurus bidang. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil analisa linear yang semua parameter kekakuannya direduksi dengan hasil analisa linear yang hanya beberapa parameter kekakuannya direduksi.

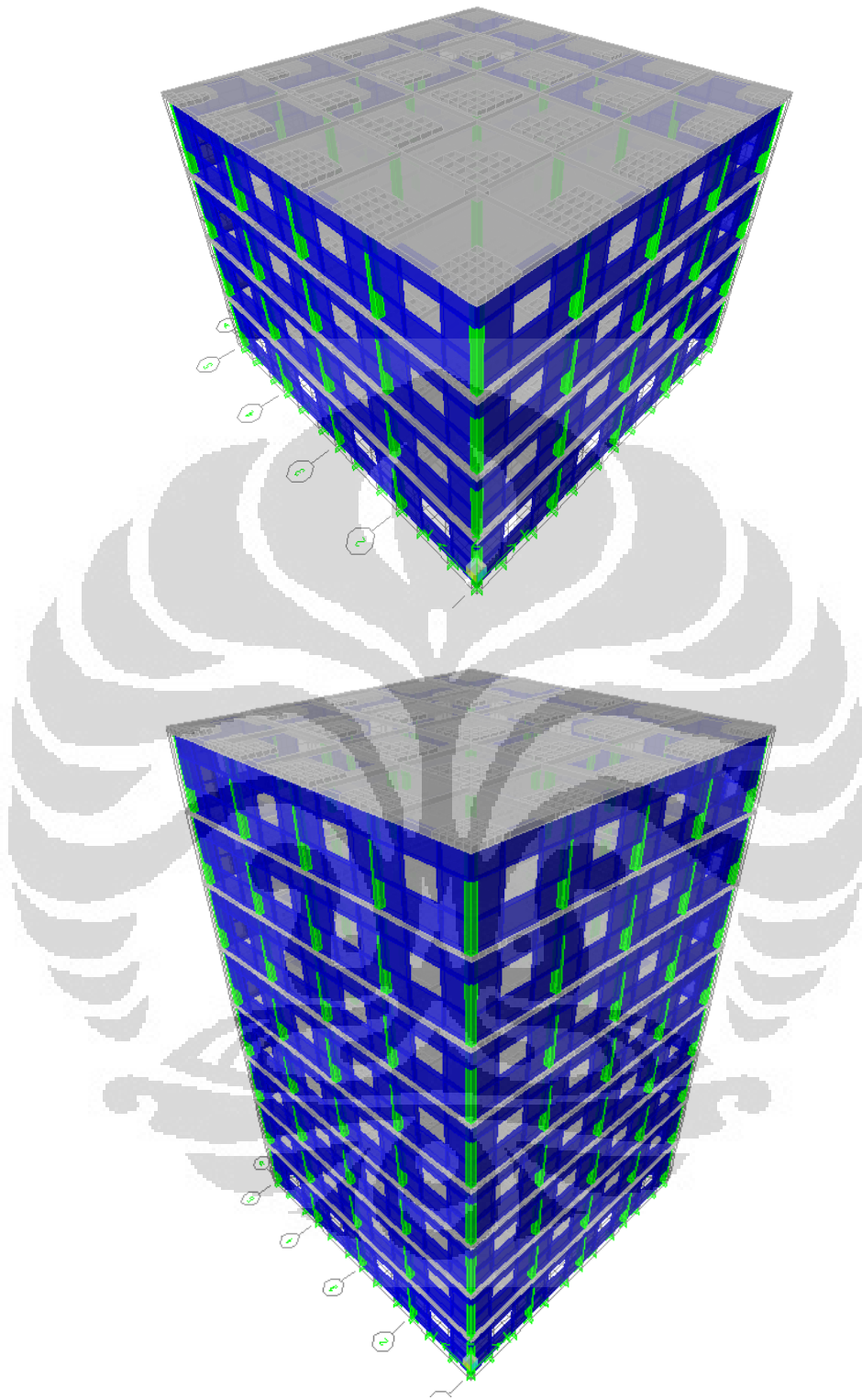


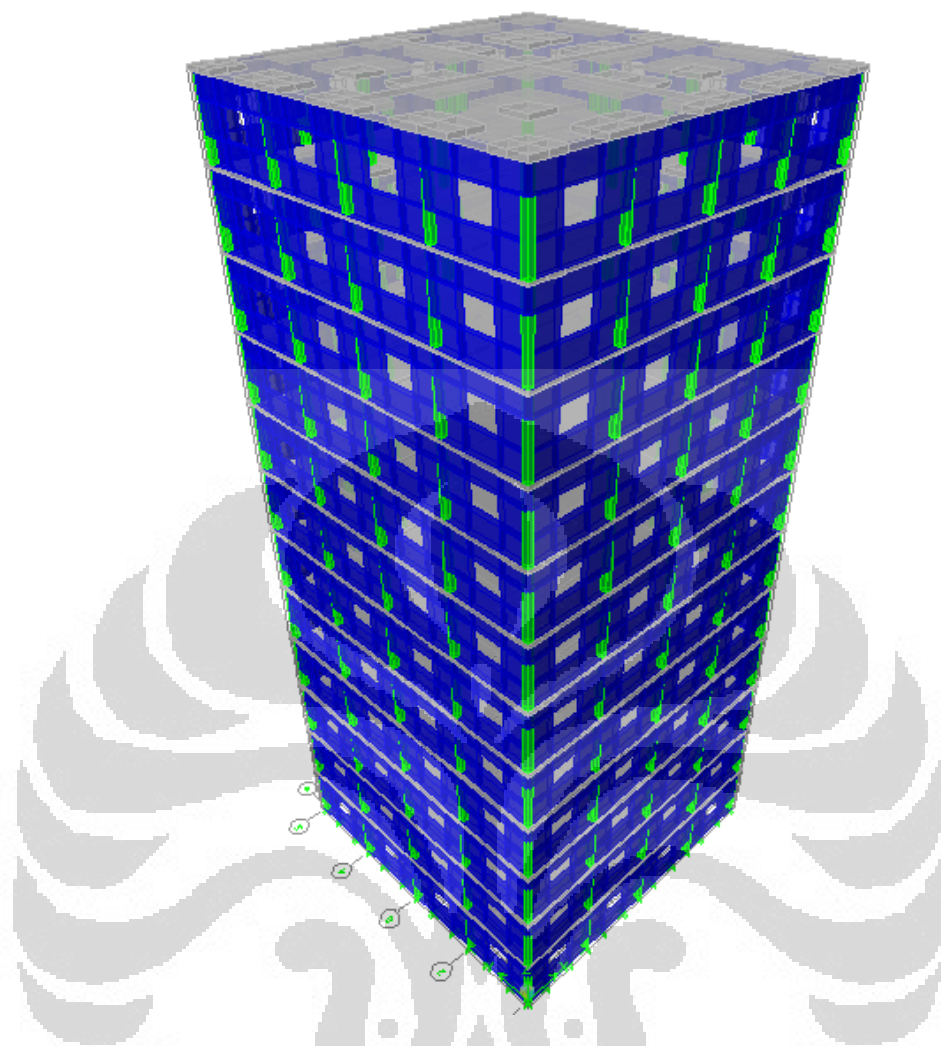
Gambar 3.6. Tegangan pada Elemen *Shell* Terkait Dengan (a) *Membrane Action*; dan (b) *Plate-Bending Action*

### 3.4 Aplikasi Faktor Reduksi Kekakuan pada Struktur Gedung

Hasil dari penelitian di atas akan diaplikasikan pada desain bangunan gedung dengan struktur beton bertulang. Sistem struktur yang akan digunakan adalah sistem dinding penumpu ( $R = 5$ ). Proses desain akan dibuat berdasarkan dengan peraturan SNI 03-2847-2002 dan ACI 318-08. Bangunan gedung yang akan didesain mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Gedung	Luas Bangunan	Jumlah Tingkat	Tinggi Bangunan
1	20 x 20 = 400 m <sup>2</sup>	4	14
2	20 x 20 = 400 m <sup>2</sup>	8	28
3	20 x 20 = 400 m <sup>2</sup>	12	42





Gambar 3.7. Permodelan pada Program ETABS untuk (a) Gedung 1; (b) Gedung 2; dan (c) Gedung 3

Pembebanan pada struktur mengacu pada Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, SKBI-1.3.53.1987. Tipe-tipe beban yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

a. Beban mati dan beban mati tambahan

Beban mati akan diperhitungkan secara otomatis dari program, setelah tiap dimensi dan properti penampang balok, pelat, kolom, dan dinding dimasukkan terlebih dahulu. Sedangkan beban mati tambahan muncul akibat berat dari elemen nonstruktural. Beban mati tambahan yang digunakan antara lain partisi dan penutup lantai ( $1.1 \text{ kN/m}^2$ ), mortar lantai ( $0.2 \text{ kN/m}^2$ ), serta beban pemasangan peralatan elektrik dan mekanikal ( $1 \text{ kN/m}^2$ ).

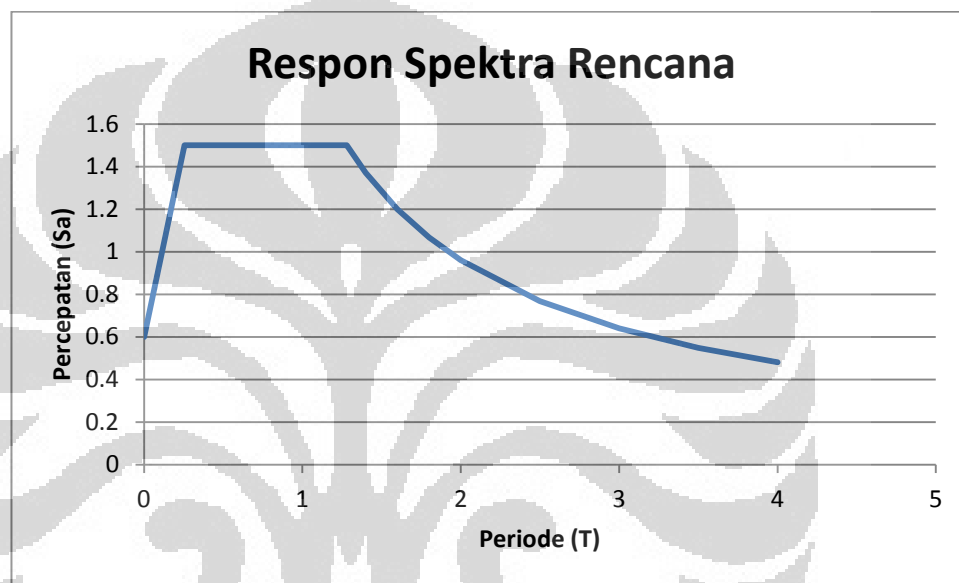


b. Beban hidup

Struktur dirancang untuk menerima beban hidup pada lantai sebesar  $2.5 \text{ kN/m}^2$  dan  $1 \text{ kN/m}^2$  untuk lantai atap.

c. Beban gempa

Beban gempa akan dihitung berdasarkan peraturan gempa RSNI 03-1726-201X dengan asumsi bangunan berada di wilayah gempa 6 dan jenis tanah lunak. Berdasarkan peta gempa, respon spektra yang digunakan adalah sebagai berikut



Gambar 3.8. Respon Spektra Rencana

Untuk perencanaan model struktur, akan diaplikasikan kombinasi pembebanan seperti yang tertera pada Tabel 3.3. Kombinasi pembebanan memperimbangkan beban gravitasi dan beban gempa dengan efek orthogonal pada model 3 dimensi. Untuk perencanaan detail penulangan *squat wall*, beban gempa yang diberikan adalah beban rencana sepenuhnya.

Pembebanan	Kombinasi
Beban Gravitasi	$U = 1.4DL$ $U = 1.2DL + 1.6LL$
Beban Gempa 100% $E_X + 30\% E_Y$	$U = 1.2DL + LL \pm E_X \pm 0.3E_Y$ $U = 0.9DL \pm E_X \pm 0.3E_Y$
Beban Gempa 30% $E_X + 100\% E_Y$	$U = 1.2DL + LL \pm 0.3E_X \pm E_Y$ $U = 0.9DL \pm 0.3E_X \pm E_Y$

Tabel 3.2. Kombinasi Pembebanan untuk Perancangan Stuktur

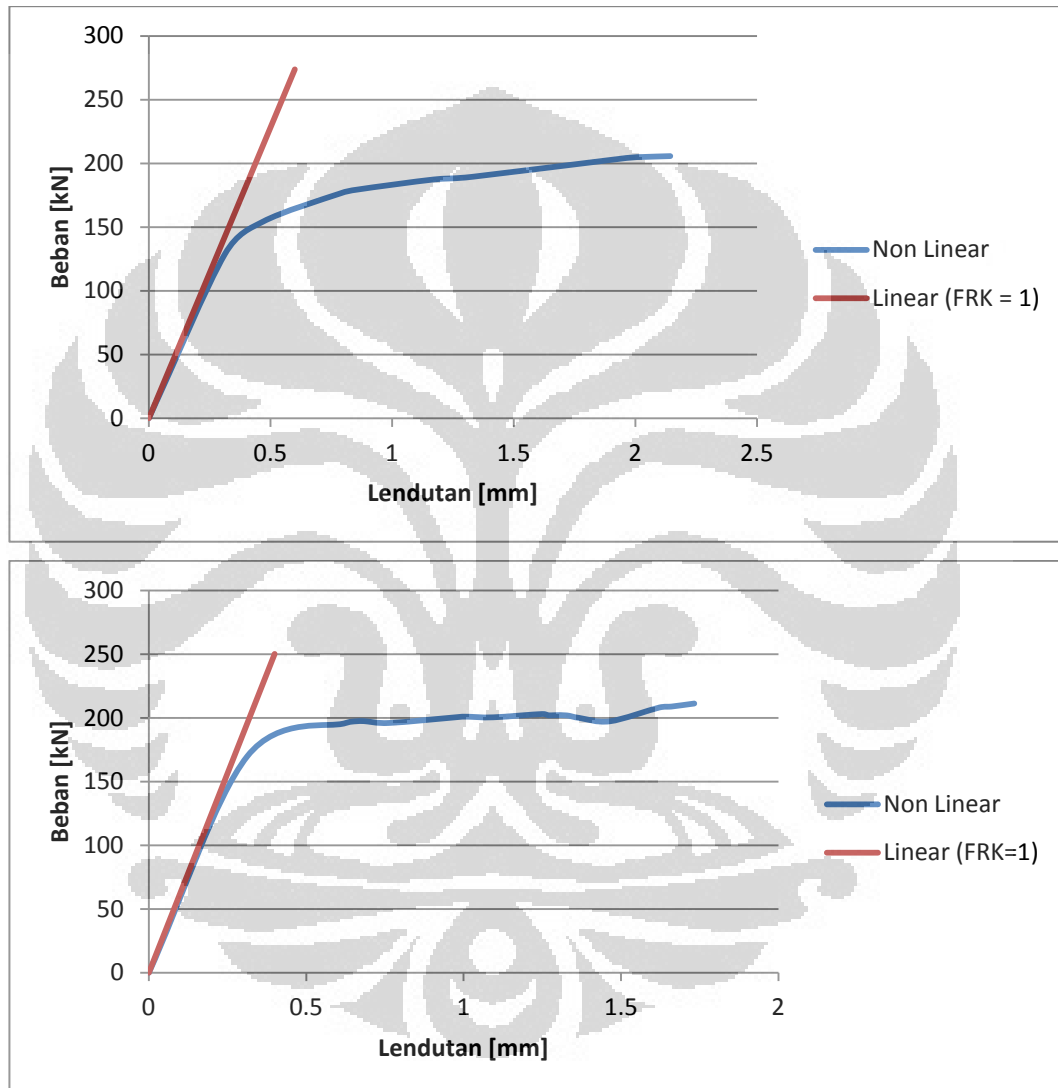
Pada program ETABS, setiap gedung akan dimodelkan menjadi 2, dimana perbedaan kedua model adalah sebagai berikut

Elemen Struktur	Model 1	Model 2
<b>Dinding geser</b>		
Elemen	<i>Shell</i>	<i>Shell</i>
Faktor Reduksi Kekakuan	0.7	0.7
<b>Kolom</b>		
Elemen	<i>Frame</i>	<i>Frame</i>
Faktor Reduksi Kekakuan	0.7	0.0001
<b>Pelat</b>		
Elemen	<i>Shell</i>	<i>Membrane</i>
Faktor Reduksi Kekakuan	0.25	0.25

*Output* yang diperoleh dari model 1 adalah periode getar alami dari bangunan atau *scale factor* untuk analisa respon spektrum. *Output* ini akan diolah sehingga menghasilkan beban gempa yang akan diberikan pada model kedua. Perencanaan penulangan dinding geser dan pelat akan dibuat berdasarkan *output* dari model ke-2, sedangkan perencanaan penulangan kolom akan dibuat berdasarkan *output* dari model ke-1.

## BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS

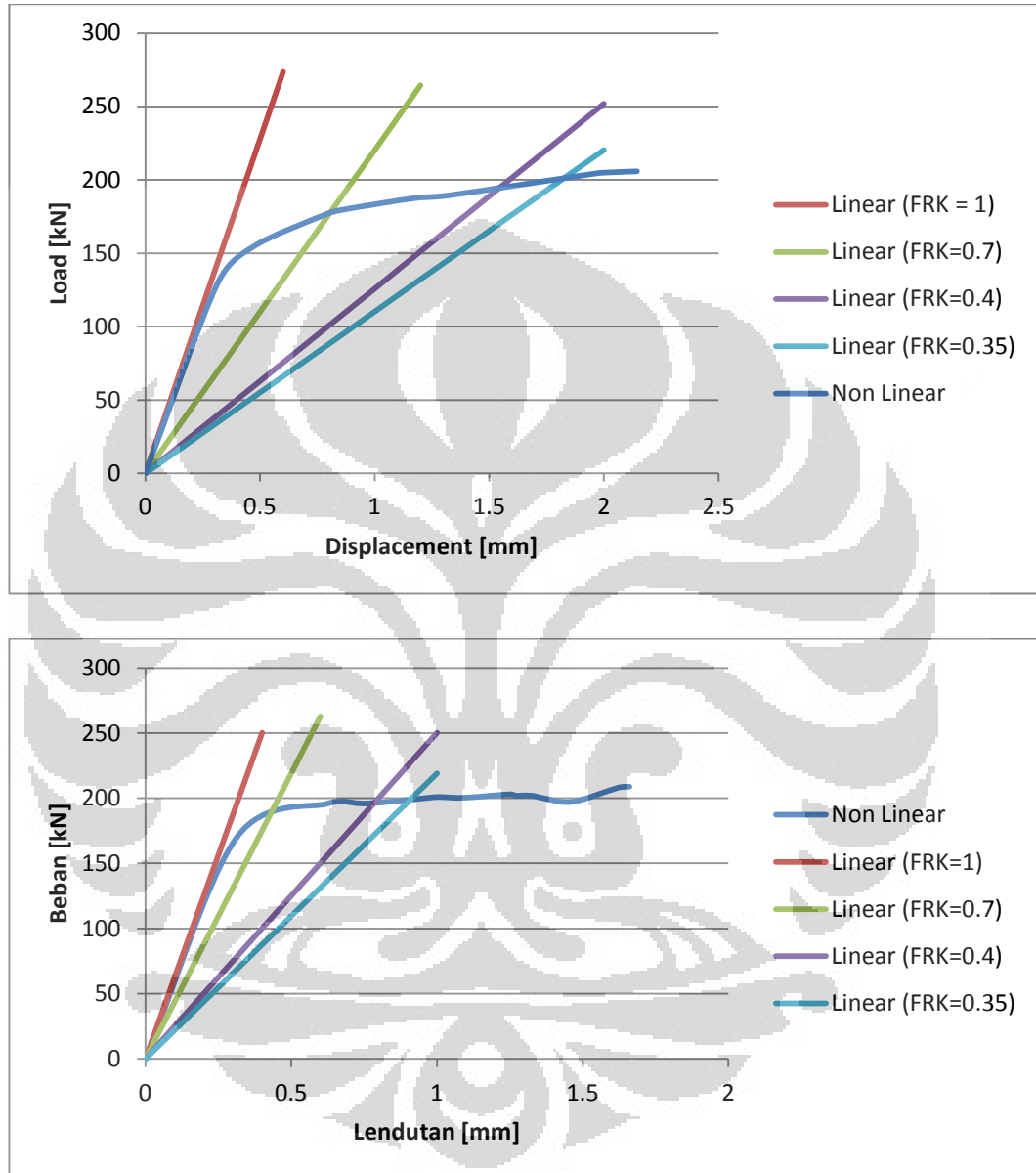
Dengan menggunakan program SAP2000 diperoleh output berupa diagram beban-lendutan dari kedua *squat wall*, baik yang dianalisa secara non-linear maupun linear.



Gambar 4.1. Diagram Beban-Lendutan untuk a) *Squat Wall* Tipe 1; dan b) *Squat Wall* Tipe 2

Sesuai dengan literatur yang telah ditinjau, *squat wall* yang dianalisa secara linear mampu menahan beban yang lebih besar dikarenakan parameter kekakuan diasumsikan tidak berubah. Oleh karena itulah digunakan faktor reduksi kekakuan untuk memperhitungkan retak pada kondisi di ambang keruntuhan, sesuai dengan

asumsi perhitungan penulangan dengan kondisi ambang batas (*limit state design*). Berikut adalah diagram beban-lendutan dari *squat wall* yang kekakuannya telah direduksi serta faktor reduksi kekakuan yang digunakan:



Gambar 4.2. Diagram Beban-Lendutan dengan Variasi Faktor Reduksi Kekakuan untuk a) *Squat Wall* Tipe 1; dan b) *Squat Wall* Tipe 2

Parameter Kekakuan	FRK = 1	FRK = 0.7	FRK = 0.4	FRK = 0.35
Membrane f11 (Nx)	1	0.7	0.4	0.35
Membrane f22 (Ny)	1	0.7	0.4	0.35
Membrane f12 (Nxy)	1	0.7	0.4	0.35
Bending m11 (Mx)	1	0.7	0.4	0.35
Bending m22 (My)	1	0.7	0.4	0.35
Bending m12 (Mxy)	1	0.7	0.4	0.35
Shear v13 (Qx)	1	0.7	0.4	0.35
Shear v23 (Qy)	1	0.7	0.4	0.35

Tabel 4.1. Detail Parameter Kekakuan yang Direduksi pada Setiap Variasi Faktor Reduksi Kekakuan

Faktor reduksi kekakuan dikalikan pada semua parameter kekakuan, dimana nilai-nilai faktor reduksi diperoleh dari SNI 03-2847-2002, ACI 318-08 dan FEMA 356.

Berdasarkan peraturan yang digunakan, nilai faktor reduksi kekakuan sebesar 0.35 digunakan untuk memodelkan kondisi dinding yang mengalami retak. Untuk mengetahui apakah dinding mengalami retak atau tidak, akan dilakukan analisa linear untuk memperoleh besar tegangan pada permukaan *squat wall*. Nilai tegangan yang diperoleh akan dibandingkan dengan rumus berikut:

$$-\frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u l_w}{I_g} > f_r$$

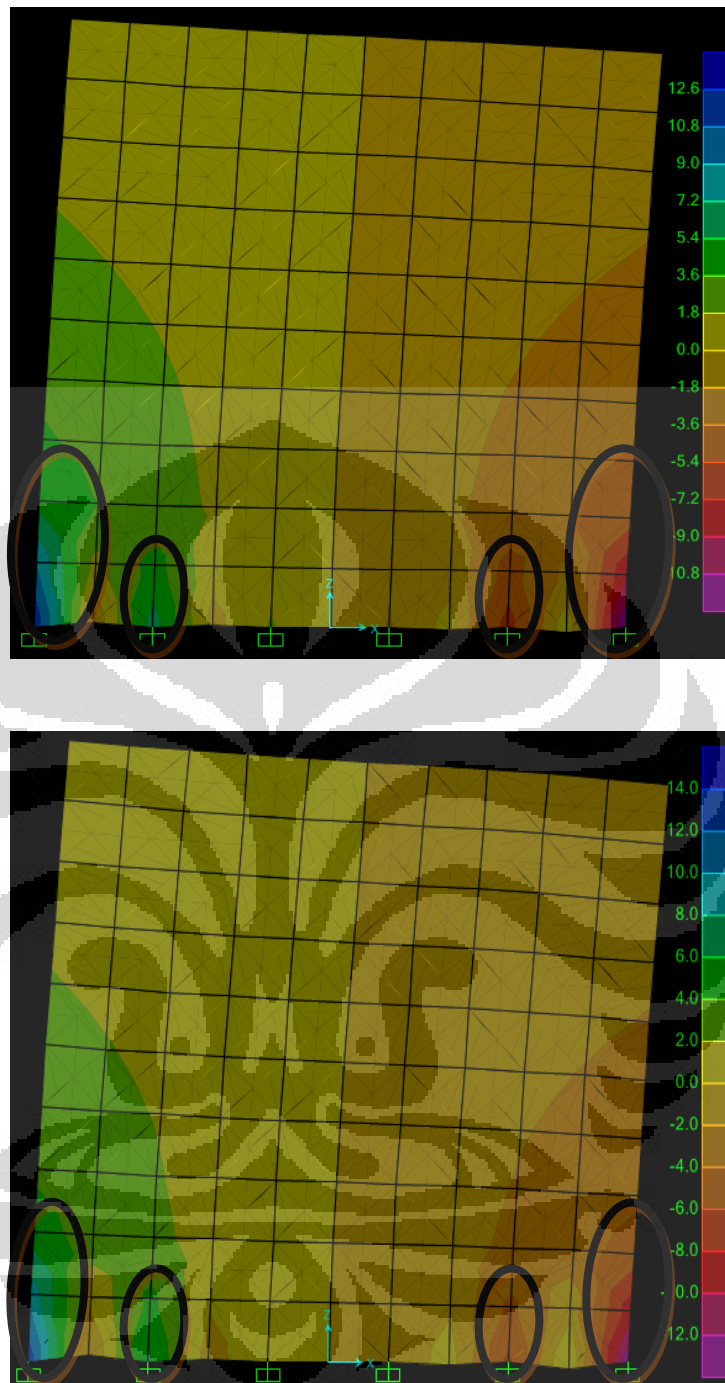
Untuk *squat wall* pertama, nilai  $f_r$  adalah:

$$f_r = 0.7\sqrt{f'_c} = 0.7\sqrt{25.5} = 3.53 \text{ MPa}$$

Sedangkan untuk *squat wall* kedua, nilai  $f_r$  adalah:

$$f_r = 0.7\sqrt{f'_c} = 0.7\sqrt{31.4} = 3.92 \text{ MPa}$$

Apabila persamaan di atas terpenuhi, maka dinding mengalami retak dan nilai faktor reduksi kekakuan harus diubah menjadi 0.35. Perubahan faktor reduksi ini bertujuan untuk mentransfer gaya yang harus ditahan dinding geser menuju kolom, menghasilkan desain kolom yang mampu menahan gaya lebih besar ketika retak terjadi pada dinding geser. Besarnya beban yang diberikan pada analisa linear adalah sama dengan beban yang ditanggung dinding pada saat mengalami keruntuhan (*failure load*).



Gambar 4.3. Diagram Tegangan dan Lokasi Retak pada (a) *Squat Wall* Tipe 1; dan (b) *Squat Wall* Tipe 2

Tahap selanjutnya adalah mengetahui parameter kekakuan mana yang paling berpengaruh pada *squat wall*. Oleh karena itu, faktor reduksi hanya akan dikalikan pada beberapa parameter kekakuan saja, dengan rincian sebagai berikut:

Parameter Kekakuan	Kombinasi 1	Kombinasi 2	Kombinasi 3	Kombinasi 4	Kombinasi 5	Kombinasi 6
Membrane f11 (Nx)	0.7	0.35	0.7	1	0.7	0.35
Membrane f22 (Ny)	0.7	0.35	0.7	1	0.7	0.35
Membrane f12 (Nxy)	0.7	0.35	0.7	1	0.7	0.35
Bending m11 (Mx)	0.7	0.35	1	0.7	0.7	0.35
Bending m22 (My)	0.7	0.35	1	0.7	0.7	0.35
Bending m12 (Mxy)	0.7	0.35	1	0.7	0.7	0.35
Shear v13 (Qx)	0.7	0.35	1	0.7	1	1
Shear v23 (Qy)	0.7	0.35	1	0.7	1	1

Kombinasi ini akan diaplikasikan untuk kedua jenis *squat wall*. Untuk membandingkan pengaruh variasi pada tabel di atas, berikut disajikan tabel beban-lendutan dari masing-masing kombinasi.

Kombinasi 1		Kombinasi 2		Kombinasi 3	
Beban [kN]	Lendutan [mm]	Beban [kN]	Lendutan [mm]	Beban [kN]	Lendutan [mm]
0	0	0	0	0	0
44.08	0.2	22.04	0.2	44.08	0.2
88.16	0.4	44.08	0.4	88.16	0.4
132.239	0.6	66.12	0.6	132.239	0.6
176.319	0.8	88.16	0.8	176.319	0.8
220.399	1	110.199	1	220.399	1
264.479	1.2	132.239	1.2	264.479	1.2
308.558	1.4	154.279	1.4	308.558	1.4
352.638	1.6	176.319	1.6	352.638	1.6
396.718	1.8	198.359	1.8	396.718	1.8
440.798	2	220.399	2	440.798	2

Kombinasi 4		Kombinasi 5		Kombinasi 6	
Beban [kN]	Lendutan [mm]	Beban [kN]	Lendutan [mm]	Beban [kN]	Lendutan [mm]
0	0	0	0	0	0
62.971	0.2	44.08	0.2	22.04	0.2
125.942	0.4	88.16	0.4	44.08	0.4
188.913	0.6	132.239	0.6	66.12	0.6
251.884	0.8	176.319	0.8	88.16	0.8
314.855	1	220.399	1	110.199	1
377.827	1.2	264.479	1.2	132.239	1.2
440.798	1.4	308.558	1.4	154.279	1.4
503.769	1.6	352.638	1.6	176.319	1.6
566.74	1.8	396.718	1.8	198.359	1.8
629.711	2	440.798	2	220.399	2

Kombinasi 3 dan 5, dimana hanya kekakuan terhadap *membrane action* yang direduksi, menghasilkan respon yang sama dengan kombinasi 1, dimana semua parameter kekakuan direduksi. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa, parameter *plate-bending action* tidak berpengaruh terhadap kekakuan sehingga tidak perlu direduksi. Parameter *plate-bending*, baik untuk *bending* maupun *shear*, tidak berpengaruh karena gaya yang diberikan pada *squat wall* searah dengan dinding sehingga tidak mungkin terjadi *bending* pada arah luar bidang. Selanjutnya faktor reduksi akan dikalikan dengan parameter yang hanya mempengaruhi *membrane action* dengan rincian sebagai berikut:

Parameter Kekakuan	Kombinasi 7	Kombinasi 8	Kombinasi 9	Kombinasi 10	Kombinasi 11	Kombinasi 12
Membrane f11 (Nx)	0.7	1	1	0.7	0.7	1
Membrane f22 (Ny)	1	0.7	1	0.7	1	0.7
Membrane f12 (Nxy)	1	1	0.7	1	0.7	0.7
Bending m11 (Mx)	1	1	1	1	1	1
Bending m22 (My)	1	1	1	1	1	1
Bending m12 (Mxy)	1	1	1	1	1	1
Shear v13 (Qx)	1	1	1	1	1	1
Shear v23 (Qy)	1	1	1	1	1	1



Kombinasi di atas menghasilkan tabel diagram beban-lendutan sebagai berikut:

<b>Kombinasi 7</b>		<b>Kombinasi 8</b>		<b>Kombinasi 9</b>	
<b>Beban [kN]</b>	<b>Lendutan [mm]</b>	<b>Beban [kN]</b>	<b>Lendutan [mm]</b>	<b>Beban [kN]</b>	<b>Lendutan [mm]</b>
0	0	0	0	0	0
62.27	0.2	50.953	0.2	53.637	0.2
124.541	0.4	101.905	0.4	107.274	0.4
186.811	0.6	254.763	1	268.185	1
249.082	0.8	305.715	1.2	321.822	1.2
311.352	1	356.668	1.4	375.459	1.4
373.623	1.2	407.62	1.6	429.096	1.6
435.893	1.4	458.573	1.8	482.733	1.8
498.164	1.6	509.525	2	536.37	2
560.434	1.8				
622.705	2				

<b>Kombinasi 10</b>		<b>Kombinasi 11</b>		<b>Kombinasi 12</b>	
<b>Beban [kN]</b>	<b>Lendutan [mm]</b>	<b>Beban [kN]</b>	<b>Lendutan [mm]</b>	<b>Beban [kN]</b>	<b>Lendutan [mm]</b>
0	0	0	0	0	0
50.453	0.2	53.155	0.2	44.436	0.2
100.906	0.4	106.31	0.4	88.873	0.4
252.264	1	265.776	1	222.182	1
302.717	1.2	318.931	1.2	266.618	1.2
353.17	1.4	372.087	1.4	311.054	1.4
403.622	1.6	425.242	1.6	355.49	1.6
454.075	1.8	478.397	1.8	399.927	1.8
504.528	2	531.552	2	444.363	2

Untuk *squat wall* tipe 2, hanya kombinasi 7 sampai dengan 12 yang akan diaplikasikan karena parameter *bending* dan *shear* tidak akan berpengaruh. Tabel diagram beban-lendutan untuk *squat wall* tipe 2 adalah sebagai berikut:

Linear (Kombinasi 7)		Linear (Kombinasi 8)		Linear (Kombinasi 9)	
Beban [kN]	Lendutan [mm]	Beban [kN]	Lendutan [mm]	Beban [kN]	Lendutan [mm]
0	0	0	0	0	0
123.594	0.2	103.523	0.2	104.277	0.2
247.187	0.4	207.046	0.4	208.555	0.4
370.781	0.6	310.568	0.6	312.832	0.6
494.375	0.8	414.091	0.8	417.109	0.8
617.968	1	517.614	1	521.387	1
741.562	1.2	621.137	1.2	625.664	1.2
865.156	1.4	724.66	1.4	729.941	1.4
988.749	1.6	828.182	1.6	834.218	1.6
1112.343	1.8	931.705	1.8	938.496	1.8
1235.937	2	1035.228	2	1042.773	2

Linear (Kombinasi 10)		Linear (Kombinasi 11)		Linear (Kombinasi 12)	
Beban [kN]	Lendutan [mm]	Beban [kN]	Lendutan [mm]	Beban [kN]	Lendutan [mm]
0	0	0	0	0	0
102.416	0.2	103.256	0.2	88.351	0.2
204.832	0.4	206.512	0.4	176.703	0.4
307.248	0.6	309.768	0.6	265.054	0.6
409.664	0.8	413.025	0.8	353.406	0.8
512.08	1	516.281	1	441.757	1
614.496	1.2	619.537	1.2	530.108	1.2
716.911	1.4	722.793	1.4	618.46	1.4
819.327	1.6	826.049	1.6	706.811	1.6
921.743	1.8	929.305	1.8	795.163	1.8
1024.159	2	1032.561	2	883.514	2

Dalam menganalisa parameter *membrane action* yang paling berpengaruh akan disajikan tabel kesalahan relatif berikut:

<i>Squat Wall Tipe 1</i>		<i>Squat Wall Tipe 2</i>	
<b>Kombinasi</b>	<b>Kesalahan Relatif</b>	<b>Kombinasi</b>	<b>Kesalahan Relatif</b>
7	41.27%	7	41.11%
8	15.59%	8	18.19%
9	21.68%	9	19.05%
10	14.46%	10	16.93%
11	20.59%	11	17.89%
12	0.81%	12	0.87%

Dapat dilihat untuk kedua jenis *squat wall*, kombinasi 8 menghasilkan nilai yang paling mendekati kombinasi 3 dan sebaliknya untuk kombinasi 7. Hal ini menunjukkan bahwa, pada *squat wall* tegangan utama yang paling berpengaruh adalah  $N_y$ , diikuti dengan  $N_{xy}$ , dan  $N_x$ . Tegangan  $N_x$  merupakan tegangan pada arah aksial sehingga mempunyai pengaruh kecil pada saat dinding diberikan gaya pada arah X global. Hal lain yang dapat diamati adalah pengaruh rasio  $h_w/l_w$  terhadap tegangan utama yang berpengaruh, dimana tegangan utama  $N_{xy}$  akan semakin berpengaruh jika rasio  $h_w/l_w$  semakin kecil. Pada *squat wall* tipe 2 (rasio  $h_w/l_w = 0.89$ ) kesalahan relatif dari kombinasi 9 adalah 19.05%, sedangkan pada *squat wall* tipe 1 (rasio  $h_w/l_w = 1$ ) kesalahan relatif dari kombinasi 9 adalah 21.68%. Dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin rendah nilai rasio  $h_w/l_w$ , maka deformasi pada dinding semakin didominasi oleh geser sehingga tegangan utama  $N_{xy}$  semakin berpengaruh.

Namun, ketiga parameter tersebut tetap harus direduksi pada saat analisa linear digunakan agar hasil yang diperoleh lebih akurat. Selain itu, parameter *plate-bending* juga harus direduksi dalam mendesain sebuah gedung karena *squat wall* berada pada struktur 3 dimensi.

Tahap terakhir yang akan dilakukan adalah aplikasi dari parameter yang telah diperoleh dari percobaan di atas dan mengaplikasikannya dalam proses mendesain sebuah gedung. Sesuai dengan penjelasan pada bab sebelumnya, terdapat 3 jenis gedung yang akan didesain, masing-masing mempunyai ketinggian berbeda. Berikut adalah rincian dari proses desain yang dilakukan:

## 4.1 Perilaku Statik/Dinamik Struktur

### 4.1.1 Periode Alami Struktur

Gedung yang didesain berada pada wilayah gempa 6, sehingga nilai  $\zeta$  yang digunakan adalah 0.15. Tabel berikut menunjukkan pembatasan waktu getar alami fundamental dari masing-masing gedung.

Gedung	Jumlah Lantai	$\zeta$ n [s]	$T_1$ [s]	Keterangan
1	4	0.6	0.16	OK
2	8	1.2	0.36	OK
3	12	1.8	0.6	OK

### 4.1.2 Perbandingan Gaya Geser Statik (S) dan Gaya Geser Dinamik (D)

Gedung 1					
<b>C<sub>x</sub></b>	1.6667	<b>V<sub>x</sub> (S)</b>	4753.957 kN	<b>V<sub>x</sub> (D)</b>	5468.35 kN
<b>W<sub>x</sub></b>	20385.75	<b>80% V<sub>x</sub> (S)</b>	3803.166 kN		
<b>C<sub>y</sub></b>	1.6667	<b>V<sub>y</sub> (S)</b>	4753.957 kN	<b>V<sub>y</sub> (D)</b>	5468.35 kN
<b>W<sub>y</sub></b>	20385.75	<b>80% V<sub>y</sub> (S)</b>	3803.166 kN		

Gedung 2					
<b>C<sub>x</sub></b>	1.5	<b>V<sub>x</sub> (S)</b>	14120.45 kN	<b>V<sub>x</sub> (D)</b>	11329.44 kN
<b>W<sub>x</sub></b>	47068.16	<b>80% V<sub>x</sub> (S)</b>	11296.36 kN		
<b>C<sub>y</sub></b>	1.5	<b>V<sub>y</sub> (S)</b>	14120.45 kN	<b>V<sub>y</sub> (D)</b>	11329.44 kN
<b>W<sub>y</sub></b>	47068.16	<b>80% V<sub>y</sub> (S)</b>	11296.36 kN		

Gedung 3					
<b>C<sub>x</sub></b>	1.5	<b>V<sub>x</sub> (S)</b>	21892.47 kN	<b>V<sub>x</sub> (D)</b>	21671.05 kN
<b>W<sub>x</sub></b>	72974.9	<b>80% V<sub>x</sub> (S)</b>	17513.98 kN		
<b>C<sub>y</sub></b>	1.5	<b>V<sub>y</sub> (S)</b>	21892.47 kN	<b>V<sub>y</sub> (D)</b>	21671.05 kN
<b>W<sub>y</sub></b>	72974.9	<b>80% V<sub>y</sub> (S)</b>	17513.98 kN		

## 4.1.3 Pengecekan Drift Layan dan Drift Ultimit

Gedung 1						
Lantai	Hasil ETABS		Batas Layan			
			Besar		Status	
	Drift x	Drift y	Drift x	Drift y	Drift x	Drift y
Lantai 4	0.000119	0.000119	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 3	0.000184	0.000184	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 2	0.000223	0.000223	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 1	0.000219	0.000219	0.0240000	0.0240000	OK	OK

Gedung 2						
Lantai	Hasil ETABS		Batas Layan			
			Besar		Status	
	Drift x	Drift y	Drift x	Drift y	Drift x	Drift y
Lantai 8	0.000257	0.000257	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 7	0.000317	0.000317	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 6	0.000367	0.000367	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 5	0.000402	0.000402	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 4	0.00042	0.00042	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 3	0.000418	0.000418	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 2	0.000393	0.000393	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 1	0.000331	0.000331	0.0240000	0.0240000	OK	OK

Gedung 3						
Lantai	Hasil ETABS		Batas Layan			
			Besar		Status	
	Drift x	Drift y	Drift x	Drift y	Drift x	Drift y
Lantai 12	0.000697	0.000697	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 11	0.000769	0.000769	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 10	0.000832	0.000832	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 9	0.000882	0.000882	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 8	0.000914	0.000914	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 7	0.000927	0.000927	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 6	0.000922	0.000922	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 5	0.000899	0.000899	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 4	0.000853	0.000853	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 3	0.000782	0.000782	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 2	0.000684	0.000684	0.0240000	0.0240000	OK	OK
Lantai 1	0.000535	0.000535	0.0240000	0.0240000	OK	OK

Gedung 1								
Lantai	Hasil ETABS				Batas Ultimit			
					Besar		Status	
	Drift x	Drift y	0.7R*Drift x	0.7R*Drift y	Drift x	Drift y	Drift x	Drift y
Lantai 4	0.000119	0.000119	0.0004165	0.0004165	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 3	0.000184	0.000184	0.000644	0.000644	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 2	0.000223	0.000223	0.0007805	0.0007805	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 1	0.000219	0.000219	0.0007665	0.0007665	0.08	0.08	OK	OK

Gedung 2								
Lantai	Hasil ETABS				Batas Ultimit			
					Besar		Status	
	Drift x	Drift y	0.7R*Drift x	0.7R*Drift y	Drift x	Drift y	Drift x	Drift y
Lantai 8	0.000257	0.000257	0.0008995	0.0008995	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 7	0.000317	0.000317	0.0011095	0.0011095	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 6	0.000367	0.000367	0.0012845	0.0012845	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 5	0.000402	0.000402	0.001407	0.001407	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 4	0.00042	0.00042	0.00147	0.00147	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 3	0.000418	0.000418	0.001463	0.001463	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 2	0.000393	0.000393	0.0013755	0.0013755	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 1	0.000331	0.000331	0.0011585	0.0011585	0.08	0.08	OK	OK

Gedung 3								
Lantai	Hasil ETABS				Batas Ultimit			
					Besar		Status	
	Drift x	Drift y	0.7R*Drift x	0.7R*Drift y	Drift x	Drift y	Drift x	Drift y
Lantai 12	0.000697	0.000697	0.00244	0.00244	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 11	0.000769	0.000769	0.002692	0.002692	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 10	0.000832	0.000832	0.002912	0.002912	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 9	0.000882	0.000882	0.003087	0.003087	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 8	0.000914	0.000914	0.003199	0.003199	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 7	0.000927	0.000927	0.003245	0.003245	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 6	0.000922	0.000922	0.003227	0.003227	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 5	0.000899	0.000899	0.003147	0.003147	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 4	0.000853	0.000853	0.002986	0.002986	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 3	0.000782	0.000782	0.002737	0.002737	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 2	0.000684	0.000684	0.002394	0.002394	0.08	0.08	OK	OK
Lantai 1	0.000535	0.000535	0.001873	0.001873	0.08	0.08	OK	OK

## 4.2 Perencanaan Penulangan Gedung 4 Lantai

### 4.2.1 Penulangan Squat Wall (Pier)

Adapun Properti yang digunakan dalam mendesign Dinding Geser adalah :

- Lebar Dinding Geser ( $l_w$ ) = 3000 mm
- Tinggi Dinding Geser ( $h_w$ ) = 1500 mm
- $f_c'$  = 31.4 MPa
- $f_y$  = 400 Mpa
- Diameter tul. Vertikal = 16 mm
- Diameter tul. Horizontal = 16 mm
- Selimut beton = 50 mm

Dengan menggunakan program ETABS diperoleh output berupa gaya aksial, gaya geser, dan momen maksimum yang dialami oleh dinding geser. Hasilnya adalah sebagai berikut:

Pu diperoleh dari Kombinasi 7 = 705.62 kN

Vu diperoleh dari Kombinasi 4 = 360.5 kN

Mu diperoleh dari Kombinasi 5 = 482.13 kNm

#### 4.2.1.1 Penentuan Tebal Dinding Geser (Pier)

- *Maximum shear stress allowed :*

$$\tau_{lim} = 0,83\sqrt{f_c'} = 0,83\sqrt{31,4} = 4,65\text{MPa}$$

- *The required wall thickness :*

$$t = \frac{V_u 1000}{l_w \tau_{lim}} = \frac{(360,5)(1000)}{(3 \times 10^3)(4,65)} = 25,8 \text{ mm}$$

Wall thickness provided  $h = t = 150 \text{ mm} \dots \text{OK!}$

#### 4.2.1.2 Penulangan Lentur Dinding Geser (Pier)

Dinding geser akan direncanakan dengan menggunakan tulangan lentur minimum ( $\rho = 0.01$ ), menggunakan cara penulangan lentur kolom :

$$A_s = \rho \cdot A_v = 0,01 \cdot 3000 \cdot 150 = 4500 \text{ mm}^2$$

$$n (D16) = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi_{tulangan}^2} = \frac{4500}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2} = 22,38 \approx 23 \text{ buah}$$

Untuk tulangan lentur dinding geser digunakan **23 buah D16**.

#### 4.2.1.3 Penulangan Geser Dinding Geser (*Pier*)

- Cek kebutuhan tulangan horisontal

$$d = 0.8 \cdot lw = 0.8 \cdot 3000 = 2400 \text{ mm}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} h d = \frac{1}{6} \sqrt{31.4} \cdot 150 \cdot 2400 = 336214.22 \text{ N} = 336.2 \text{ kN}$$

$$\frac{\phi V_c}{2} = \frac{0.75 \cdot 336.2}{2} = 126.075 \text{ kN}$$

Karena  $V_u > \phi V_c / 2$ , maka diperlukan tulangan geser

- Kuat geser tulangan

$$V_s = \left( \frac{V_u}{\phi} - V_c \right) = \left( \frac{360.5}{0.75} - 336.2 \right) = 144.47 \text{ kN}$$

- Jarak antar tulangan (1 layer D16)

$$A_v = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2_{\text{Horizontal}}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2$$

$$= 201.1 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s \cdot 1000} = \frac{201.1 \cdot 400 \cdot 2400}{144.5 \cdot 1000} = 1336.03 \text{ mm} \approx 1300 \text{ mm}$$

- Syarat jarak antar tulangan

Menurut SNI 2002, jarak antar tulangan geser tidak boleh melebihi :

$$\checkmark s = \frac{lw}{5} = \frac{3000}{5} = 1200 \text{ mm}$$

$$\checkmark s = 3 \cdot h = 3 \cdot 150 = 450 \text{ mm}$$

$$\checkmark s = 450 \text{ mm}$$

Gunakan  $s = 450 \text{ mm}$

- Pengecekan ratio  $\rho h > 0.0025$

$$\rho h = \frac{A_v}{h \cdot s} = \frac{201.1}{150 \cdot 450} = 0.003 > 0.0025 \dots \text{OK!}$$

- Cek kuat geser

$$\phi = 0.55 \text{ (dinding khusus)}$$

Karena  $hw/lw = 1500/3000 = 0.5 < 2$ , maka diambil nilai  $\alpha_c = 3$

$$A_{cv} = lw \cdot t = 3000 \cdot 150 = 4.5 \times 10^5 \text{ mm}^2$$



✓ Pengecekan kuat geser

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y) \\ &= 0.55 \cdot 4.5 \times 10^5 (3 \cdot \sqrt{31.4} + 0.003 \cdot 400) \\ &= 4457650.9 \text{ N} = 4457.65 \text{ kN} \\ \phi V_n &> V_u = 360.5 \text{ kN} \dots OK!\end{aligned}$$

- Cek kuat geser maksimum

$$\begin{aligned}\phi V_{nmax} &= \frac{5}{6} \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c} = \frac{5}{6} \cdot 4.5 \times 10^5 \cdot \sqrt{31.4} = 2101338.86 \text{ N} \\ &= 2101.3 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi V_{nmax} > V_u = 360.5 \text{ kN} \dots OK!$$

**Gunakan D16-450 mm (1 sisi) untuk tulangan horisontal/geser**

#### 4.2.1.4 Pengecekan Sliding Shear (Pier)

- Cek kuat geser yang dihasilkan oleh 23D16 (Tulangan Lentur)

$$A_{vf} = 23 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \right) = 4624.42 \text{ mm}^2$$

$\mu = 1.0$  normal concrete

$$V_n = A_{vf} f_y \mu = (4624.42)(400)(1.0) = 1849769.75 \text{ N} = 1849.7 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.6(1849.7) = 1109.82 \text{ kN} > V_u = 360.5 \text{ kN} \dots OK!$$

- *Limit the shear friction strength to  $0.20 f'_c A_{cv}$  or  $5.5 A_{cv}$*

$$\checkmark 0.20 f'_c A_{cv} = 0.2(31.4) (4.5 \times 10^5) = 2.826 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\checkmark 5.5 A_{cv} = 5.5 (4.5 \times 10^5) = 2.475 \times 10^6 \text{ N}$$

$$V_n = \min(0.20 f'_c A_{cv}; 5.5 A_{cv}) = 2.475 \times 10^3 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.6(2.475 \times 10^3) = 1485 \text{ kN} > V_u = 360.5 \text{ kN} \dots OK!$$

Dinding geser tidak mengalami *Sliding Shear*

#### 4.2.1.5 Pengecekan Boundary Element (Pier)

- *Stress Index Procedure*

$$I_g = \frac{1}{12} l_w^3 t = \frac{1}{12} \cdot 3000^3 \cdot 150 = 3.375 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$S_{yy} = \frac{I_g}{0.5 l_w} = \frac{3.375 \times 10^{11} \text{ mm}^4}{0.5(3000 \text{ mm})} = 2.25 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$f_c = \frac{P_u 1000}{A_{cv}} + \frac{M_u 1000000}{S_{yy}}$$

$$f_c = \frac{(695.82)1000}{4.5 \times 10^5} + \frac{(344.81)1000000}{2.25 \times 10^8}$$

$$f_c = 3.7 \text{ MPa} < 0.2f_c' = 6.28 \text{ MPa}$$

Maka tidak dibutuhkan *Boundary Element* dengan metody *Stress Index Procedure*

#### 4.2.2 Penulangan Squat Wall (Spandrel)

Adapun Properti yang digunakan dalam mendesign Dinding Geser adalah :

- Lebar Dinding Geser ( $l_w$ ) = 2000 mm
- Tinggi Dinding Geser ( $h_w$ ) = 2500 mm
- $f_c'$  = 31.4 MPa
- $f_y$  = 400 Mpa
- Diameter tul. Vertikal = 16 mm
- Diameter tul. Horisontal = 16 mm
- Selimut beton = 50 mm

Dengan menggunakan program ETABS diperoleh output berupa gaya aksial, gaya geser, dan momen maksimum yang dialami oleh dinding geser. Hasilnya adalah sebagai berikut:

$P_u$  diperoleh dari Kombinasi 7 = 102.28 kN

$V_u$  diperoleh dari Kombinasi 9 = 540.57 kN

$M_u$  diperoleh dari Kombinasi 17 = 510.2 kNm

##### 4.2.2.1 Penentuan Tebal Dinding Geser (*Spandrel*)

- *Maximum shear stress allowed :*

$$\tau_{lim} = 0,83\sqrt{f_c'} = 0.83\sqrt{31.4} = 4.65 \text{ MPa}$$

- *The required wall thickness :*

$$t = \frac{V_u 1000}{l_w \tau_{lim}} = \frac{(540.57)(1000)}{(2 \times 10^3)(4.65)} = 58.13 \text{ mm}$$

Wall thickness provided  $h = t = 150 \text{ mm} \dots \text{OK!}$

#### 4.2.2.2 Penulangan Lentur Dinding Geser (*Spandrel*)

Dinding geser akan direncanakan dengan menggunakan tulangan lentur minimum ( $\rho = 0.01$ ), menggunakan cara penulangan lentur kolom :

$$A_s = \rho \cdot A_v = 0.01 \cdot 3000 \cdot 150 = 4500 \text{ mm}^2$$

$$n (D16) = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi_{tulangan}^2} = \frac{4500}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2} = 22.38 \approx 23 \text{ buah}$$

Untuk tulangan lentur dinding geser digunakan **23 buah D16**.

#### 4.2.2.3 Penulangan Geser Dinding Geser (*Spandrel*)

- Cek kebutuhan tulangan horisontal

$$d = 0.8 \cdot lw = 0.8 \cdot 2000 = 1600 \text{ mm}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} h d = \frac{1}{6} \sqrt{31.4} \cdot 150 \cdot 1600 = 2224142.8 \text{ N} = 222.4 \text{ kN}$$

$$\frac{\phi V_c}{2} = \frac{0.75 \cdot 222.4}{2} = 83.4 \text{ kN}$$

Karena  $V_u > \phi V_c / 2$ , maka diperlukan tulangan geser

- Kuat geser tulangan

$$V_s = \left( \frac{V_u}{\phi} - V_c \right) = \left( \frac{540.57}{0.75} - 222.4 \right) = 498.4 \text{ kN}$$

- Jarak antar tulangan (1 layer D16)

$$A_v = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{Horizontal}^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2$$

$$= 201,1 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s \cdot 1000} = \frac{201.1 \cdot 400 \cdot 1600}{498.4 \cdot 1000} = 258.23 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

- Syarat jarak antar tulangan

Menurut SNI 2002, jarak antar tulangan geser tidak boleh melebihi :

$$\checkmark s = \frac{lw}{5} = \frac{2000}{5} = 400 \text{ mm}$$

$$\checkmark s = 3 \cdot h = 3 \cdot 150 = 450 \text{ mm}$$

$$\checkmark s = 450 \text{ mm}$$

Gunakan  $s = 250 \text{ mm}$

- Pengecekan ratio  $\rho h > 0.0025$

$$\rho h = \frac{A_v}{h \cdot s} = \frac{201.1}{150 \cdot 250} = 0.0054 > 0.0025 \dots OK!$$

- Cek kuat geser

$$\phi = 0.55 \text{ (dinding khusus)}$$

Karena  $hw/lw = 2500/2000 = 1.25 < 2$ , maka diambil nilai  $\alpha_c = 3$

$$A_{cv} = lw \cdot t = 2000 \cdot 150 = 3 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

✓ Pengecekan kuat geser

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y) \\ &= 0.55 \cdot 3 \times 10^5 (3 \cdot \sqrt{31.4} + 0.0054 \cdot 400) \\ &= 3130167.3 \text{ N} = 3130.2 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n > V_u = 540.57 \text{ kN} \dots OK!$$

- Cek kuat geser maksimum

$$\begin{aligned} \phi V_{nmax} &= \frac{5}{6} \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c} = \frac{5}{6} \cdot 3 \times 10^5 \cdot \sqrt{31.4} = 1400892.6 \text{ N} \\ &= 1400.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_{nmax} > V_u = 540.57 \text{ kN} \dots OK!$$

**Gunakan D16-250 mm (1 sisi) untuk tulangan horisontal/geser**

#### 4.2.2.4 Pengecekan Sliding Shear (Spandrel)

- Cek kuat geser yang dihasilkan oleh 23D16 (Tulangan Lentur)

$$A_{vf} = 23 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \right) = 4624.42 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 1.0 \text{ normal concrete}$$

$$V_n = A_{vf} f_y \mu = (4624.42)(400)(1.0) = 1849769.75 \text{ N} = 1849.7 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.6(1849.7) = 1109.82 \text{ kN} > V_u = 540.57 \text{ kN} \dots OK!$$

- Limit the shear friction strength to  $0.20 f'_c A_{cv}$  or  $5.5 A_{cv}$

$$\checkmark 0.20 f'_c A_{cv} = 0.2(25.5) (3 \times 10^5) = 1.53 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\checkmark 5.5 A_{cv} = 5.5 (3 \times 10^5) = 1.65 \times 10^6 \text{ N}$$

$$V_n = \min(0.20 f'_c A_{cv}; 5.5 A_{cv}) = 1.65 \times 10^3 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.6(1.65 \times 10^3) = 990 \text{ kN} > V_u = 540.57 \text{ kN} \dots OK!$$

Dinding geser tidak mengalami *Sliding Shear*

#### 4.2.2.5 Pengecekan Boundary Element (Spandrel)

- *Stress Index Procedure*

$$I_g = \frac{1}{12} l_w^3 t = \frac{1}{12} \cdot 2000^3 \cdot 150 = 1 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$S_{yy} = \frac{I_g}{0.5l_w} = \frac{1 \times 10^{11} \text{ mm}^4}{0.5(2000 \text{ mm})} = 1 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$f_c = \frac{P_u 1000}{A_{cv}} + \frac{M_u 1000000}{S_{yy}}$$

$$f_c = \frac{(102.28)1000}{3 \times 10^5} + \frac{(510.2)1000000}{1 \times 10^8}$$

$$f_c = 5.4 \text{ MPa} < 0.2f'_c = 6.28 \text{ MPa}$$

Maka tidak dibutuhkan *Boundary Element* dengan metody *Stress Index Procedure*

#### 4.2.3 Penulangan Kolom

Kolom	Gaya Aksial [kN]	Gaya Geser [kN]	Momen Lentur [kNm]
Lantai 1	352.98	17.94	17.78
	-1478.98	-17.94	-17.783
Lantai 2	104.19	13.85	26.318
	-1112.69	-13.85	-26.313
Lantai 3	-1.91	14.1	26.362
	-727.77	-14.1	26.362
Lantai 4	13.42	16.93	36.098
	-332.35	-16.92	-36.099

##### 4.2.3.1 Properti Kolom

- $f'_c = 30 \text{ MPa}$
- $f_y = 400 \text{ Mpa}$
- Selimut beton = 40 mm
- Dimensi kolom = 350 mm x 350 mm

##### 4.2.3.2 Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain

- Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom melebihi

$$\frac{A_g f'_c}{10}$$

$$\frac{A_g f'_c}{10} = \frac{(350 \times 350) \times 30}{10} = 367500 \text{ N} = 367.5 \text{ kN}$$

Gaya aksial terfaktor maksimum = 1478.98 kN...OK!

- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm  
Sisi terpendek kolom =  $d = 350$  mm...OK!
- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0.4  
Rasio antara  $b$  dan  $d = 350\text{mm}/350\text{mm} = 1$ ...OK!

#### 4.2.3.3 Konfigurasi Penulangan Longitudinal

Kolom 300 mm x 300 mm dengan 8 baja tulangan D20mm

$$\rho_g = \frac{(0.25 \times \pi \times 20^2) \times 8}{350 \times 350} = 0.02$$

$$0.01 < \rho_g < 0.06$$

#### 4.2.3.4 Kuat Lentur Kolom

$$A_s = (0.25 \times \pi \times 20^2) \times 8 = 2513.3 \text{ mm}^2$$

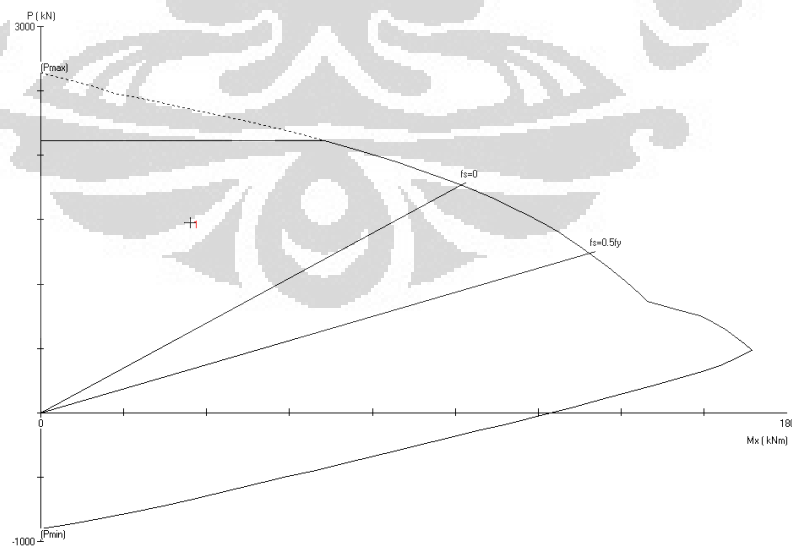
$$d = 350 - 40 - 10 - 0.5 \times 20 = 290 \text{ mm}$$

$$M_n = f_y \times A_s \left( d - \frac{f_y \times A_s}{1.7 \times f_c' \times b} \right)$$

$$M_n = 400 \times 2513.3 \left( 290 - \frac{400 \times 2513.3}{1.7 \times 30 \times 350} \right)$$

$$M_n = 234.9 \text{ kNm}$$

Dengan menggunakan program PCA Column, diperoleh diagram interaksi berikut:



## 4.2.3.5 Konfigurasi Penulangan Geser

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \cdot \left( 1 + \frac{1 \cdot P_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \\
 &= \frac{1}{6} \cdot \left( 1 + \frac{1 \cdot 1478.98 \times 10^3}{14 \cdot 350^2} \right) \cdot \sqrt{30} \cdot 350 \cdot 290 \\
 &= 79905.1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

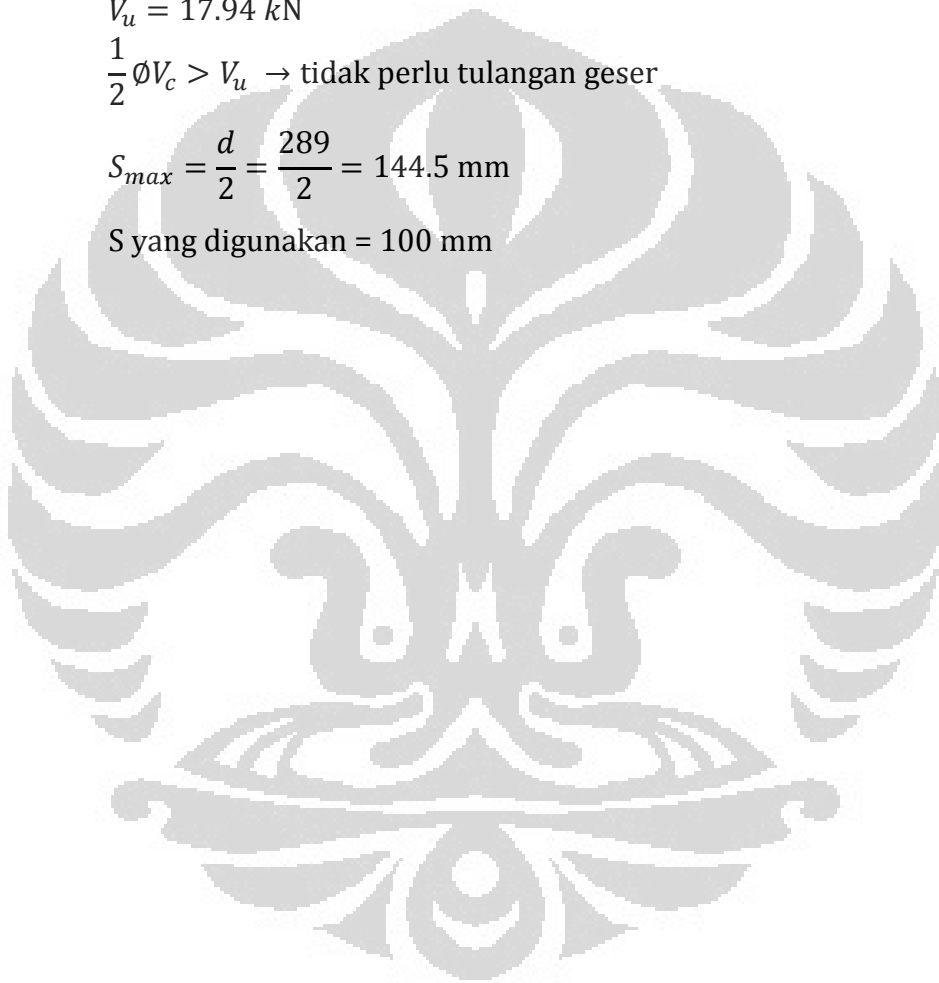
$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \cdot 0.75 \cdot 79905.1 = 29964.41 \text{ N} = 29.964 \text{ kN}$$

$$V_u = 17.94 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c > V_u \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser}$$

$$S_{max} = \frac{d}{2} = \frac{289}{2} = 144.5 \text{ mm}$$

S yang digunakan = 100 mm



### 4.3 Perencanaan Penulangan Gedung 8 Lantai

#### 4.3.1 Penulangan Squat Wall (Pier)

Adapun Properti yang digunakan dalam mendesign Dinding Geser adalah :

- Lebar Dinding Geser ( $l_w$ ) = 3000 mm
- Tinggi Dinding Geser ( $h_w$ ) = 1500 mm
- $f_c'$  = 31.4 MPa
- $f_y$  = 400 Mpa
- Diameter tul. Vertikal = 16 mm
- Diameter tul. Horizontal = 16 mm
- Selimut beton = 50 mm

Dengan menggunakan program ETABS diperoleh output berupa gaya aksial, gaya geser, dan momen maksimum yang dialami oleh dinding geser. Hasilnya adalah sebagai berikut:

Pu diperoleh dari Kombinasi 7 = 2748.03 kN

Vu diperoleh dari Kombinasi 9 = 1065.13 kN

Mu diperoleh dari Kombinasi 16 = 1462.5 kNm

##### 4.3.1.1 Penentuan Tebal Dinding Geser (Pier)

- *Maximum shear stress allowed :*

$$\tau_{lim} = 0,83\sqrt{f_c'} = 0,83\sqrt{31,4} = 4,65\text{MPa}$$

- *The required wall thickness :*

$$t = \frac{V_u 1000}{l_w \tau_{lim}} = \frac{(1065,13)(1000)}{(3 \times 10^3)(4,65)} = 76,35 \text{ mm}$$

Wall thickness provided  $h = t = 250 \text{ mm} \dots \text{OK!}$

##### 4.3.1.2 Penulangan Lentur Dinding Geser (Pier)

Dinding geser akan direncanakan dengan menggunakan tulangan lentur minimum ( $\rho = 0.01$ ), menggunakan cara penulangan lentur kolom :

$$A_s = \rho \cdot A_v = 0,01 \cdot 3000 \cdot 250 = 7500 \text{ mm}^2$$

$$n (D22) = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi_{tulangan}^2} = \frac{7500}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2} = 19,7 \text{ buah}$$

Untuk tulangan lentur dinding geser digunakan **20 buah D22**.



#### 4.3.1.3 Penulangan Geser Dinding Geser (*Pier*)

- Cek kebutuhan tulangan horisontal

$$d = 0.8 \cdot lw = 0.8 \cdot 3000 = 2400 \text{ mm}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} h d = \frac{1}{6} \sqrt{31.4} \cdot 250 \cdot 2400 = 560357.03 \text{ N} = 560.4 \text{ kN}$$

$$\frac{\phi V_c}{2} = \frac{0.75 \cdot 560.4}{2} = 210.15 \text{ kN}$$

Karena  $V_u > \phi V_c / 2$ , maka diperlukan tulangan geser

- Kuat geser tulangan

$$V_s = \left( \frac{V_u}{\phi} - V_c \right) = \left( \frac{1065.13}{0.75} - 560.4 \right) = 859.8 \text{ kN}$$

- Jarak antar tulangan (1 layer D22)

$$A_v = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2_{\text{Horizontal}}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2$$

$$= 380.13 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s \cdot 1000} = \frac{380.13 \cdot 400 \cdot 2400}{859.8 \cdot 1000} = 424.4 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

- Syarat jarak antar tulangan

Menurut SNI 2002, jarak antar tulangan geser tidak boleh melebihi :

$$\checkmark s = \frac{lw}{5} = \frac{3000}{5} = 1200 \text{ mm}$$

$$\checkmark s = 3 \cdot h = 3 \cdot 200 = 600 \text{ mm}$$

$$\checkmark s = 450 \text{ mm}$$

Gunakan  $s = 400 \text{ mm}$

- Pengecekan ratio  $\rho h > 0.0025$

$$\rho h = \frac{A_v}{h \cdot s} = \frac{380.13}{250 \cdot 400} = 0.0038 > 0.0025 \dots \text{OK!}$$

- Cek kuat geser

$$\phi = 0.55 \text{ (dinding khusus)}$$

Karena  $hw/lw = 1500/3000 = 0.5 < 2$ , maka diambil nilai  $\alpha_c = 3$

$$A_{cv} = lw \cdot t = 3000 \cdot 250 = 7.5 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

✓ Pengecekan kuat geser

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y) \\ &= 0.55 \cdot 7.5 \times 10^5 (3 \cdot \sqrt{31.4} + 0.0038 \cdot 400) \\ &= 7561418.23 \text{ N} = 7561.42 \text{ kN} \\ \phi V_n &> V_u = 1065.13 \text{ kN} \dots \text{OK!}\end{aligned}$$

- Cek kuat geser maksimum

$$\begin{aligned}\phi V_{nmax} &= \frac{5}{6} \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c} = \frac{5}{6} \cdot 7.5 \times 10^5 \cdot \sqrt{31.4} = 3502231.4 \text{ N} \\ &= 3502.2 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi V_{nmax} > V_u = 1065.13 \text{ kN} \dots \text{OK!}$$

**Gunakan D22-200 mm (1 sisi) untuk tulangan horisontal/geser**

#### 4.3.1.4 Pengecekan Sliding Shear (Pier)

- Cek kuat geser yang dihasilkan oleh 20D22 (Tulangan Lentur)

$$A_{vf} = 20 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2 \right) = 7602.65 \text{ mm}^2$$

$\mu = 1.0$  normal concrete

$$V_n = A_{vf} f_y \mu = (7602.65)(400)(1.0) = 3041061.7 \text{ N} = 3041.1 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.6(3041.1) = 1824.64 \text{ kN} > V_u = 1065.13 \text{ kN} \dots \text{OK!}$$

- *Limit the shear friction strength to  $0.20f'_c A_{cv}$  or  $5.5A_{cv}$*

$$\checkmark 0.20f'_c A_{cv} = 0.2(31.4)(7.5 \times 10^5) = 4.71 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\checkmark 5.5A_{cv} = 5.5(7.5 \times 10^5) = 4.125 \times 10^6 \text{ N}$$

$$V_n = \min(0.20f'_c A_{cv}; 5.5A_{cv}) = 4.125 \times 10^3 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.6(4.125 \times 10^3) = 2475 \text{ kN} > V_u = 1065.13 \text{ kN} \dots \text{OK!}$$

Dinding geser tidak mengalami *Sliding Shear*

#### 4.3.1.5 Pengecekan Boundary Element (Pier)

- *Stress Index Procedure*

$$I_g = \frac{1}{12} l_w^3 t = \frac{1}{12} \cdot 3000^3 \cdot 250 = 5.625 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$S_{yy} = \frac{I_g}{0.5l_w} = \frac{5.625 \times 10^{11} \text{ mm}^4}{0.5(3000 \text{ mm})} = 3.75 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$f_c = \frac{P_u 1000}{A_{cv}} + \frac{M_u 1000000}{S_{yy}}$$

$$f_c = \frac{(2748.03)1000}{7.5 \times 10^5} + \frac{(1462.5)1000000}{3.75 \times 10^8}$$

$$f_c = 7.56 \text{ MPa} > 0.2f'_c = 6.28 \text{ MPa}$$

Maka dibutuhkan *Boundary Element* dengan metodely *Stress Index Procedure*

#### 4.3.1.6 Pendimensionian Boundary Element (Pier)

- Rasio dari total tulangan:

$$\rho_n = \frac{A_{st}}{l_w t} = \frac{20(1/4\pi 22^2)}{2000(250)} = 0.0048$$

- Index tulangan longitudinal:

$$\omega = \rho_n \frac{f_y}{f'_c} = 0.0048 \left( \frac{400}{31.4} \right) = 0.06$$

- Parameter tegangan aksial:

$$\alpha = \frac{P_u}{l_w t f'_c} = \frac{2748.03 (1000)}{(3000)(200)(31.4)} = 0.15$$

For  $f'_c = 31.4 \text{ MPa}$ , factor  $\beta_1 = 0.85$

- Jarak terhadap garis netral:

$$c = \left( \frac{\alpha + \omega}{0.85\beta_1 + 2\omega} \right) l_w$$

$$c = \left( \frac{0.15 + 0.06}{0.85(0.85) + 2(0.06)} \right) (3000)$$

$$c = 747.8 \text{ mm}$$

- Lebar *boundary element*:

$$w_{be} = \max \left( c - 0.1l_w; \frac{c}{2} \right)$$

$$\checkmark c - 0.1l_w = 747.8 - 0.1(3000) = 447.8 \text{ mm}$$

$$\checkmark \frac{c}{2} = 373.85 \text{ mm}$$

Lebar *boundary element*,  $w_{be} = 300 \text{ mm}$

- Perpanjangan vertikal dari *boundary element* tidak boleh kurang dari:

$$l_e = \min \left( l_w; \frac{M_u 1000}{4V_u} \right)$$

$$\frac{M_u 1000}{4V_u} = \frac{1462.5 (1000)}{4(1065.13)} = 343.27 \text{ mm}$$

Perpanjangan vertikal minimum,  $l_e = 343.27 \text{ mm}$

- Spasi antar sengkang harus lebih kecil dari:  
Misal: digunakan tulangan D16 untuk sengkang

$$bx = 250 - (50 + 50) = 150 \text{ mm}$$

$$sx = 100 + \left( \frac{350 - bx}{3} \right) = 166.67 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \min(0.25t, 6D_{long}, sx)$$

$$\checkmark 0,25t = 0.25(250) = 62.5 \text{ mm}$$

$$\checkmark 6D_{long} = 6(22) = 132 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 50 \text{ mm}$$

- *Confinement* paralel dengan dinding

$$h_c = 250 - (40 + 40 + 22 + 16) = 132 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 0.09sh_c \frac{f_c'}{f_y}$$

$$A_{sh} = 0.09(50)(132) \left( \frac{31.4}{400} \right) = 46.63 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh \text{ provide}} = 2 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \right) = 401.92 \text{ mm}^2 > 46.63 \text{ mm}^2 \dots OK!$$

**Untuk penulangan *Boundary Element* paralel dengan wall gunakan 2D16**

- *Confinement* tegak lurus dengan dinding

$$h_c = 300 - (40 + 22 + 16) = 222 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 0.09(50)(222) \left( \frac{31.4}{400} \right) = 78.4 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh \text{ provide}} = 2 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \right) = 401.92 \text{ mm}^2 > 78.4 \text{ mm}^2 \dots OK!$$

**Untuk penulangan *Boundary Element* tegak lurus dengan wall gunakan 2D16**

#### 4.3.2 Penulangan Squat Wall (Spandrel)

Adapun Properti yang digunakan dalam mendesign Dinding Geser adalah :

- |                             |            |
|-----------------------------|------------|
| ▪ Lebar Dinding Geser (lw)  | = 2000 mm  |
| ▪ Tinggi Dinding Geser (hw) | = 2500 mm  |
| ▪ $f_c'$                    | = 31.4 MPa |
| ▪ $f_y$                     | = 400 Mpa  |
| ▪ Diameter tul. Vertikal    | = 16 mm    |
| ▪ Diameter tul. Horisontal  | = 16 mm    |
| ▪ Selimut beton             | = 50 mm    |

Dengan menggunakan program ETABS diperoleh output berupa gaya aksial, gaya geser, dan momen maksimum yang dialami oleh dinding geser. Hasilnya adalah sebagai berikut:

Pu diperoleh dari Kombinasi 7 = 428.7 kN

Vu diperoleh dari Kombinasi 9 = 1644.71 kN

Mu diperoleh dari Kombinasi 16 = 1604.4 kNm

#### 4.3.2.1 Penentuan Tebal Dinding Geser (*Spandrel*)

- *Maximum shear stress allowed :*

$$\tau_{lim} = 0,83\sqrt{f_c'} = 0,83\sqrt{31,4} = 4,65 \text{ MPa}$$

- *The required wall thickness :*

$$t = \frac{V_u 1000}{l_w \tau_{lim}} = \frac{(1604,4)(1000)}{(2 \times 10^3)(4,65)} = 172,52 \text{ mm}$$

Wall thickness provided  $h = t = 250 \text{ mm} \dots \text{OK!}$

#### 4.3.2.2 Penulangan Lentur Dinding Geser (*Spandrel*)

Dinding geser akan direncanakan dengan menggunakan tulangan lentur minimum ( $\rho = 0,01$ ), menggunakan cara penulangan lentur kolom :

$$A_s = \rho \cdot A_v = 0,01 \cdot 3000 \cdot 250 = 7500 \text{ mm}^2$$

$$n (D22) = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi_{tulangan}^2} = \frac{7500}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2} = 19,72 \approx 20 \text{ buah}$$

Untuk tulangan lentur dinding geser digunakan **20 buah D22**.

#### 4.3.2.3 Penulangan Geser Dinding Geser (*Spandrel*)

- Cek kebutuhan tulangan horisontal

$$d = 0,8 \cdot l_w = 0,8 \cdot 2000 = 1600 \text{ mm}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} h d = \frac{1}{6} \sqrt{31,4} \cdot 250 \cdot 1600 = 373571,35 \text{ N} = 373,6 \text{ kN}$$

$$\frac{\phi V_c}{2} = \frac{0,75 \cdot 373,6}{2} = 140,1 \text{ kN}$$

Karena  $V_u > \phi V_c / 2$ , maka diperlukan tulangan geser

- Kuat geser tulangan

$$V_s = \left( \frac{V_u}{\phi} - V_c \right) = \left( \frac{1644,71}{0,75} - 373,6 \right) = 1819,35 \text{ kN}$$

- Jarak antar tulangan (1 layer D22)

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2_{Horizontal} \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2 \\ &= 380.13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s \cdot 1000} = \frac{380.13 \cdot 400 \cdot 1600}{1819.35 \cdot 1000} = 133.7 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

- Syarat jarak antar tulangan

Menurut SNI 2002, jarak antar tulangan geser tidak boleh melebihi :

$$\begin{aligned} \checkmark \quad s &= \frac{lw}{5} = \frac{2000}{5} = 400 \text{ mm} \\ \checkmark \quad s &= 3 \cdot h = 3 \cdot 250 = 750 \text{ mm} \\ \checkmark \quad s &= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gunakan  $s = 100 \text{ mm}$

- Pengecekan ratio  $\rho_h > 0.0025$

$$\rho_h = \frac{A_v}{h \cdot s} = \frac{380.13}{250 \cdot 100} = 0.015 > 0.0025 \dots OK!$$

- Cek kuat geser

$$\phi = 0.55 \text{ (dinding khusus)}$$

Karena  $hw/lw = 2500/2000 = 1.25 < 2$ , maka diambil nilai  $\alpha_c = 3$

$$A_{cv} = lw \cdot t = 2000 \cdot 250 = 5 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

- ✓ Pengecekan kuat geser

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y) \\ &= 0.55 \cdot 5 \times 10^5 (3 \cdot \sqrt{31.4} + 0.015 \cdot 400) \\ &= 6272945.5 \text{ N} = 6272.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n > V_u = 1644.71 \text{ kN} \dots OK!$$

- Cek kuat geser maksimum

$$\begin{aligned} \phi V_{nmax} &= \frac{5}{6} \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c} = \frac{5}{6} \cdot 5 \times 10^5 \cdot \sqrt{31.4} = 2334820.9 \text{ N} \\ &= 2334.8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_{nmax} > V_u = 1644.71 \text{ kN} \dots OK!$$

**Gunakan D22-100 mm (1 sisi) untuk tulangan horisontal/geser**

#### 4.3.2.4 Pengecekan Sliding Shear (Spandrel)

- Cek kuat geser yang dihasilkan oleh 20D22 (Tulangan Lentur)

$$A_{vf} = 20 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2 \right) = 7602.65 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 1,0 \text{ normal concrete}$$

$$V_n = A_{vf} f_y \mu = (7602.65)(400)(1.0) = 3041061.7 \text{ N} = 3041.1 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.6(3041.1) = 1824.64 \text{ kN} > V_u = 1644.71 \text{ kN} \dots \text{OK!}$$

- *Limit the shear friction strength to  $0.20f'_c A_{cv}$  or  $5.5A_{cv}$*

$$\checkmark 0.20f'_c A_{cv} = 0.2(31.4) (5 \times 10^5) = 3.14 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\checkmark 5.5A_{cv} = 5.5 (5 \times 10^5) = 2.75 \times 10^6 \text{ N}$$

$$V_n = \min(0.20f'_c A_{cv}; 5.5A_{cv}) = 2.75 \times 10^3 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.6(2.75 \times 10^3) = 1650 \text{ kN} > V_u = 1644.71 \text{ kN} \dots \text{OK!}$$

Dinding geser tidak mengalami *Sliding Shear*

#### 4.3.2.5 Pengecekan Boundary Element (Spandrel)

- *Stress Index Procedure*

$$I_g = \frac{1}{12} l_w^3 t = \frac{1}{12} \cdot 2000^3 \cdot 250 = 1.67 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$S_{yy} = \frac{I_g}{0.5l_w} = \frac{1.67 \times 10^{11} \text{ mm}^4}{0.5(2000 \text{ mm})} = 1.67 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$f_c = \frac{P_u 1000}{A_{cv}} + \frac{M_u 1000000}{S_{yy}}$$

$$f_c = \frac{(428.7)1000}{5 \times 10^5} + \frac{(1604.4)1000000}{1.67 \times 10^8}$$

$$f_c = 10.5 \text{ MPa} > 0.2f'_c = 6.28 \text{ MPa}$$

Maka dibutuhkan *Boundary Element* dengan metodely *Stress Index Procedure*

#### 4.3.2.6 Pendimensionian *Boundary Element* (Spandrel)

- Rasio dari total tulangan:

$$\rho_n = \frac{A_{st}}{l_w t} = \frac{20(1/4\pi 22^2)}{2000(250)} = 0.0048$$

- Index tulangan longitudinal:

$$\omega = \rho_n \frac{f_y}{f_c'} = 0.0048 \left( \frac{400}{31.4} \right) = 0.06$$

- Parameter tegangan aksial:

$$\alpha = \frac{P_u}{l_w t f_c'} = \frac{428.7 (1000)}{(2000)(200)(31.4)} = 0.03$$

For  $f_c' = 31.4 \text{ MPa}$ , factor  $\beta_1 = 0.85$

- Jarak terhadap garis netral:

$$c = \left( \frac{\alpha + \omega}{0.85\beta_1 + 2\omega} \right) l_w$$

$$c = \left( \frac{0.03 + 0.06}{0.85(0.85) + 2(0.06)} \right) (2000)$$

$$c = 213.65 \text{ mm}$$

- Lebar *boundary element*:

$$w_{be} = \max \left( c - 0.1l_w; \frac{c}{2} \right)$$

$$\checkmark c - 0.1l_w = 213.65 - 0.1(2000) = 13.65 \text{ mm}$$

$$\checkmark \frac{c}{2} = 106.8 \text{ mm}$$

Lebar *boundary element*,  $w_{be} = 100 \text{ mm}$

- Perpanjangan vertikal dari *boundary element* tidak boleh kurang dari:

$$l_e = \min \left( l_w; \frac{M_u 1000}{4V_u} \right)$$

$$\frac{M_u 1000}{4V_u} = \frac{1604.4 (1000)}{4(1644.71)} = 243.87 \text{ mm}$$

Perpanjangan vertikal minimum,  $l_e = 243.87 \text{ mm}$

- Spasi antar sengkang harus lebih kecil dari:

Misal: digunakan tulangan D16 untuk sengkang

$$bx = 250 - (50 + 50) = 150 \text{ mm}$$

$$sx = 100 + \left( \frac{350 - bx}{3} \right) = 166.67 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \min(0.25t, 6D_{long}, sx)$$

$$\checkmark 0.25t = 0.25(250) = 62.5 \text{ mm}$$

$$\checkmark 6D_{long} = 6(22) = 132 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 50 \text{ mm}$$

- *Confinement* paralel dengan dinding

$$h_c = 250 - (40 + 40 + 22 + 16) = 132 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 0.09 s h_c \frac{f_c'}{f_y}$$



$$A_{sh} = 0.09(50)(132) \left( \frac{31.4}{400} \right) = 46.63 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh \text{ provide}} = 2 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \right) = 401.92 \text{ mm}^2 > 46.63 \text{ mm}^2 \dots \text{OK!}$$

**Untuk penulangan *Boundary Element* paralel dengan *wall* gunakan 2D16**

- *Confinement* tegak lurus dengan dinding

$$h_c = 100 - (40 + 22 + 16) = 22 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 0.09(50)(22) \left( \frac{31.4}{400} \right) = 7.78 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh \text{ provide}} = 2 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \right) = 401.92 \text{ mm}^2 > 7.78 \text{ mm}^2 \dots \text{OK!}$$

**Untuk penulangan *Boundary Element* tegak lurus dengan *wall* gunakan 2D16**

#### 4.3.3 Penulangan Kolom

Kolom	Gaya Aksial [kN]	Gaya Geser [kN]	Momen Lentur [kNm]
Lantai 1	1075.48	40.23	37.713
	-3114.27	-40.23	-37.712
Lantai 2	596.81	30.77	24.082
	-2738.65	-30.77	-24.082
Lantai 3	362.94	29.19	26.856
	-2350.13	-29.19	-26.853
Lantai 4	190.23	26.4	31.483
	-1955.01	-26.4	-31.48
Lantai 5	85.18	22.95	34.772
	-1555.21	-22.95	-34.769
Lantai 6	42.81	18.59	36.637
	-1152.42	-18.59	-36.634
Lantai 7	18.94	17.99	36.67
	-748.53	-17.99	-36.666
Lantai 8	11.26	20.93	45.678
	-341.43	-20.93	-45.679

##### 4.3.3.1 Properti Kolom

- $f_c'$  = 30 MPa
- $f_y$  = 400 Mpa
- Selimut beton = 40 mm
- Dimensi kolom = 400 mm x 400 mm

#### 4.3.3.2 Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain

- Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom melebihi

$$\frac{A_g f_c'}{10}$$

$$\frac{A_g f_c'}{10} = \frac{(400 \times 400) \times 30}{10} = 480000 \text{ N} = 480 \text{ kN}$$

Gaya aksial terfaktor maksimum = 3114.27 kN...OK!

- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm

Sisi terpendek kolom =  $d = 400 \text{ mm}$ ...OK!

- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0.4

Rasio antara  $b$  dan  $d = 400\text{mm}/400\text{mm} = 1$ ...OK!

#### 4.3.3.3 Konfigurasi Penulangan Longitudinal

Kolom 400 mm x 400 mm dengan 12 baja tulangan D20mm

$$\rho_g = \frac{(0.25 \times \pi \times 20^2) \times 12}{400 \times 400} = 0.0236$$

$$0.01 < \rho_g < 0.06$$

#### 4.3.3.4 Kuat Lentur Kolom

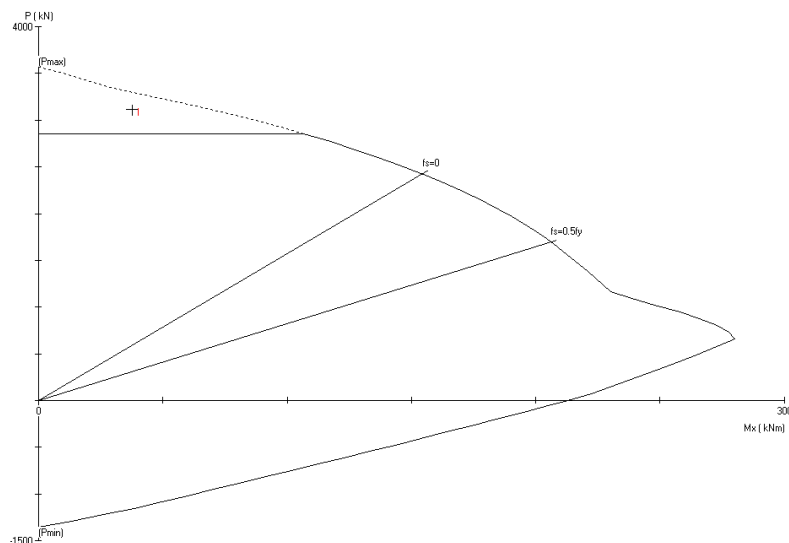
$$A_s = (0.25 \times \pi \times 20^2) \times 12 = 3769.9 \text{ mm}^2$$

$$d = 400 - 40 - 10 - 0.5 \times 20 = 340 \text{ mm}$$

$$M_n = f_y \times A_s \left( d - \frac{f_y \times A_s}{1.7 \times f_c' \times b} \right)$$

$$M_n = 400 \times 3769.9 \left( 340 - \frac{400 \times 3769.9}{1.7 \times 30 \times 400} \right)$$

$$M_n = 401.24 \text{ kNm}$$



## 4.3.3.5 Konfigurasi Penulangan Geser

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \cdot \left( 1 + \frac{1 \cdot P_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \\
 &= \frac{1}{6} \cdot \left( 1 + \frac{1 \cdot 3114.27 \times 10^3}{14 \cdot 400^2} \right) \cdot \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 340 \\
 &= 172606.42 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \cdot 0.75 \cdot 172606.42 = 64727.41 \text{ N} = 64.72 \text{ kN}$$

$$V_u = 45.68 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c > V_u \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser}$$

$$S_{max} = \frac{d}{2} = \frac{340}{2} = 190 \text{ mm}$$

S yang digunakan = 150 mm

#### 4.4 Perencanaan Penulangan Gedung 12 Lantai

##### 4.4.1 Penulangan Squat Wall (Pier)

Adapun Properti yang digunakan dalam mendesign Dinding Geser adalah :

- Lebar Dinding Geser ( $l_w$ ) = 3000 mm
- Tinggi Dinding Geser ( $h_w$ ) = 1500 mm
- $f_c'$  = 43.7 MPa
- $f_y$  = 400 Mpa
- Diameter tul. Vertikal = 20 mm
- Diameter tul. Horizontal = 20 mm
- Selimut beton = 50 mm

Dengan menggunakan program ETABS diperoleh output berupa gaya aksial, gaya geser, dan momen maksimum yang dialami oleh dinding geser. Hasilnya adalah sebagai berikut:

Pu diperoleh dari Kombinasi 3 = 6209.75 kN

Vu diperoleh dari Kombinasi 4 = 1951.9 kN

Mu diperoleh dari Kombinasi 3 = 2739.2 kNm

##### 4.4.2 Penentuan Tebal Dinding Geser (Pier)

- *Maximum shear stress allowed :*

$$\tau_{lim} = 0.83\sqrt{f_c'} = 0.83\sqrt{43.7} = 5.49 \text{ MPa}$$

- *The required wall thickness :*

$$t = \frac{V_u 1000}{l_w \tau_{lim}} = \frac{(1951.9)(1000)}{(3 \times 10^3)(5.49)} = 118.5 \text{ mm}$$

Wall thickness provided  $h = t = 300 \text{ mm} \dots \text{OK!}$

##### 4.4.3 Penulangan Lentur Dinding Geser (Pier)

Dinding geser akan direncanakan dengan menggunakan tulangan lentur minimum ( $\rho = 0.01$ ), menggunakan cara penulangan lentur kolom :

$$A_s = \rho \cdot A_v = 0.01 \cdot 3000 \cdot 300 = 9000 \text{ mm}^2$$

$$n (D22) = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi_{tulangan}^2} = \frac{9000}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2} = \mathbf{23.67 \text{ buah}}$$

Untuk tulangan lentur dinding geser digunakan **24 buah D22**.

#### 4.4.4 Penulangan Geser Dinding Geser (*Pier*)

- Cek kebutuhan tulangan horisontal

$$d = 0.8 \cdot lw = 0.8 \cdot 3000 = 2400 \text{ mm}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} h d = \frac{1}{6} \sqrt{43.7} \cdot 300 \cdot 2400 = 793271.7 \text{ N} = 793.3 \text{ kN}$$

$$\frac{\phi V_c}{2} = \frac{0.75 \cdot 793.3}{2} = 297.5 \text{ kN}$$

Karena  $V_u > \phi V_c / 2$ , maka diperlukan tulangan geser

- Kuat geser tulangan

$$V_s = \left( \frac{V_u}{\phi} - V_c \right) = \left( \frac{1951.9}{0.75} - 793.3 \right) = 1809.23 \text{ kN}$$

- Jarak antar tulangan (2 layer D22)

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2_{\text{Horizontal}}$$

$$= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2$$

$$= 760.3 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s \cdot 1000} = \frac{760.3 \cdot 400 \cdot 2400}{1809.23 \cdot 1000} = 403.42 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

- Syarat jarak antar tulangan

Menurut SNI 2002, jarak antar tulangan geser tidak boleh melebihi :

$$\checkmark s = \frac{lw}{5} = \frac{3000}{5} = 1200 \text{ mm}$$

$$\checkmark s = 3 \cdot h = 3 \cdot 300 = 900 \text{ mm}$$

$$\checkmark s = 450 \text{ mm}$$

Gunakan  $s = 400 \text{ mm}$

- Pengecekan ratio  $\rho h > 0.0025$

$$\rho h = \frac{A_v}{h \cdot s} = \frac{760.63}{300 \cdot 400} = 0.0063 > 0.0025 \dots \text{OK!}$$

- Cek kuat geser

$$\phi = 0.55 \text{ (dinding khusus)}$$

Karena  $hw/lw = 1500/3000 = 0.5 < 2$ , maka diambil nilai  $\alpha_c = 3$

$$A_{cv} = lw \cdot t = 3000 \cdot 300 = 9 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

✓ Pengecekan kuat geser

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y) \\ &= 0.55 \cdot 9 \times 10^5 (3 \cdot \sqrt{43.7} + 0.007 \cdot 400) \\ &= 11202737.4 \text{ N} = 11202.7 \text{ kN} \\ \phi V_n &> V_u = 1951.9 \text{ kN} \dots \text{OK!}\end{aligned}$$

- Cek kuat geser maksimum

$$\begin{aligned}\phi V_{nmax} &= \frac{5}{6} \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c} = \frac{5}{6} \cdot 9 \times 10^5 \cdot \sqrt{43.7} = 4957948.2 \text{ N} \\ &= 4957.9 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi V_{nmax} > V_u = 1951.9 \text{ kN} \dots \text{OK!}$$

**Gunakan D20-300 mm (2 sisi) untuk tulangan horisontal/geser**

#### 4.4.4.1 Pengecekan Sliding Shear (Pier)

- Cek kuat geser yang dihasilkan oleh 24D22 (Tulangan Lentur)

$$A_{vf} = 24 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2 \right) = 9123.18 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 1.0 \text{ normal concrete}$$

$$V_n = A_{vf} f_y \mu = (9123.18)(400)(1.0) = 3649274.03 \text{ N} = 3649.27 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.6(3649.27) = 2189.56 \text{ kN} > V_u = 1951.9 \text{ kN} \dots \text{OK!}$$

- *Limit the shear friction strength to  $0.20 f'_c A_{cv}$  or  $5.5 A_{cv}$*

$$\checkmark 0.20 f'_c A_{cv} = 0.2(31.4) (9 \times 10^5) = 5.652 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\checkmark 5.5 A_{cv} = 5.5 (9 \times 10^5) = 4.95 \times 10^6 \text{ N}$$

$$V_n = \min(0.20 f'_c A_{cv}; 5.5 A_{cv}) = 4.95 \times 10^3 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.6(4.95 \times 10^3) = 2970 \text{ kN} > V_u = 1951.9 \text{ kN} \dots \text{OK!}$$

Dinding geser tidak mengalami *Sliding Shear*

#### 4.4.4.2 Pengecekan Boundary Element (Pier)

- *Stress Index Procedure*

$$I_g = \frac{1}{12} l_w^3 t = \frac{1}{12} \cdot 3000^3 \cdot 300 = 6.75 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$S_{yy} = \frac{I_g}{0.5 l_w} = \frac{6.75 \times 10^{11} \text{ mm}^4}{0.5(3000 \text{ mm})} = 4.5 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$f_c = \frac{P_u 1000}{A_{cv}} + \frac{M_u 1000000}{S_{yy}}$$

$$f_c = \frac{(6209.75)1000}{9 \times 10^5} + \frac{(2739.2)1000000}{4.5 \times 10^8}$$

$$f_c = 12.98 \text{ MPa} > 0.2f'_c = 8.74 \text{ MPa}$$

Maka dibutuhkan *Boundary Element* dengan metodely *Stress Index Procedure*

#### 4.4.4.3 Pendimensian *Boundary Element* (Spandrel)

- Rasio dari total tulangan:

$$\rho_n = \frac{A_{st}}{l_w t} = \frac{24(1/4\pi 22^2)}{3000(300)} = 0.01$$

- Index tulangan longitudinal:

$$\omega = \rho_n \frac{f_y}{f'_c} = 0.01 \left( \frac{400}{43.7} \right) = 0.09$$

- Parameter tegangan aksial:

$$\alpha = \frac{P_u}{l_w t f'_c} = \frac{6209.75 (1000)}{(3000)(300)(43.7)} = 0.16$$

For  $f'_c = 43.7 \text{ MPa}$ , factor  $\beta_1 = 0.85$

- Jarak terhadap garis netral:

$$c = \left( \frac{\alpha + \omega}{0.85\beta_1 + 2\omega} \right) l_w$$

$$c = \left( \frac{0.16 + 0.09}{0.85(0.85) + 2(0.09)} \right) (3000)$$

$$c = 831 \text{ mm}$$

- Lebar *boundary element*:

$$w_{be} = \max \left( c - 0.1l_w; \frac{c}{2} \right)$$

$$\checkmark c - 0.1l_w = 831 - 0.1(3000) = 531 \text{ mm}$$

$$\checkmark \frac{c}{2} = 415.5 \text{ mm}$$

Lebar *boundary element*,  $w_{be} = 300 \text{ mm}$

- Perpanjangan vertikal dari *boundary element* tidak boleh kurang dari:

$$l_e = \min \left( l_w; \frac{M_u 1000}{4V_u} \right)$$

$$\frac{M_u 1000}{4V_u} = \frac{2739.2 (1000)}{4(1951.9)} = 350.84 \text{ mm}$$

Perpanjangan vertikal minimum,  $l_e = 350.84 \text{ mm}$

- Spasi antar sengkang harus lebih kecil dari:  
Misal: digunakan tulangan D16 untuk sengkang

$$bx = 300 - (50 + 50) = 200 \text{ mm}$$

$$sx = 100 + \left( \frac{350 - bx}{3} \right) = 150 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \min(0.25t, 6D_{long}, sx)$$

$$\checkmark 0,25t = 0.25(300) = 75 \text{ mm}$$

$$\checkmark 6D_{long} = 6(20) = 120 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 75 \text{ mm}$$

- *Confinement* paralel dengan dinding

$$h_c = 300 - (40 + 40 + 22 + 16) = 182 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 0.09sh_c \frac{f_c'}{f_y}$$

$$A_{sh} = 0.09(75)(182) \left( \frac{43.7}{400} \right) = 134.2 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh \text{ provide}} = 2 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \right) = 401.92 \text{ mm}^2 > 134.2 \text{ mm}^2 \dots \text{OK!}$$

**Untuk penulangan *Boundary Element* paralel dengan *wall* gunakan 2D16**

- *Confinement* tegak lurus dengan dinding

$$h_c = 300 - (40 + 22 + 16) = 222 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 0.09(75)(222) \left( \frac{43.7}{400} \right) = 163.7 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh \text{ provide}} = 2 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \right) = 401.92 \text{ mm}^2 > 163.7 \text{ mm}^2 \dots \text{OK!}$$

**Untuk penulangan *Boundary Element* tegak lurus dengan *wall* gunakan 2D16**

#### 4.4.5 Penulangan Squat Wall (Spandrel)

Adapun Properti yang digunakan dalam mendesign Dinding Geser adalah :

- |                             |            |
|-----------------------------|------------|
| ▪ Lebar Dinding Geser (lw)  | = 2000 mm  |
| ▪ Tinggi Dinding Geser (hw) | = 2500 mm  |
| ▪ $f_c'$                    | = 43.7 MPa |
| ▪ $f_y$                     | = 400 Mpa  |
| ▪ Diameter tul. Vertikal    | = 20 mm    |
| ▪ Diameter tul. Horisontal  | = 20 mm    |
| ▪ Selimut beton             | = 50 mm    |



Dengan menggunakan program ETABS diperoleh output berupa gaya aksial, gaya geser, dan momen maksimum yang dialami oleh dinding geser. Hasilnya adalah sebagai berikut:

Pu diperoleh dari Kombinasi 3	= 996.35 kN
Vu diperoleh dari Kombinasi 5	= 3136.13 kN
Mu diperoleh dari Kombinasi 5	= 3092.7 kNm

#### 4.4.5.1 Penentuan Tebal Dinding Geser (*Spandrel*)

- *Maximum shear stress allowed :*

$$\tau_{lim} = 0,83\sqrt{f_c'} = 0,83\sqrt{43,7} = 5,49 \text{ MPa}$$

- *The required wall thickness :*

$$t = \frac{V_u 1000}{l_w \tau_{lim}} = \frac{(3136,13)(1000)}{(2 \times 10^3)(5,49)} = 285,62 \text{ mm}$$

Wall thickness provided  $h = t = 300 \text{ mm} \dots \text{OK!}$

#### 4.4.6 Penulangan Lentur Dinding Geser (*Spandrel*)

Dinding geser akan direncanakan dengan menggunakan tulangan lentur minimum ( $\rho = 0,01$ ), menggunakan cara penulangan lentur kolom :

$$A_s = \rho \cdot A_v = 0,01 \cdot 3000 \cdot 300 = 9000 \text{ mm}^2$$

$$n (D22) = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi_{tulangan}^2} = \frac{9000}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2} = 23,7 \approx 24 \text{ buah}$$

Untuk tulangan lentur dinding geser digunakan **35 buah D22**.

#### 4.4.6.1 Penulangan Geser Dinding Geser (*Spandrel*)

- Cek kebutuhan tulangan horisontal

$$d = 0,8 \cdot l_w = 0,8 \cdot 2000 = 1600 \text{ mm}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} h d = \frac{1}{6} \sqrt{43,7} \cdot 300 \cdot 1600 = 528847,8 \text{ N} = 528,85 \text{ kN}$$

$$\frac{\phi V_c}{2} = \frac{0,75 \cdot 528,85}{2} = 198,32 \text{ kN}$$

Karena  $V_u > \phi V_c / 2$ , maka diperlukan tulangan geser

- Kuat geser tulangan

$$V_s = \left( \frac{V_u}{\phi} - V_c \right) = \left( \frac{3136,13}{0,75} - 528,85 \right) = 3652,7 \text{ kN}$$

- Jarak antar tulangan (2 layer D22)

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2_{Horizontal}$$

$$= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2$$

$$= 760.3 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s \cdot 1000} = \frac{760.3 \cdot 400 \cdot 1600}{3652.7 \cdot 1000} = 133.2 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

- Syarat jarak antar tulangan

Menurut SNI 2002, jarak antar tulangan geser tidak boleh melebihi :

$$\checkmark s = \frac{lw}{5} = \frac{2000}{5} = 400 \text{ mm}$$

$$\checkmark s = 3 \cdot h = 3 \cdot 300 = 900 \text{ mm}$$

$$\checkmark s = 450 \text{ mm}$$

Gunakan  $s = 100 \text{ mm}$

- Pengecekan ratio  $\rho_h > 0.0025$

$$\rho_h = \frac{A_v}{h \cdot s} = \frac{628.32}{300 \cdot 100} = 0.02 > 0.0025 \dots OK!$$

- Cek kuat geser

$$\phi = 0.55 \text{ (dinding khusus)}$$

Karena  $hw/lw = 2500/2000 = 1.25 < 2$ , maka diambil nilai  $\alpha_c = 3$

$$A_{cv} = lw \cdot t = 2000 \cdot 300 = 6 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

✓ Pengecekan kuat geser

$$\phi V_n = \phi A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f_c'} + \rho_n f_y)$$

$$= 0.55 \cdot 6 \times 10^5 (3 \cdot \sqrt{43.7} + 0.02 \cdot 400)$$

$$= 9184491.6 \text{ N} = 9184.5 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u = 3136.13 \text{ kN} \dots OK!$$

- Cek kuat geser maksimum

$$\phi V_{nmax} = \frac{5}{6} \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f_c'} = \frac{5}{6} \cdot 6 \times 10^5 \cdot \sqrt{43.7} = 3305298.8 \text{ N}$$

$$= 3305.3 \text{ kN}$$

$$\phi V_{nmax} > V_u = 3136.13 \text{ kN} \dots OK!$$

**Gunakan D20-100 mm (2 sisi) untuk tulangan horisontal/geser**

#### 4.4.6.2 Pengecekan Sliding Shear (Spandrel)

- Cek kuat geser yang dihasilkan oleh 35D22 (Tulangan Lentur)

$$A_{vf} = 35 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2 \right) = 13304.64 \text{ mm}^2$$

$$\mu = 1,0 \text{ normal concrete}$$

$$V_n = A_{vf} f_y \mu = (13304.64)(400)(1.0) = 5321856 \text{ N} = 5321.9 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.6(5321.9) = 3193.1 \text{ kN} > V_u = 3136.13 \text{ kN} \dots \text{OK!}$$

- *Limit the shear friction strength to  $0,20f'_c A_{cv}$  or  $5,5A_{cv}$*

$$\checkmark 0.20f'_c A_{cv} = 0.2(43.7) (6 \times 10^5) = 5.244 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\checkmark 5.5A_{cv} = 5.5 (6 \times 10^5) = 3.3 \times 10^6 \text{ N}$$

$$V_n = \min(0.20f'_c A_{cv}; 5.5A_{cv}) = 3.3 \times 10^3 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0.6(3.3 \times 10^3) = 1980 \text{ kN} < V_u = 3136.13 \text{ kN} \dots \text{OK!}$$

Dinding geser tidak mengalami *Sliding Shear*

#### 4.4.6.3 Pengecekan Boundary Element (Spandrel)

- *Stress Index Procedure*

$$I_g = \frac{1}{12} l_w^3 t = \frac{1}{12} \cdot 2000^3 \cdot 300 = 2 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$S_{yy} = \frac{I_g}{0.5l_w} = \frac{2 \times 10^{11} \text{ mm}^4}{0.5(2000 \text{ mm})} = 2 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$f_c = \frac{P_u 1000}{A_{cv}} + \frac{M_u 1000000}{S_{yy}}$$

$$f_c = \frac{(996.35)1000}{6 \times 10^5} + \frac{(3092.7)1000000}{2 \times 10^8}$$

$$f_c = 17.12 \text{ MPa} > 0.2f'_c = 8.74 \text{ MPa}$$

Maka dibutuhkan *Boundary Element* dengan metodely *Stress Index Procedure*

#### 4.4.6.4 Pendimensian *Boundary Element* (Spandrel)

- Rasio dari total tulangan:

$$\rho_n = \frac{A_{st}}{l_w t} = \frac{35(1/4\pi 22^2)}{2000(300)} = 0.022$$

- Index tulangan longitudinal:

$$\omega = \rho_n \frac{f_y}{f_c'} = 0.022 \left( \frac{400}{43.7} \right) = 0.2$$

- Parameter tegangan aksial:

$$\alpha = \frac{P_u}{l_w t f_c'} = \frac{996.35 (1000)}{(2000)(300)(43.7)} = 0.038$$

For  $f_c' = 43.7 \text{ MPa}$ , factor  $\beta_1 = 0,85$

- Jarak terhadap garis netral:

$$c = \left( \frac{\alpha + \omega}{0.85\beta_1 + 2\omega} \right) l_w$$

$$c = \left( \frac{0.038 + 0.2}{0.85(0.85) + 2(0.2)} \right) (2000)$$

$$c = 424 \text{ mm}$$

- Lebar *boundary element*:

$$w_{be} = \max \left( c - 0.1l_w; \frac{c}{2} \right)$$

$$\checkmark c - 0.1l_w = 424 - 0.1(2000) = 224 \text{ mm}$$

$$\checkmark \frac{c}{2} = 212 \text{ mm}$$

Lebar *boundary element*,  $w_{be} = 200 \text{ mm}$

- Perpanjangan vertikal dari *boundary element* tidak boleh kurang dari:

$$l_e = \min \left( l_w; \frac{M_u 1000}{4V_u} \right)$$

$$\frac{M_u 1000}{4V_u} = \frac{3092.7 (1000)}{4(3136.13)} = 246.54 \text{ mm}$$

Perpanjangan vertikal minimum,  $l_e = 246.54 \text{ mm}$

- Spasi antar sengkang harus lebih kecil dari:

Misal: digunakan tulangan D16 untuk sengkang

$$bx = 300 - (50 + 50) = 200 \text{ mm}$$

$$sx = 100 + \left( \frac{350 - bx}{3} \right) = 150 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \min(0.25t, 6D_{long}, sx)$$

$$\checkmark 0.25t = 0.25(300) = 75 \text{ mm}$$

$$\checkmark 6D_{long} = 6(20) = 120 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 75 \text{ mm}$$

- *Confinement* paralel dengan dinding

$$h_c = 300 - (40 + 40 + 22 + 16) = 182 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 0.09s h_c \frac{f_c'}{f_y}$$

$$A_{sh} = 0.09(75)(182) \left( \frac{43.7}{400} \right) = 134.21 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh \text{ provide}} = 2 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \right) = 401.92 \text{ mm}^2 > 134.21 \text{ mm}^2 \dots OK!$$

**Untuk penulangan *Boundary Element* paralel dengan *wall* gunakan 2D16**

- *Confinement* tegak lurus dengan dinding

$$h_c = 200 - (40 + 22 + 16) = 122 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 0.09(75)(122) \left( \frac{43.7}{400} \right) = 89.97 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh \text{ provide}} = 2 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \right) = 401.92 \text{ mm}^2 > 89.97 \text{ mm}^2 \dots OK!$$

**Untuk penulangan *Boundary Element* tegak lurus dengan *wall* gunakan 2D16**

#### 4.4.7 Penulangan Kolom

Kolom	Gaya Aksial [kN]	Gaya Geser [kN]	Momen Lentur [kNm]
Lantai 1	3282.72	156.02	168.166
	-5170.01	-156.02	-168.164
Lantai 2	2276.86	118.95	96.392
	-4063.09	-118.95	-96.392
Lantai 3	1750.85	116.89	93.969
	-3587.47	-116.9	-93.969
Lantai 4	1346.26	112.39	89.577
	-3212.8	-112.39	-89.577
Lantai 5	1011.91	106.04	83.724
	-2842.32	-106.04	-83.724
Lantai 6	724.23	98.49	94.79
	-2478.2	-98.49	-94.79
Lantai 7	363.34	34.98	48.837
	-2111.68	-34.98	-48.837
Lantai 8	233.17	30.97	58.273
	-1743.66	-30.97	-58.273
Lantai 9	147.38	29.22	60.393
	-1380.08	-29.22	-60.392
Lantai 10	93.44	30.13	61.703
	-1019.01	-30.13	-61.702
Lantai 11	55.7	30.06	60.979
	-660.97	-30.06	-60.977
Lantai 12	28.53	34.28	72.464
	-308.49	-34.28	-72.46

## 4.4.7.1 Properti Kolom (Lantai 1-6)

- $f_c'$  = 30 MPa
- $f_y$  = 400 Mpa
- Selimut beton = 40 mm
- Dimensi kolom = 500 mm x 500 mm

## 4.4.7.2 Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain (Lantai 1-6)

- Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom melebihi

$$\frac{A_g f_c'}{10}$$

$$\frac{A_g f_c'}{10} = \frac{(500 \times 500) \times 30}{10} = 750000 \text{ N} = 750 \text{ kN}$$

Gaya aksial terfaktor maksimum = 2111.68 kN...OK!

- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm  
Sisi terpendek kolom =  $d = 500 \text{ mm}$ ...OK!
- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0.4  
Rasio antara  $b$  dan  $d = 500\text{mm}/500\text{mm} = 1$ ...OK!

## 4.4.7.3 Konfigurasi Penulangan Longitudinal (Lantai 1-6)

Kolom 500 mm x 500 mm dengan 16 baja tulangan D29

$$\rho_g = \frac{(0.25 \times \pi \times 29^2) \times 16}{500 \times 500} = 0.04$$

$$0.01 < \rho_g < 0.06$$

## 4.4.7.4 Kuat Lentur Kolom (Lantai 1-6)

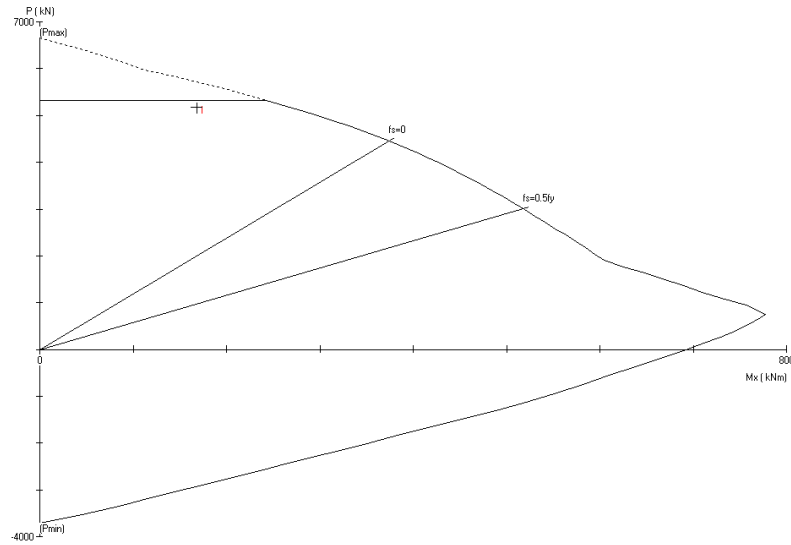
$$A_s = (0.25 \times \pi \times 29^2) \times 16 = 10568.32 \text{ mm}^2$$

$$d = 500 - 40 - 10 - 0.5 \times 29 = 435.5 \text{ mm}$$

$$M_n = f_y \times A_s \left( d - \frac{f_y \times A_s}{1.7 \times f_c' \times b} \right)$$

$$M_n = 400 \times 10568.32 \left( 340 - \frac{400 \times 10568.32}{1.7 \times 30 \times 500} \right)$$

$$M_n = 736.5 \text{ kNm}$$



#### 4.4.7.5 Konfigurasi Penulangan Geser (Lantai 1-6)

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \left( 1 + \frac{1 \cdot P_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \cdot \left( 1 + \frac{1 \cdot 5170.01 \times 10^3}{14 \cdot 500^2} \right) \cdot \sqrt{30} \cdot 500 \cdot 435.5$$

$$= 492401.19 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \cdot 0.75 \cdot 492401.19 = 184650.5 \text{ N} = 184.65 \text{ kN}$$

$$V_u = 156.02 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c > V_u \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser}$$

$$S_{max} = \frac{d}{2} = \frac{435.5}{2} = 217.75 \text{ mm}$$

S yang digunakan = 200 mm

## 4.4.7.6 Properti Kolom (Lantai 7-12)

- $f_c'$  = 30 MPa
- $f_y$  = 400 Mpa
- Selimut beton = 40 mm
- Dimensi kolom = 400 mm x 400 mm

## 4.4.7.7 Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain (Lantai 7-12)

- Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom melebihi  $\frac{A_g f_c'}{10}$

$$\frac{A_g f_c'}{10} = \frac{(400 \times 400) \times 30}{10} = 480000 \text{ N} = 480 \text{ kN}$$

Gaya aksial terfaktor maksimum = 3056.35 kN...OK!

- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm  
Sisi terpendek kolom = d = 400 mm...OK!
- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0.4  
Rasio antara b dan d = 400mm/400mm = 1...OK!

## 4.4.7.8 Konfigurasi Penulangan Longitudinal (Lantai 7-12)

Kolom 400 mm x 400 mm dengan 8 baja tulangan D29

$$\rho_g = \frac{(0.25 \times \pi \times 29^2) \times 8}{400 \times 400} = 0.032$$

$$0.01 < \rho_g < 0.06$$

## 4.4.7.9 Kuat Lentur Kolom (Lantai 7-12)

$$A_s = (0.25 \times \pi \times 29^2) \times 8 = 5284.16 \text{ mm}^2$$

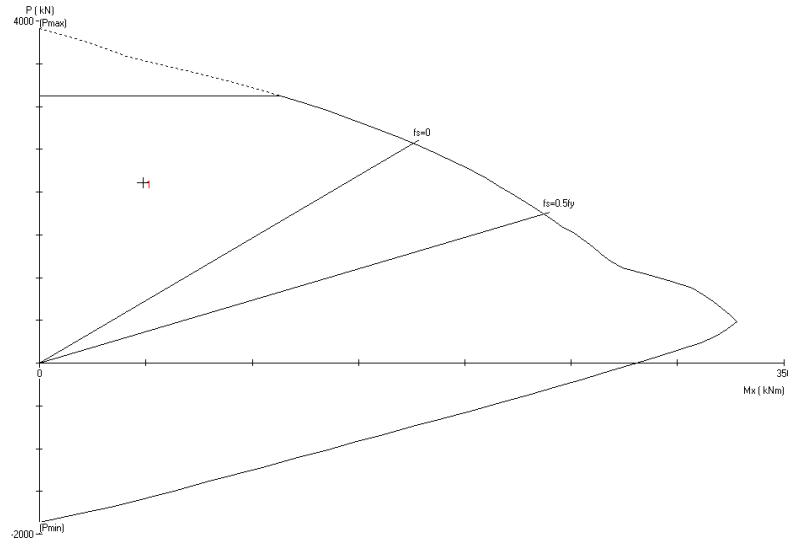
$$d = 400 - 40 - 10 - 0.5 \times 29 = 335.5 \text{ mm}$$

$$M_n = f_y \times A_s \left( d - \frac{f_y \times A_s}{1.7 \times f_c' \times b} \right)$$

$$M_n = 400 \times 5284.16 \left( 335.5 - \frac{400 \times 5284.16}{1.7 \times 30 \times 400} \right)$$

$$M_n = 490.13 \text{ kNm}$$





#### 4.4.7.10 Konfigurasi Penulangan Geser (Lantai 7-12)

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \left( 1 + \frac{1 \cdot P_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \cdot \left( 1 + \frac{1 \cdot 2111.68 \times 10^3}{14 \cdot 400^2} \right) \cdot \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 335.5$$

$$= 237996.64 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \cdot 0.75 \cdot 237996.64 = 89248.74 \text{ N} = 89.25 \text{ kN}$$

$$V_u = 34.98 \text{ kN}$$

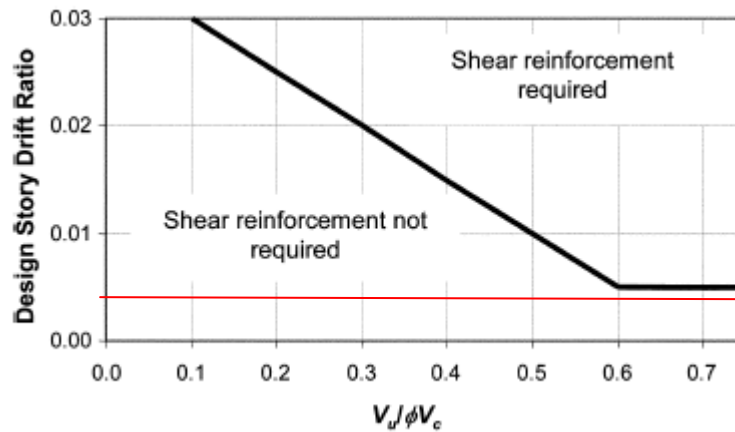
$$\frac{1}{2} \phi V_c > V_u \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser}$$

$$S_{max} = \frac{d}{2} = \frac{335.5}{2} = 167.75 \text{ mm}$$

S yang digunakan = 150 mm

#### 4.5 Perencanaan Pelat Lantai

Sesuai dengan persyaratan pada ACI 318-05, perencanaan dimulai dengan menentukan apakah pelat memerlukan tulangan geser atau tidak. Analisa dilakukan dengan membandingkan nilai *drift* terhadap grafik berikut



Gedung	Lantai	Drift Ratio	Gedung	Lantai	Drift Ratio
1	4	0.00035	3	12	0.003472
	3	0.0005285		11	0.003808
	2	0.00063		10	0.004102
	1	0.0006125		9	0.00433
2	8	0.001316		8	0.004477
	7	0.001624		7	0.004533
	6	0.0018795		6	0.004498
	5	0.002058		5	0.004358
	4	0.0021455		4	0.004109
	3	0.002135		3	0.003749
	2	0.0020055		2	0.003252
	1	0.0016905		1	0.002531

Sesuai dengan tabel rasio drift di atas, nilai drift berada di bawah batas drift minimum yaitu 0.05 sehingga pelat tidak memerlukan tulangan geser. Pelat dapat dianggap hanya berfungsi sebagai penahan gaya gravitasi saja sehingga digunakanlah *direct design method* untuk merencanakan penulangan pelat. Adapun Properti yang digunakan dalam mendesign pelat adalah:

- $f_c' = 30 \text{ MPa}$
- $f_y = 400 \text{ Mpa}$
- $L_x = 5 \text{ m}$
- $L_y = 5 \text{ m}$

#### 4.5.1 Pembebanan Pelat

- **Beban Mati**

Berat pelat	$= 0.25 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3$	$= 6 \text{ kN/m}^2$
Partisi		$= 1.1 \text{ kN/m}^2$
Mortar		$= 0.2 \text{ kN/m}^2$
MEP		$= 1 \text{ kN/m}^2$
Total ( $Q_{DL}$ )		$= 8.3 \text{ kN/m}^2$

- **Beban Hidup**

Dak atap ( $Q_{LL}$ )		$= 1 \text{ kN/m}^2$
Pelat lantai ( $Q_{LL}$ )		$= 2.5 \text{ kN/m}^2$

- **Beban Ultimit**

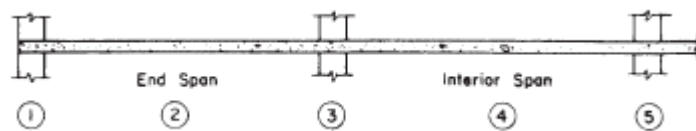
Dak atap ( $Q_U$ )		$= 11.56 \text{ kN/m}^2$
Pelat lantai ( $Q_U$ )		$= 13.96 \text{ kN/m}^2$

- **Momen ultimit**

$$\text{Dak atap } (M_o) = \frac{q_u l_2 l_n^2}{8} = \frac{11.56 \cdot 5 \cdot 4.7^2}{8} = 159.6 \text{ kNm}$$

$$\text{Pelat lantai } (M_o) = \frac{q_u l_2 l_n^2}{8} = \frac{13.96 \cdot 5 \cdot 4.7^2}{8} = 192.7 \text{ kNm}$$

Penulangan pelat akan dibuat tipikal sehingga perhitungan jumlah tulangan hanya akan dilakukan pada pelat yang menerima momen terdistribusi paling besar. Dengan menggunakan *direct design method*, diperoleh distribusi momen sebagai berikut:



Momen	End Span			Interior Span	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Exterior Negatif	Positif	Interior Negatif	Positif	Interior Negatif
Total Momen	50.1 kNm	102.2 kNm	134.9 kNm	67.4 kNm	125.5 kNm
Column Strip	50.1 kNm	60.9 kNm	102.14 kNm	40.44 kNm	94.6 kNm
Middle Strip	-	41.3 kNm	32.8 kNm	26.96 kNm	30.9 kNm

#### 4.5.2 Penentuan Tinggi Efektif

Tinggi efektif arah x

$$d_x = t_p - \text{selimut beton} - 0.5 \times \text{diameter tulangan}$$

$$d_x = 250 - 20 - 0.5 \times 16$$

$$d_x = 222 \text{ mm}$$

Tinggi efektif arah y

$$d_y = t_p - \text{selimut beton} - 1.5 \times \text{diameter tulangan}$$

$$d_y = 250 - 20 - 1.5 \times 16$$

$$d_y = 206 \text{ mm}$$

#### 4.5.3 Penulangan Lentur (End Span-Column Strip)

##### 4.5.3.1 Tulangan Lapangan (Arah x)

$$M_u = M_{lx} = 60.9 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{60.9}{0.8} = 76.125 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_x^2} = \frac{76.125 \times 10^6}{1000 \times 222^2} = 1.54$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.7$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = \frac{1}{15.7} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.7 \times 1.54}{400}} \right]$$

$$\rho = 0.004$$

$\rho_{min} = 0.0018$ , maka gunakan  $\rho$

$$A_s = \rho \times b \times d_x = 0.004 \times 1000 \times 222 = 888 \text{ mm}^2$$

$$n_{D=16} = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{888}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} = 4.41 \approx 5 \text{ buah}$$

Jadi tiap 1000 m, terdapat 5 buah tulangan 16 mm, atau bisa juga dituliskan D16 – 200.

#### 4.5.3.2 Tulangan Lapangan (Arah y)

$$M_u = M_{ly} = 60.9 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{60.9}{0.8} = 76.125 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_y^2} = \frac{76.125 \times 10^6}{1000 \times 206^2} = 1.79$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.7$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = \frac{1}{15.7} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.7 \times 1.79}{400}} \right]$$

$$\rho = 0.0046$$

$\rho_{min} = 0.0018$ , maka gunakan  $\rho$

$$A_s = \rho \times b \times d_y = 0.0046 \times 1000 \times 215 = 989 \text{ mm}^2$$

$$n_{D=16} = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{989}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} = 4.91 \approx 5 \text{ buah}$$

Jadi tiap 1000 m, terdapat 5 buah tulangan 16 mm, atau bisa juga dituliskan D16 – 200.

#### 4.5.4 Penulangan Lentur (End Span-Middle Strip)

##### 4.5.4.1 Tulangan Lapangan (Arah x)

$$M_u = M_{lx} = 41.3 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{41.43}{0.8} = 51.8 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_x^2} = \frac{51.8 \times 10^6}{1000 \times 222^2} = 1.05$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.7$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = \frac{1}{15.7} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.7 \times 1.05}{400}} \right]$$

$$\rho = 0.0027$$

$\rho_{min} = 0.0018$ , maka gunakan  $\rho$

$$A_s = \rho \times b \times d_x = 0.0027 \times 1000 \times 222 = 599.4 \text{ mm}^2$$

$$n_{D=16} = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{599.4}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} = 2.98 \approx 3 \text{ buah}$$

Jadi tiap 1000 m, terdapat 3 buah tulangan 16 mm, atau bisa juga dituliskan D16 – 300.

#### 4.5.4.2 Tulangan Lapangan (Arah y)

$$M_u = M_{ly} = 41.3 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{41.43}{0.8} = 51.8 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_y^2} = \frac{51.8 \times 10^6}{1000 \times 206^2} = 1.22$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.7$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = \frac{1}{15.7} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.7 \times 1.22}{400}} \right]$$

$$\rho = 0.00313$$

$\rho_{min} = 0.0018$ , maka gunakan  $\rho$

$$A_s = \rho \times b \times d_y = 0.00313 \times 1000 \times 215 = 672.95 \text{ mm}^2$$

$$n_{D=16} = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{672.95}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} = 3.34 \approx 4 \text{ buah}$$

Jadi tiap 1000 m, terdapat 4 buah tulangan 16 mm, atau bisa juga dituliskan D16 – 250.

#### 4.5.5 Penulangan Lentur (Interior Span-Column Strip)

##### 4.5.5.1 Tulangan Lapangan (Arah x)

$$M_u = M_{lx} = 40.44 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{40.44}{0.8} = 50.55 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_x^2} = \frac{50.55 \times 10^6}{1000 \times 222^2} = 1.026$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c'} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.7$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = \frac{1}{15.7} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.7 \times 1.026}{400}} \right]$$

$$\rho = 0.0026$$

$\rho_{min} = 0.0018$ , maka gunakan  $\rho$

$$A_s = \rho \times b \times d_x = 0.0026 \times 1000 \times 222 = 577.2 \text{ mm}^2$$

$$n_{D=16} = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{577.2}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} = 2.87 \approx 3 \text{ buah}$$

Jadi tiap 1000 m, terdapat 3 buah tulangan 16 mm, atau bisa juga dituliskan D16 – 300.

#### 4.5.5.2 Tulangan Lapangan (Arah y)

$$M_u = M_{ly} = 40.44 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{40.44}{0.8} = 50.55 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_y^2} = \frac{50.55 \times 10^6}{1000 \times 206^2} = 1.2$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.7$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = \frac{1}{15.7} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.7 \times 1.2}{400}} \right]$$

$$\rho = 0.0031$$

$\rho_{min} = 0.0018$ , maka gunakan  $\rho$

$$A_s = \rho \times b \times d_y = 0.0031 \times 1000 \times 215 = 666.5 \text{ mm}^2$$

$$n_{D=16} = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{666.5}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} = 3.31 \approx 4 \text{ buah}$$

Jadi tiap 1000 m, terdapat 4 buah tulangan 16 mm, atau bisa juga dituliskan D16 – 250.

#### 4.5.6 Penulangan Lentur (Interior Span-Middle Strip)

##### 4.5.6.1 Tulangan Lapangan (Arah x)

$$M_u = M_{lx} = 30.9 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{30.9}{0.8} = 38.625 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_x^2} = \frac{38.625 \times 10^6}{1000 \times 222^2} = 0.78$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.7$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = \frac{1}{15.7} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.7 \times 0.78}{400}} \right]$$

$$\rho = 0.00198$$

$\rho_{min} = 0.0018$ , maka gunakan  $\rho$

$$A_s = \rho \times b \times d_x = 0.00198 \times 1000 \times 222 = 439.56 \text{ mm}^2$$

$$n_{D=16} = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{439.56}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} = 2.18 \approx 3 \text{ buah}$$

Jadi tiap 1000 m, terdapat 3 buah tulangan 16 mm, atau bisa juga dituliskan D16 – 300.

#### 4.5.6.2 Tulangan Lapangan (Arah y)

$$M_u = M_{ly} = 30.9 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{30.9}{0.8} = 38.625 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_y^2} = \frac{38.625 \times 10^6}{1000 \times 206^2} = 0.9$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c} = \frac{400}{0.85 \times 30} = 15.7$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] = \frac{1}{15.7} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.7 \times 0.9}{400}} \right]$$

$$\rho = 0.0023$$

$\rho_{min} = 0.0018$ , maka gunakan  $\rho$

$$A_s = \rho \times b \times d_y = 0.0023 \times 1000 \times 215 = 494.5 \text{ mm}^2$$

$$n_{D=16} = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} = \frac{494.5}{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2} = 2.46 \approx 3 \text{ buah}$$

Jadi tiap 1000 m, terdapat 3 buah tulangan 16 mm, atau bisa juga dituliskan D16 – 300.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Melalui penelitian yang telah dilakukan, penulis dapat menyimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Nilai faktor reduksi kekakuan yang tertera pada peraturan SNI 03-2847-2002/ACI 318-05 dapat digunakan untuk memperhitungkan perubahan kekakuan pada struktur seperti retak.
2. Apabila gaya yang diberikan searah dengan dinding geser, maka parameter kekakuan yang terkait dengan *plate-bending* tidak perlu direduksi karena tidak akan terjadi *bending* pada arah luar bidang. Namun, dinding geser selalu berada pada struktur 3D sehingga kekakuan *bending* pada arah luar bidang juga harus direduksi.
3. Pada dinding geser dengan rasio  $h_w/l_w \leq 2$  (*squat wall*), tegangan yang paling berpengaruh adalah  $N_y$ , diikuti dengan  $N_{xy}$ , dan  $N_x$ . Mengacu pada tegangan yang paling berpengaruh tersebut, maka parameter kekakuan yang paling berpengaruh adalah  $f_{22}$ , disusul dengan  $f_{12}$ , dan  $f_{11}$ .
4. Semakin kecil rasio  $h_w/l_w$ , tegangan  $N_{xy}$  akan semakin berpengaruh karena deformasi dinding geser semakin didominasi oleh gaya geser. Sehingga pengaruh parameter kekakuan  $f_{12}$  berbanding terbalik dengan rasio  $h_w/l_w$ .
5. Pada wilayah gempa kuat, penggunaan *flat slab* masih dimungkinkan. Dinding geser akan berfungsi sebagai sistem penahan gaya lateral dan *flat slab* berfungsi sebagai sistem penahan gaya gravitasi. Mengacu pada ACI 318-05, maka perlu tidaknya tulangan geser pada pertemuan *slab-column* sangat bergantung pada nilai  $V_u/\phi V_c$  dan *drift ratio*.

#### 5.2 Saran

Untuk melengkapi penelitian ini, penulis menyarankan untuk menambah variasi dari ukuran dinding serta rasio tulangan untuk menganalisa pengaruh kedua faktor tersebut terhadap parameter kekakuan yang paling berpengaruh.

## DAFTAR PUSTAKA

- Wahyudi, L. & Rahim, Sjahril A. 1997, *Struktur Beton Bertulang*
- Park and Paulay, *Reinforced Concrete Structures*. 1948. New York: McGraw-Hill
- Kuang, J. S. & Ho Y. B., “Seismic Behavior and Ductility of Squat Reinforced Concrete Shear Walls with Nonseismic Detailing,” *ACI Structural Journal*, V. 105, No. 2, March-April. 2008, pp. 226-227
- Orakcal, Kutay; Massone, Leonardo M.; and Wallace, John W., “Shear Strength of Lightly Reinforced Wall Piers and Spandrels,” *ACI Structural Journal*, V. 106, No. 4, July-August. 2009, pp.455
- Massone, Leonardo M.; Orakcal, Kutay; and Wallace, John W., “Modelling of Squat Structural Walls Controlled by Shear,” *ACI Structural Journal*, V. 106, No. 5, September-October. 2009, pp. 646
- Shin, Myoungshu; Pimentel, Benjamin; and Grossman, Jacob, “Practical Finite Element Analysis,” *Concrete International*, October. 2008
- ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary,” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008
- Federal Emergency Management Agency, “Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings,” *Report* No. FEMA 356/November 2000, Washington DC, 2000
- Computers and Structures Inc., *CSI Analysis Reference Manual*, Computers and Structures Inc., Berkeley, CA, 2005

Lampiran 1. Tabel Beban-Lendutan Analisa Non-Linear

<i>Squat Wall 1</i>	
Beban [kN]	Lendutan [mm]
0	0
128.8	0.3125
154.262	0.46875
176.093	0.78125
179.525	0.859375
187.418	1.171875
189.435	1.328125
204.26	1.963501
205.006	2.026825
205.726	2.144089

<i>Squat Wall 2</i>	
Beban [kN]	Lendutan [mm]
0	0
169.694	0.3125
195.868	0.625
196.942	0.644531
197.375	0.683594
195.904	0.761719
200.865	0.996094
200.86	0.996399
200.836	1.01593
200.369	1.094055
202.964	1.250305
201.933	1.269836
202.023	1.289368
201.851	1.32843
199.9	1.367493
197.252	1.465149
207.999	1.621399
208.8	1.660461
211.18	1.733398

Lampiran 2. *Modal Participating Mass Ratios* (Gedung 1)

Modal Participating Mass Ratios													
Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0.155938	10.308	76.3871	0	10.308	76.3871	0	87.6253	11.8246	0	87.6253	11.8246	0
2	0.155938	76.3871	10.308	0	86.6952	86.6952	0	11.8246	87.6253	0	99.4499	99.4499	0
3	0.092759	0	0	0	86.6952	86.6952	0	0	0	89.2363	99.4499	99.4499	89.2363
4	0.053283	7.9618	2.6112	0	94.6569	89.3064	0	0.1064	0.3246	0	99.5564	99.7745	89.2363
5	0.053283	2.6112	7.9618	0	97.2681	97.2681	0	0.3246	0.1064	0	99.8809	99.8809	89.2363
6	0.033286	0.5946	1.6854	0	97.8628	98.9535	0	0.0838	0.0296	0	99.9648	99.9105	89.2363
7	0.033286	1.6854	0.5946	0	99.5481	99.5481	0	0.0296	0.0838	0	99.9943	99.9943	89.2363
8	0.032338	0	0	0	99.5481	99.5481	0	0	0	8.4013	99.9943	99.9943	97.6376
9	0.026826	0.0128	0.439	0	99.561	99.9872	0	0.0055	0.0002	0	99.9998	99.9945	97.6376
10	0.026826	0.439	0.0128	0	100	100	0	0.0002	0.0055	0	100	100	97.6376
11	0.021252	0	0	0	100	100	0	0	0	1.9874	100	100	99.625
12	0.017445	0	0	0	100	100	0	0	0	0.375	100	100	100

Lampiran 3. *Modal Participating Mass Ratios* (Gedung 2)

Modal Participating Mass Ratios													
Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0.345799	49.2276	29.9285	0	49.2276	29.9285	0	37.7733	62.1309	0	37.7733	62.1309	0
2	0.345799	29.9285	49.2276	0	79.1561	79.1561	0	62.1309	37.7733	0	99.9042	99.9042	0
3	0.175979	0	0	0	79.1561	79.1561	0	0	0	85.5205	99.9042	99.9042	85.5205
4	0.109451	11.9873	2.5035	0	91.1434	81.6596	0	0.0018	0.0085	0	99.906	99.9127	85.5205
5	0.109451	2.5035	11.9873	0	93.6469	93.6469	0	0.0085	0.0018	0	99.9145	99.9145	85.5205
6	0.060411	0.0237	3.5977	0	93.6707	97.2446	0	0.0783	0.0005	0	99.9928	99.915	85.5205
7	0.060411	3.5977	0.0237	0	97.2684	97.2684	0	0.0005	0.0783	0	99.9933	99.9933	85.5205
8	0.059307	0	0	0	97.2684	97.2684	0	0	0	9.1094	99.9933	99.9933	94.6299
9	0.04355	0.8715	0.6657	0	98.1399	97.9341	0	0.0006	0.0008	0	99.9939	99.9941	94.6299
10	0.04355	0.6657	0.8715	0	98.8056	98.8056	0	0.0008	0.0006	0	99.9947	99.9947	94.6299
11	0.036392	0	0	0	98.8056	98.8056	0	0	0	2.997	99.9947	99.9947	97.6269
12	0.034887	0.2043	0.5044	0	99.0099	99.31	0	0.0032	0.0013	0	99.998	99.996	97.6269

Lampiran 4. *Modal Participating Mass Ratios* (Gedung 3)

Modal Participating Mass Ratios													
Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0.600402	60.8061	13.5031	0	60.8061	13.5031	0	18.1328	81.6542	0	18.1328	81.6542	0
2	0.600402	13.5031	60.8061	0	74.3093	74.3093	0	81.6542	18.1328	0	99.787	99.787	0
3	0.261049	0	0	0	74.3093	74.3093	0	0	0	84.1063	99.787	99.787	84.1063
4	0.17614	13.283	4.0577	0	87.5922	78.3669	0	0.0335	0.1097	0	99.8205	99.8967	84.1063
5	0.17614	4.0577	13.283	0	91.6499	91.6499	0	0.1097	0.0335	0	99.9302	99.9302	84.1063
6	0.091602	3.695	0.4707	0	95.345	92.1206	0	0.0074	0.0583	0	99.9377	99.9886	84.1063
7	0.091602	0.4707	3.695	0	95.8156	95.8156	0	0.0583	0.0074	0	99.996	99.996	84.1063
8	0.087421	0	0	0	95.8156	95.8156	0	0	0	9.1688	99.996	99.996	93.2751
9	0.063905	1.655	0.2226	0	97.4706	96.0382	0	0	0.0002	0	99.996	99.9962	93.2751
10	0.063905	0.2226	1.6549	0	97.6932	97.6931	0	0.0002	0	0	99.9962	99.9962	93.2751
11	0.052966	0	0	0	97.6932	97.6931	0	0	0	3.1766	99.9962	99.9962	96.4517
12	0.049465	0.9397	0.0423	0	98.6329	97.7354	0	0.0001	0.003	0	99.9963	99.9992	96.4517