



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERBANDINGAN TIGA METODE PENENTUAN SISTEM
GANDA DARI STRUKTUR PORTAL - DINDING GESER
AKIBAT BEBAN GEMPA**

SKRIPSI

**ACHMAD DAMAR AL CHAMID
0806328902**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERBANDINGAN TIGA METODE PENENTUAN SISTEM
GANDA DARI STRUKTUR PORTAL - DINDING GESER
AKIBAT BEBAN GEMPA**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik**

**ACHMAD DAMAR AL CHAMID
0806328902**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
BIDANG KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JUNI 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 : Achmad Damar Al Chamid

NPM : 0806328902

Tanda Tangan : 

Tanggal : 26 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Achmad Damar Al Chamid
NPM : 0806328902
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Perbandingan Tiga Metode Penentuan Sistem
Ganda dari Struktur Portal - Dinding Geser
Akibat Beban Gempa

Telah berhasil diujikan dihadapan 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 : Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA. ()
Penguji : Mulia Orientilize, S.T., M.Eng. ()
Penguji : Dr. -Ing. Josia Irwan Rastandi, S.T., M.T. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 26 Juni 2012

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur kehadiran Allah SWT karena atas rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan yang diberikan oleh berbagai pihak yang telah membantu dari masa perkuliahan hingga proses penyusunan skripsi ini, maka skripsi ini tidak dapat diselesaikan oleh penulis. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terimakasih kepada:

- 1) Ibu dan Ayah saya yang telah membesarkan, mendidik, memberi dukungan dan memberikan kasih sayang yang sangat besar kepada saya dalam penyusunan skripsi ini.
- 2) Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA., selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga serta pemikirannya untuk mengarahkan saya dalam pembuatan skripsi ini.
- 3) Dodi Ikhsanshaleh, selaku senior saya yang telah membantu memberi saran, mengajarkan, serta memberi motivasi kepada saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
- 4) Fitriana Kusuma Wardani yang menemani mengerjakan skripsi ini dan senantiasa mendukung saya agar saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
- 5) Fatchurrohman selaku teman dengan tema skripsi yang hampir sama, teman bingung ketika mengerjakan skripsi dan teman menonton EURO 2012 di waktu menunggu hasil *running* skripsi.
- 6) Maisarah Rizky, Martina Manurung, Wisnu Pratama Putra, Dian Evelina, Rizal Prasetyo, Yusak Moningka, dan Edwin Serano, selaku teman belajar dan teman berdiskusi yang membantu hingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
- 7) Nabila Inal selaku teman dengan jumlah sks yang sama, jumlah mata kuliah yang sama pada semester 7 dan semester 8, tetapi tidak sama nilai IPK nya.
- 8) Anggit Cahyo dan Oghie M. Purnomo yang senang hati meminjamkan laptop kepada saya untuk asistensi dan mengerjakan skripsi ini.

- 9) Farisatul Amanah yang meluangkan waktu kepada saya untuk mengajarkan saya dalam membuat daftar isi pada skripsi ini.
- 10) Teman-teman Badan Pengurus Harian Ikatan Mahasiswa Sipil 2010 yang berjuang bersama mengemban amanah dalam satu tahun kepengurusan dengan tugas berbeda tetapi tetap menjalani bersama-sama dengan suka maupun duka.
- 11) Tim Pelahap Maut, Tim Mokondo FC, dan Tim Peteran yang selalu menemani hari-hari di lapangan futsal dengan penuh serius, terkadang setengah serius, ataupun penuh canda tawa yang membuat suasana hidup menjadi lebih hidup.
- 12) Tim Futsal Sipil selaku teman bermain sekaligus teman bertanding dalam menempuh kejuaraan Teknik Cup dari tahun pertama hingga tahun ke empat.
- 13) Teman-teman KJI dan KBGI Teknik Sipil Universitas Indonesia yang memberikan dukungan, motivasi, semangat dan bantuan kepada saya.
- 14) Sahabat sipil lingkungan 2008 sebagai sahabat yang menemani tertawa di setiap saat dan waktu yang sangat berkualitas dalam menempuh perkuliahan selama 4 tahun ini.

Akhir kata, saya berharap agar Allah SWT dapat membalas kebaikan dari semua pihak yang telah membantu selesainya skripsi ini, semoga skripsi ini dapat menjadi landasan yang baik untuk penyusunan skripsi dan berguna bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 26 Juni 2012

Penulis

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

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

Nama : Achmad Damar Al Chamid
NPM : 0806328902
Program studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demikian 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 :

Perbandingan Tiga Metode Penentuan Sistem Ganda Dari Struktur Portal - Dinding Geser Akibat Beban Gempa

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmediakan/format-kan, 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 : Jakarta

Pada tanggal : 26 Juni 2012

Yang Menyatakan



(Achmad Damar Al Chamid)

ABSTRAK

Nama : Achmad Damar Al Chamid
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Perbandingan Tiga Metode Penentuan Sistem Ganda dari Struktur Portal - Dinding Geser Akibat Beban Gempa

Penelitian ini membahas mengenai metode desain sistem ganda dari struktur portal – dinding geser beton bertulang akibat beban gempa dan kebutuhan tulangan yang diperlukan untuk masing-masing metode perhitungan. Dalam penentuan sistem ganda sesuai peraturan SNI 03-1726-2002, pada penelitian ini dilakukan tiga metode desain, struktur portal – dinding geser yang berinteraksi, struktur portal dengan *boundary element* dinding geser, dan struktur portal dengan dinding geser yang di non-aktifkan. Dalam metode portal – dinding geser yang berinteraksi, struktur bangunan di desain berdasarkan analisis dinamik dan analisis statik, tetapi untuk dua metode lainnya dilakukan dengan analisis statik. Pada penelitian ini ditinjau bangunan 8 lantai pada lokasi gempa di Jakarta dengan tanah lunak dianalisis sebagai sistem ganda. Simulasi numerik menunjukkan bahwa pendekatan portal – dinding geser saling berinteraksi dengan faktor reduksi $R = 6,5$ (SRPMM) menghasilkan tulangan paling besar dibandingkan dengan dua metode lainnya.

Kata Kunci:

Sistem ganda, dinding geser, sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM), gaya geser dasar, *boundary element*.

ABSTRACT

Name : Achmad Damar Al Chamid
Study Program : Civil Engineering
Title : Comparison of Three Methods of Shear Wall - Frame Structure
as Dual System subject to Seismic Load

This thesis discussed about method of design of a reinforced concrete shear wall – frame structure as dual system due to earthquake load and the requirement of rebar for each methods. In determining dual system structure based on SNI 03-1726-2002, some methods of design such as interaction of shear wall – frame structure, frame with boundary element, and frame with deactivated shear wall is considered in this thesis. In interaction of shear wall - frame structure method, building structure was designed based on dynamic and static analysis, however for two other methods static approach was employed. In this thesis an 8-story building located in Jakarta and built on soft soil was analyzed as dual system. Numerical simulations show that interaction of shear wall – frame structure approach with reduction factor $R = 6,5$ (IMRF) results the biggest required rebar compared with other methods.

Keywords:

dual-system, shear wall, intermediate moment resisting frame (IMRF), base shear. boundary element

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMAKASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Deskripsi Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	2
1.5 Hipotesis Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Dinding Geser Beton Bertulang Kantilever.....	5
2.1.1 Pola Keruntuhan Dinding Geser.....	5
2.1.2 Stabilitas Dinding Struktur	7
2.1.3 Distribusi Regangan Dinding Beton.....	8
2.2 Komponen Batas untuk Dinding Struktural.....	10
2.2.1 Kuat Lentur Dinding Struktur dengan Distribusi Tulangan Vertikal Tipikal.....	10
2.2.2 Kuat Lentur Dinding Struktur dengan <i>Boundary Elements</i>	13
2.3 Sistem Ganda Struktur Dinding Geser dan Portal Beton Bertulang	14
2.4 Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental	17
2.5 Arah Pembebanan Gempa.....	18
2.6 Respon Dinamik Sistem Ganda	18
2.7 Analisis Ragam Respon Spektrum.....	20
2.8 Perancangan Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja.....	23
2.8.1 Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja Batas Layan	24
2.8.2 Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja Batas Ultimit	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Diagram Alir Penelitian	27
3.2 Kriteria Perencanaan.....	28
3.3 Desain Tulangan	31
3.4 Variasi Metode Perhitungan Sistem Struktur	32
3.4.1 Metode Perhitungan Model Struktur Portal dan Dinding Geser Berinteraksi.....	34
3.4.2 Metode Perhitungan Model Struktur Portal dengan <i>Boundary Element</i>	35
3.4.3 Metode Perhitungan Model Struktur Portal dengan Dinding Geser di Non - Aktifkan.....	35

3.5	Kombinasi Pembebanan.....	36
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		37
4.1	Karakteristik Dinamika Struktur.....	37
4.2	Kinerja Struktur Terhadap Beban Gempa.....	38
4.3	Pengecekan Gaya Geser Dasar Terhadap Beban Gempa	39
4.4	Variasi Metode Perhitungan Penentuan Sistem Ganda	41
4.4.1	Model Struktur Portal dan Dinding Geser Berinteraksi	41
4.4.2	Model Struktur Portal dengan <i>Boundary Element</i>	49
4.4.3	Model Struktur Portal dengan Dinding Geser di Non-Aktifkan..	49
4.5	Kebutuhan Tulangan Balok	50
4.5.1	Kebutuhan Tulangan Longitudinal Balok	50
4.5.2	Kebutuhan Tulangan Transversal Balok	51
4.6	Kebutuhan Tulangan Kolom.....	53
4.6.1	Kebutuhan Tulangan Longitudinal Kolom.....	53
4.6.2	Kebutuhan Tulangan Transversal Kolom.....	54
4.7	Kebutuhan Tulangan Dinding Geser	55
4.8	Kebutuhan Tulangan Total	56
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		60
5.1	Kesimpulan	60
5.2	Saran	62
DAFTAR REFERENSI		63
LAMPIRAN.....		65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ragam Keruntuhan pada Dinding Kantilever	6
Gambar 2.2 Deformasi dari tekuk keluar bidang dinding.....	7
Gambar 2.3 Diagram Distribusi Regangan untuk Dinding Persegi Panjang	8
Gambar 2.4 Diagram Distribusi Regangan untuk Dinding Struktur Bentuk Kanal	9
Gambar 2.5 Dinding Struktur dengan Distribusi Tulangan Vertikal Tipikal yang Dikenakan Beban Aksial dan Momen.....	11
Gambar 2.6 Dinding Struktur dengan <i>Boundary Elements</i>	13
Gambar 2.7 Model Kuat Lentur untuk Dinding dengan <i>Boundary Elements</i>	14
Gambar 2.8 Deformasi Struktur Terhadap Beban Lateral Terbagi Rata	15
Gambar 2.9 Perbandingan Respon Sistem Struktur Terhadap Beban Lateral (a) Deformasi Lateral; (b) Diagram Momen; (c) Diagram Gaya Geser Tingkat.....	16
Gambar 2.10 <i>Variation of Cross Modal Frequency for Different Ratios</i>	20
Gambar 2.11 Respon Spektrum Gempa Rencana Wilayah 3	21
Gambar 2.12 Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2 Denah Struktur Lantai Dasar.....	29
Gambar 3.3 Denah Struktur Lantai Tipikal.....	29
Gambar 3.4 Respon Spektrum Gempa Rencana	31
Gambar 3.5 Model Struktur Portal - Dinding Geser.....	32
Gambar 3.6 Model Struktur Portal dengan <i>Boundary Element</i>	33
Gambar 3.7 Model Struktur Portal dengan Dinding Geser di Non-Aktifkan	33
Gambar 4.1 Interaksi Gaya Geser Tingkat Portal - Dinding Geser Arah X	44
Gambar 4.2 Interaksi Gaya Geser Tingkat Portal - Dinding Geser Arah Y	44
Gambar 4.3 Kurva Gaya Geser Tingkat Portal Arah X	47
Gambar 4.4 Kurva Gaya Geser Tingkat Portal Arah Y	47
Gambar 4.5 Rasio Tulangan Balok Arah X	50
Gambar 4.6 Rasio Tulangan Longitudinal Balok Arah Y.....	51
Gambar 4.7 Rasio Tulangan Transversal Balok Arah X.....	52
Gambar 4.8 Rasio Tulangan Transversal Balok Arah Y.....	52
Gambar 4.9 Rasio Tulangan Longitudinal Kolom	53
Gambar 4.10 Rasio Tulangan Transversal Kolom Arah X	54
Gambar 4.11 Rasio Tulangan Transversal Kolom Arah Y	54
Gambar 4.12 Rasio Tulangan Longitudinal Dinding Geser.....	55
Gambar 4.13 Rasio Tulangan Transversal Dinding Geser.....	56
Gambar 4.14 Rasio Kebutuhan Tulangan Total Balok dan Kolom	57
Gambar 4.15 Rasio Kebutuhan Tulangan	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien ξ yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung	17
Tabel 2.2 Tingkat Kinerja FEMA 273	23
Tabel 3.1 Properti Material	28
Tabel 3.2 Dimensi Elemen Struktur	28
Tabel 3.3 Tabel Pembebanan	30
Tabel 3.4 Kombinasi Pembebanan Untuk Perancangan Struktur	36
Tabel 4.1 Karakteristik Dinamik Model Struktur	37
Tabel 4.2 Partisipasi Massa Efektif	38
Tabel 4.3 Simpangan Lateral Struktur Akibat Beban Gempa Arah X	38
Tabel 4.4 Simpangan Lateral Struktur Akibat Beban Gempa Arah Y	39
Tabel 4.5 Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik Respon Spektrum	40
Tabel 4.6 Gaya Geser Tingkat Arah X	41
Tabel 4.7 Gaya Geser Tingkat Arah Y	42
Tabel 4.8 Gaya Geser Struktur (V_{Str}^*) dan Distribusi Beban Lateral (Metode 1-A)	45
Tabel 4.9 Gaya Geser Struktur Hasil Analisis Metode 1-B (V_{StrB}) dan Distribusi Beban Lateral untuk Metode 1-C	45
Tabel 4.10 Gaya Geser Tingkat Portal Arah X Metode 1-A, Metode 1-B, dan Metode 1-C	46
Tabel 4.11 Gaya Geser Tingkat Portal Arah Y Metode 1-A, Metode 1-B, dan Metode 1-C	46
Tabel 4.12 Distribusi Gaya Lateral Model 2 (Portal dengan <i>Boundary Element</i>)	49
Tabel 4.13 Rasio Kebutuhan Tulangan Portal dan Dinding Geser	57
Tabel 4.14 Rasio Kebutuhan Tulangan Total Model Struktur	57

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keamanan suatu struktur terhadap beban gempa sangat bergantung pada pemahaman respon struktur akibat gerakan tanah dari gempa. Selama ini perancangan struktur terhadap gempa bertujuan agar struktur tetap berdiri pada kondisi pada saat gempa menengah terjadi struktur tidak mengalami kerusakan dan pada saat gempa kuat terjadi struktur tidak mengalami keruntuhan (*moderate earthquake without damage and severe earthquake without collapse*). Respon gempa sangat bergantung pada sifat-sifat geometri dan konfigurasi struktur termasuk ketinggian struktur yang sangat berpengaruh.

Dalam struktur beton untuk bangunan bertingkat terdiri dari sistem struktur portal, sistem struktur dinding, atau sistem ganda, yaitu sistem struktur portal dan dinding yang saling berinteraksi. Struktur portal dengan rangka terbuka dapat mengatasi gaya gravitasi yang signifikan yang juga cukup tahan untuk menahan beban lateral yang diakibatkan oleh aksi lentur. Ketika beban lateral jauh lebih tinggi dari beban gravitasi, sistem struktur dinding lebih baik untuk menahan beban lateral. Suatu sistem struktur yang tanpa sistem rangka terbuka dan memberikan ketahanan terhadap beban gravitasi yang juga mampu menahan beban lateral adalah sistem struktur dinding geser.

Sistem struktur dimana ketahanan terhadap beban lateral diberikan oleh kombinasi interaksi antara dinding geser dan rangka pemikul momen disebut sistem ganda (*dual system*). Keuntungan yang diperoleh dari sistem ganda adalah kontrol yang lebih baik untuk simpangan antar tingkat (*drift*) dimana nilainya tereduksi secara signifikan dibandingkan hanya didesain sebagai sistem tunggal dengan hanya dinding geser sebagai elemen penahan beban lateral. Momen yang diterima oleh dinding akan berkurang dan pola distribusi gaya geser tingkat yang ditanggung rangka pemikul momen *uniform* sehingga relatif lebih ekonomis (Smith dan Coull, 1991).

Dalam suatu sistem struktur yang terdiri dari kombinasi dinding-dinding geser dan rangka-rangka terbuka, kapasitas gaya geser dasar akibat pengaruh gaya

gempa yang dipikul oleh rangka-rangka terbuka tidak boleh kurang dari 25% dari gaya geser dasar yang bekerja dalam arah kerja beban gempa tersebut. Jika gaya geser dasar yang dikenakan pada sistem rangka dalam interaksi dengan dinding geser adalah kurang dari 10% dari total desain gaya geser dasar, sistem struktur tersebut dapat dianggap sebagai sistem dinding geser. Peraturan gempa Indonesia mensyaratkan bahwa dinding geser dan rangka pemikul momen dapat didesain sebagai sistem ganda jika memenuhi kondisi berikut ini : (1) Seluruh beban gravitasi dipikul oleh rangka pemikul momen, (2) Beban lateral ditahan oleh kombinasi dinding geser dan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus didesain terpisah menanggung minimal 25% dari gaya geser rencana, (3) Kedua sistem didesain menahan beban lateral secara bersama-sama dengan memperhatikan proporsi terhadap kekakuan relatif masing-masing dengan memperhatikan sistem ganda di seluruh lantai.

1.2 Deskripsi Masalah

Masalah yang diteliti yaitu perbandingan 3 metode penentuan sistem ganda dari struktur portal-dinding geser akibat beban gempa.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi metode perhitungan sistem ganda dari struktur portal - dinding geser akibat beban gempa.

1.4 Pembatasan Masalah

- Penelitian ini dibatasi pada analisis sistem ganda portal - dinding geser dengan menggunakan respon spektrum dan pembebanan statik ekuivalen untuk mempresentasikan beban gempa.
- Model struktur yang digunakan adalah bangunan 8 lantai dengan struktur beton bertulang dengan portal dan dinding geser. Beban gempa yang digunakan adalah gempa rencana wilayah 3 untuk tanah lunak ($PGA = 0,3g$) yang diatur berdasarkan SNI 03-1726-2002.
- Modelisasi dilakukan dengan menggunakan program *ETABS* versi 9. Struktur dimodelkan sebagai elemen portal dan dinding geser.

- Nilai gaya geser dasar yang dipikul oleh portal direncanakan berkisar antara 10% hingga 25% dari gaya geser total struktur akibat beban gempa.
- Pertimbangan analisis yang ditinjau hanya berdasarkan pada hasil teoritis saja tanpa mempertimbangkan desain praktis.

1.5 Hipotesis Penelitian

Perhitungan struktur dengan metode sistem portal - dinding geser yang berinteraksi akan menghasilkan rasio kebutuhan tulangan yang lebih kecil dibandingkan dengan metode perhitungan dengan struktur portal menggunakan *boundary element* dan struktur portal dengan dinding geser di non-aktifkan. Untuk struktur portal dengan *boundary element* akan menghasilkan rasio kebutuhan tulangan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan portal dengan dinding geser di non-aktifkan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang penelitian, deskripsi masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, hipotesis penelitian, dan sistematika penulisan.

b. BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan dasar teori yang digunakan dalam penelitian ini yaitu perilaku sistem ganda dari struktur portal-dinding geser.

c. BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan rangkaian kegiatan dan prosedur penelitian yang dilakukan, dimulai dari kriteria desain struktur, desain awal struktur, modelisasi struktur, analisa hasil, desain tulangan, variasi parameter, pengolahan data hingga kesimpulan.

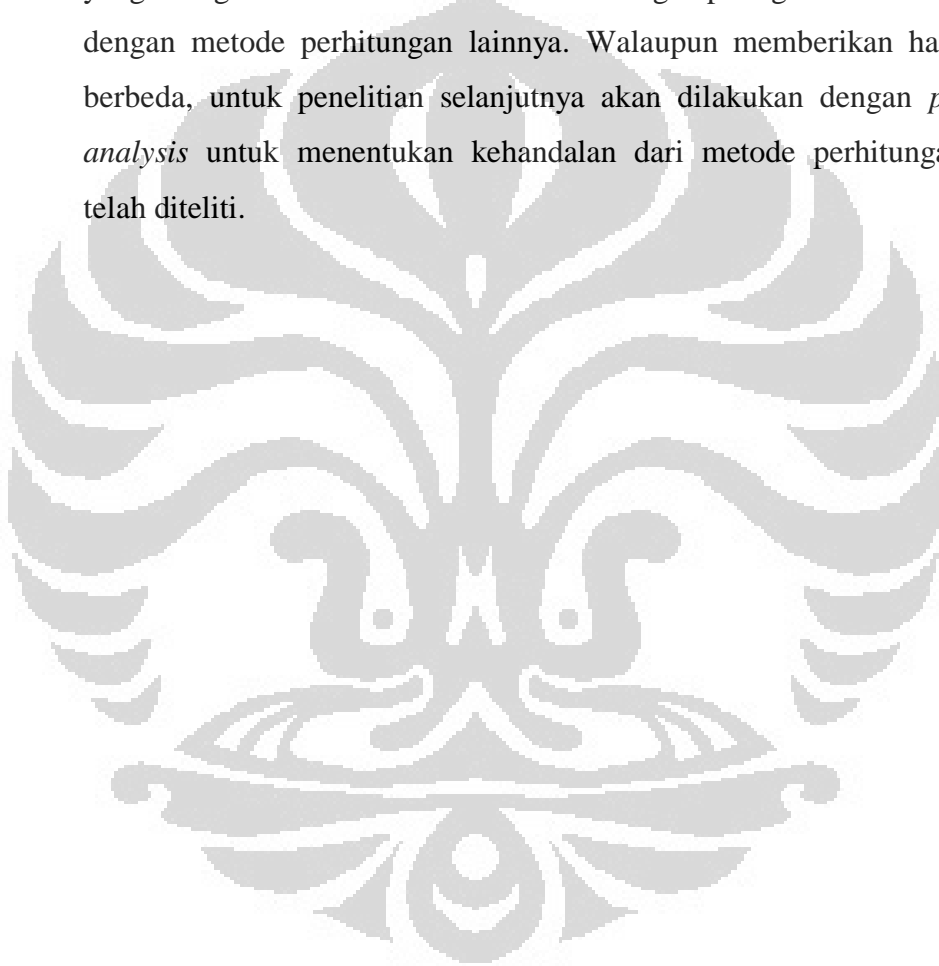
d. BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis dan pembahasan yang dilakukan pada pemodelan ini adalah perbandingan tiga metode penentuan sistem ganda, yaitu metode dengan memperhatikan struktur portal – dinding geser yang saling berinteraksi,

struktur portal dengan *boundary element*, dan struktur portal dengan dinding geser di non-aktifkan. Dari metode perhitungan yang dilakukan dicari kebutuhan tulangan yang dibutuhkan berdasarkan metode perhitungan yang dilakukan.

e. BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari makalah ini adalah ketiga metode memberikan hasil yang berbeda satu sama lain. Metode perhitungan struktur portal – dinding geser yang saling berinteraksi membutuhkan tulangan paling besar dibandingkan dengan metode perhitungan lainnya. Walaupun memberikan hasil yang berbeda, untuk penelitian selanjutnya akan dilakukan dengan *pushover analysis* untuk menentukan kehandalan dari metode perhitungan yang telah diteliti.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dinding Geser Beton Bertulang Kantilever

Dinding geser biasanya dikategorikan berdasarkan geometrinya, yaitu :

- *Flexural Wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \geq 2$, dimana desain dikontrol oleh perilaku lentur.
- *Squat Wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \leq 2$, dimana desain dikontrol oleh perilaku geser.
- *Coupled Shear Wall* (dinding berangkai), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding yang dihubungkan oleh balok-balok perangkai, sebagai gaya-gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar pasangan dinding tersebut.

Suatu subsistem struktur gedung yang fungsi utamanya adalah untuk memikul beban geser akibat pengaruh gempa rencana, yang runtuhnya disebabkan oleh momen lentur (bukan oleh gaya geser) dengan terjadinya sendi plastis di dasar dinding, dimana nilai momen lelehnya dapat mengalami peningkatan terbatas akibat pengerasan regangan. Berdasarkan SNI 03-1726-2002, dinding geser harus direncanakan dengan metode desain kapasitas. Dinding geser kantilever termasuk dalam kelompok *flexural wall*, dimana rasio antara tinggi dan lebar dinding geser tidak boleh kurang dari 2 meter dan lebar tersebut tidak boleh kurang 1,5 meter.

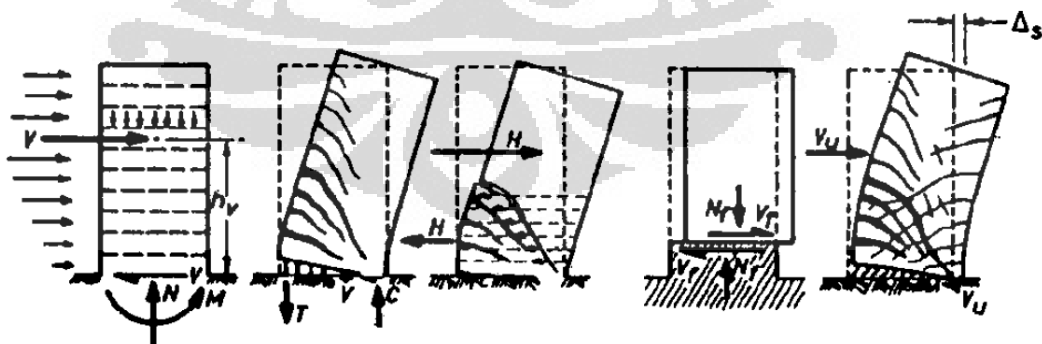
2.1.1 Pola Keruntuhan Dinding Geser

Dinding geser sebagai elemen penahan gaya lateral memiliki keuntungan utama karena menyediakan kontinuitas vertikal pada sistem lateral struktur gedung. Struktur gedung dengan dinding geser sebagai elemen penahan gaya lateral pada umumnya memiliki kinerja yang cukup baik pada saat gempa. Hal ini terbukti dari sedikitnya kegagalan yang terjadi pada sistem struktur dinding geser di kejadian-kejadian gempa yang lalu (Fintel, 1991). Beberapa

kerusakan yang terjadi akibat gempa pada umumnya berupa *cracking*, yang terjadi pada dasar dinding dan juga pada bagian *coupling beam*, khususnya untuk sistem dinding berangkai.

Perilaku batas yang terjadi pada dinding geser dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Pantazopoulou dan Imran, 1992) :

- a. *Flexural behavior*, dimana respon yang terjadi pada dinding akibat gaya luar dibentuk oleh mekanisme kelelahan pada tulangan yang menahan lentur. Keruntuhan jenis ini pada umumnya bersifat duktail.
- b. *Flexural – shear behavior*, dimana kelelahan yang terjadi pada tulangan yang menahan lentur diikuti dengan kegagalan geser.
- c. *Shear behavior*, dimana dinding runtuh akibat geser tanpa adanya kelelahan pada tulangan yang menahan lentur. Perilaku batas ini dibagi lagi menjadi *diagonal tension shear failure* (yang dapat bersifat duktail, karena keruntuhan terjadi terlebih dahulu pada baja tulangan) dan *diagonal compression shear failure* (yang umumnya bersifat *brittle*).
- d. *Sliding shear behavior*, dimana di bawah pembebanan siklik bolak-balik, *sliding shear* bisa terjadi akibat adanya *flexural cracks* yang terbuka lebar di dasar dinding. Keruntuhan jenis ini sifatnya getas dan menghasilkan perilaku disipasi yang buruk.



Gambar 2.1 Ragam Keruntuhan pada Dinding Kantilever

Sumber: Paulay dan Priestley, 1991

Untuk dinding geser yang tergolong *flexural wall* dimana rasio, $h_w/l_w \geq 2$, kegagalan lain yang sering terjadi adalah berupa *fracture* pada tulangan yang

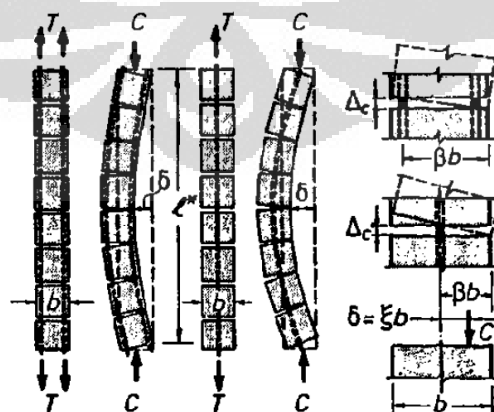
menahan tarik (Fintel,1991). Hal ini biasanya diamati pada dinding yang memiliki jumlah tulangan longitudinal yang sedikit, sehingga regangan terkonsentrasi dan terakumulasi pada bagian yang mengalami *crack* akibat pembebanan siklik yang berulang, yang dapat berujung pada terjadinya *fracture* pada tulangan.

2.1.2 Stabilitas Dinding Struktur

Suatu dinding struktur yang relatif tipis dan langsing yang mengalami regangan tekan, bahaya ketidakstabilan atau *instability* tekuk keluar bidangnya (*out-of-plane*) perlu diperhatikan dengan baik. Pada perancangan awal tebal dinding struktur biasanya ditentukan sepersepuluh tinggi tingkat pertama. Peningkatan stabilitas dapat dilakukan dengan penebalan dinding, penggunaan sayap atau pembesaran pada daerah “*boundary elements*” dengan *barbell shape* atau kolom-kolom pada ujung dari dinding struktur.

Penelitian yang dilakukan oleh Goodsir & Paulay (1983) dan Carr (1985) menyatakan bahwa potensi tekuk keluar bidang dari suatu dinding struktur yang daktail tampak bergantung pada besaran regangan tarik inelastis dan regangan tekan akibat momen sebaliknya.

Pada *curvature ductility* μ_ϕ yang besar, regangan tarik yang besar akan terjadi pada tulangan longitudinal yang terletak pada tepi serat tarik penampang dan bila regangan tarik cukup tinggi, maka retakan akan terjadi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.

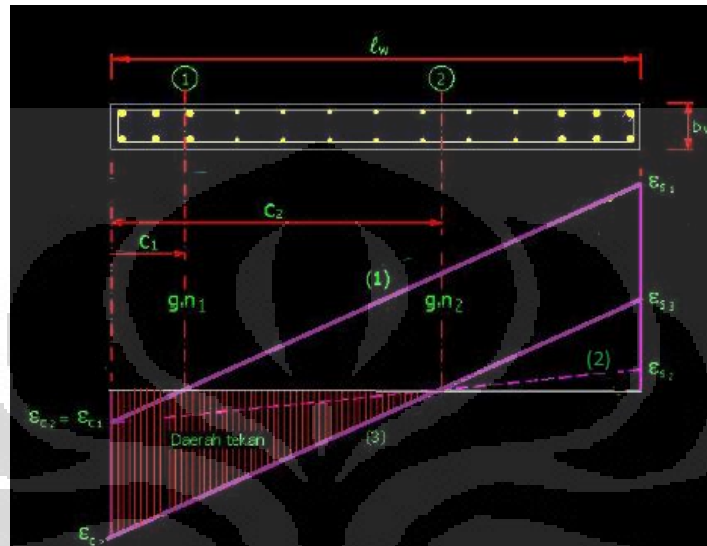


Gambar 2.2 Deformasi dari tekuk keluar bidang dinding

Sumber: Paulay dan Priestley, 1991

2.1.3 Distribusi Regangan Dinding Beton

Kuat lentur penampang dinding seperti yang ditunjukkan Gambar 2.3 berhubungan erat dengan distribusi regangan yang terbentuk dari regangan hancur dari beton ϵ_{cm} serta tinggi garis netralnya, c .



Gambar 2.3 Diagram Distribusi Regangan untuk Dinding Persegi Panjang

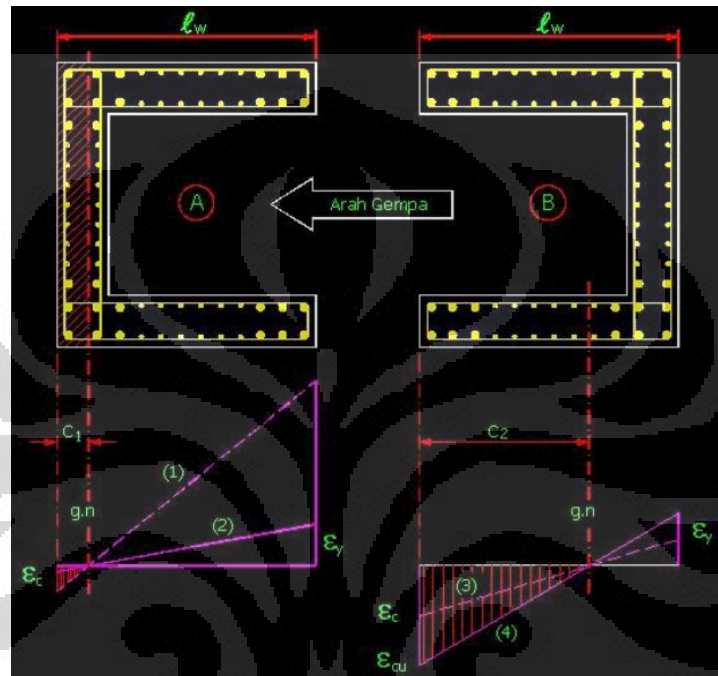
Sumber: Tumilar, 1998

Jika penampang dinding tersebut dibebani dengan momen lentur murni atau dengan gaya aksial yang kecil, maka tinggi garis netral c_1 adalah relatif kecil dibandingkan dengan panjang dinding l_w . Dengan demikian dari gambar distribusi regangan yang ditunjukkan oleh garis 1 di atas terlihat bahwa daktilitas kurvturnya tinggi sehingga diperkirakan cukup mampu untuk mengerahkan kapasitas rotasinya pada daerah sendi plastis.

Kemudian jika gaya aksial tekannya ditingkatkan, maka daerah yang mengalami tekan akan membesar, yang diikuti oleh garis netral c_2 dan diagram distribusi regangannya ditunjukkan oleh garis titik-titik (garis 2). Dari gambar tersebut terlihat bahwa daktilitas kurvturnya relatif sangat kecil.

Untuk dinding beton bentuk kanal seperti yang sering dijumpai yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 di bawah ini, dinding struktur beton yang dibebani dengan arah gempa seperti pada Gambar 2.4 akan mengakibatkan lelehnya tulangan tarik pada bagian sayap (*flange*) dari dinding kanal (A) dan diimbangi

oleh gaya tekan yang bekerja pada sebagian badan (*web*) dari dinding kanal dengan tinggi garis netral c_1 yang relatif kecil. Diagram distribusi regangannya ditunjukkan oleh garis titik – titik (garis 1). Kurvatur yang demikian tinggi mungkin tidak dibutuhkan, diagram yang ditunjukkan oleh garis 2 sudah cukup memadai, walaupun mungkin regangan tekan beton sudah cukup kritis.



Gambar 2.4 Diagram Distribusi Regangan untuk Dinding Struktur Bentuk Kanal

Sumber: Tumilar, 1998

Pada sisi lain, pada dinding kanal B membutuhkan daerah tekan yang relatif besar untuk mengimbangi gaya tarik yang terjadi pada bagian badan dari dinding kanal dengan tinggi garis netral c_2 yang relatif besar. Diagram distribusi regangan ditunjukkan oleh garis 3. Untuk mendapatkan daktilitas yang lebih tinggi sebagaimana yang dihasilkan oleh kanal A, kurvatur yang dihasilkan oleh kanal B adalah tidak cukup dan diagram yang diharapkan adalah seperti yang ditunjukkan oleh garis 4 sehingga garis 2 sejajar dengan garis 4. Konsekuensi dari hal ini adalah bagian sayap dinding yang mengalami regangan tekan yang besar perlu di kekang dengan pengekangan khusus untuk mencegah timbulnya keruntuhan getas.

2.2 Komponen Batas untuk Dinding Struktural

Dinding - dinding atau sistem dinding yang menerus secara efektif dari dasar hingga puncak bangunan dan direncanakan memiliki satu penampang kritis untuk lentur dan gaya aksial. Desain komponen batas atau *boundary element* berdasarkan pendekatan berbasis perpindahan harus memenuhi syarat berikut :

$$c > \frac{l_w}{600 \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)} \quad (2.2.1)$$

Besaran δ_u/h_w pada persamaan 2.2.1 tidak boleh diambil kurang daripada 0,007. Untuk komponen batas khusus yang diperlukan sesuai dengan desain dengan pendekatan berbasis perpindahan maka tulangnya harus diteruskan secara vertikal dari penampang kritis sejarak tidak kurang daripada nilai terbesar dari l_w atau $M_u/4V_u$.

Untuk desain dengan pendekatan berbasis gaya geser (*shear based design*), *boundary element* dibutuhkan jika memenuhi syarat berikut :

$$\frac{P_u}{A_g} + \left(\frac{M_u}{I_g} \times \frac{l_w}{2} \right) \geq 0,2fc' \quad (2.2.2)$$

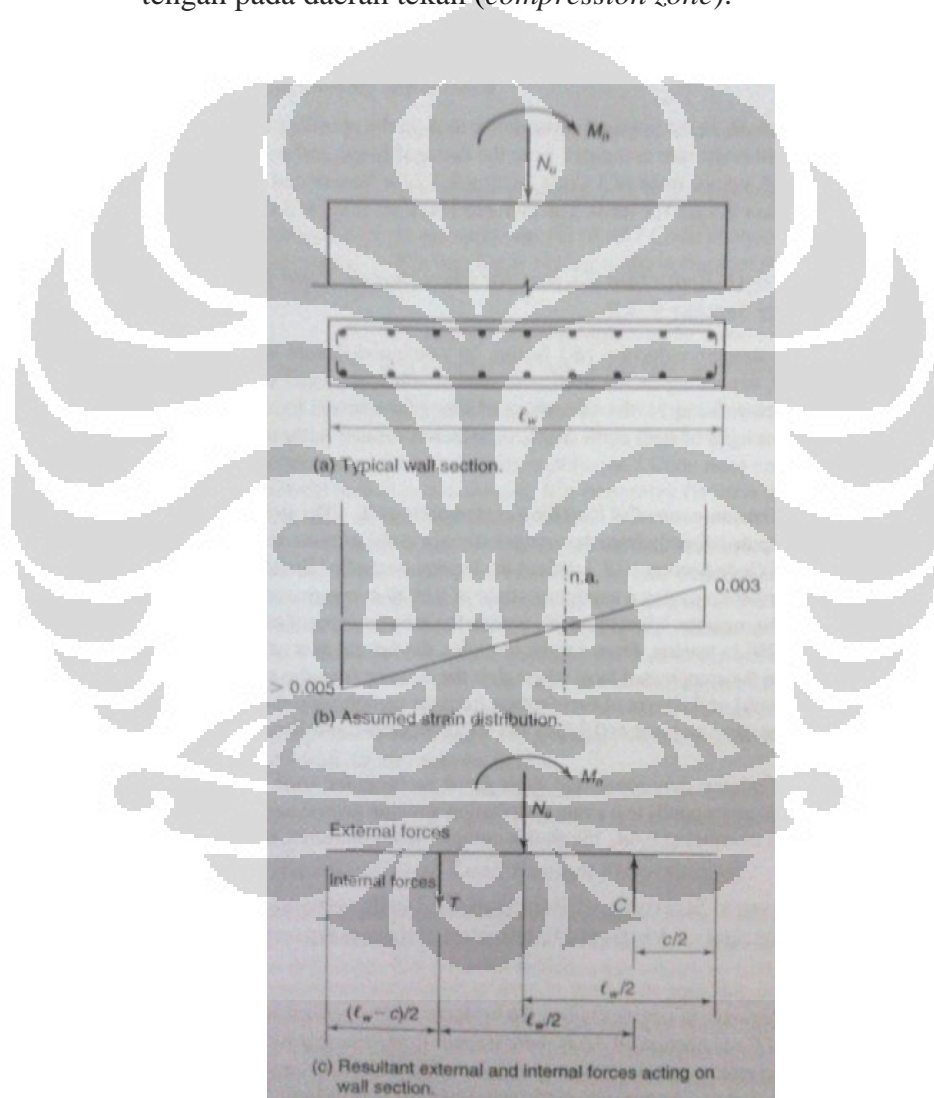
Komponen batas berdasarkan desain pendekatan gaya geser ini boleh dihentikan pada tempat dimana tegangan tekan tersebut kurang daripada $0,15fc'$. Tegangan - tegangan tersebut harus dihitung untuk beban - beban terfaktor dengan menggunakan hubungan tegangan - regangan elastis linear dan luas penampang bruto.

Bila persyaratan persamaan 2.2.1 dan 2.2.2 dipenuhi, maka komponen batas harus menerus secara horizontal dari sisi serat tekan terluar sejarak tidak kurang dari daripada $(c - 0,1 l_w)$ dan $c/2$.

2.2.1 Kuat Lentur Dinding Struktur dengan Distribusi Tulangan Vertikal Tipikal

Gambar 2.5 menunjukkan dinding struktur dengan penampang persegi panjang yang diberi distribusi tulangan vertikal tipikal. Dalam prosedur yang dikembangkan oleh Cardenas (1973) et al., mereka membuat asumsi kekuatan nominal untuk dinding geser dengan penampang seperti pada Gambar 2.5 seperti berikut :

- Semua baja tulangan pada daerah tarik mengalami leleh terhadap tarik.
- Semua baja tulangan pada daerah tekan mengalami leleh terhadap tekan.
- Gaya tarik bekerja di tengah (*mid depth*) di daerah yang mengalami tarik (*tension zone*).
- Gaya tekan total (penjumlahan kontribusi baja dan beton) bekerja di tengah pada daerah tekan (*compression zone*).



Gambar 2.5 Dinding Struktur dengan Distribusi Tulangan Vertikal Tipikal yang Dikenakan Beban Aksial dan Momen

Sumber : Wight dan MacGregor, 2009

Dari asumsi tersebut, dengan menggunakan A_{st} yang merepresentasikan luas tulangan vertikal total, selanjutnya dengan mengikuti persamaan berikut berdasarkan Gambar 2.5 :

$$T = A_{st} f_y \frac{l_w - c}{l_w} \quad (2.2.1.1)$$

$$C_s = A_{st} f_y \frac{c}{l_w} \quad (2.2.1.2)$$

$$C_c = 0,85 f_c' h \beta_1 c \quad (2.2.1.3)$$

$$C = C_s + C_c \quad (2.2.1.4)$$

Rasio tulangan longitudinal total adalah :

$$\rho_l = \frac{A_{st}}{h l_w} \quad (2.2.1.5)$$

Dimana h adalah tebal dinding geser, dan indeks tulangan longitudinal adalah :

$$\omega = \rho_l \frac{f_y}{f_c'} \quad (2.2.1.6)$$

Cardenas, et al., mendefinisikan parameter tegangan aksial sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{N_u}{h l_w f_c'} \quad (2.2.1.7)$$

Dimana N_u mempresentasikan beban aksial terfaktor, dengan tanda positif pada kondisi tekan, sehingga :

$$C_c + C_s - T = N_u \quad (2.2.1.8)$$

$$0,85 f_c' h \beta_1 c + A_{st} f_y \frac{c}{l_w} - A_{st} f_y \frac{l_w - c}{l_w} = N_u \quad (2.2.1.9)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.2.1.5), (2.2.1.6), dan (2.2.1.7), selanjutnya didapat jarak garis netral dari serat tekan terluar dari dinding :

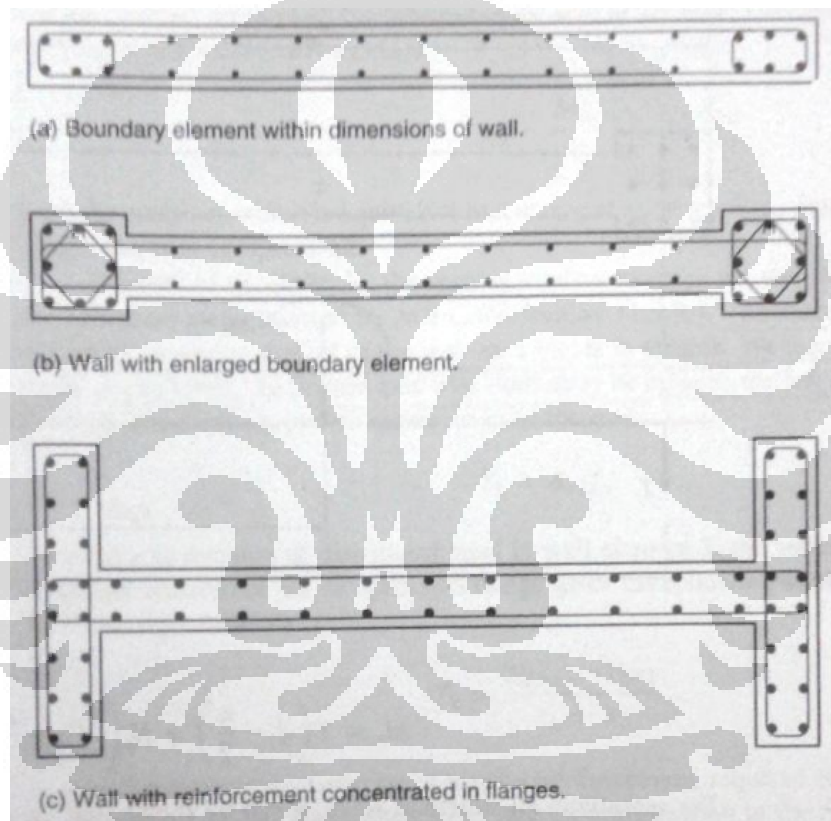
$$c = \left(\frac{\alpha + \omega}{0,85 f_c' + 2\omega} \right) l_w \quad (2.2.1.8)$$

Dengan nilai garis netral, c , yang telah didapat, selanjutnya didapat persamaan untuk kuat lentur nominal dari penampang dinding :

$$M_n = T \left(\frac{l_w}{2} \right) + N_u \left(\frac{l_w - c}{2} \right) \quad (2.2.1.9)$$

2.2.2 Kuat Lentur Dinding Struktur dengan *Boundary Elements*

Tipe-tipe dinding geser dimana tulangnya dikonsentrasikan di ujung-ujung dinding struktur terlihat seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.6 Dinding Struktur dengan *Boundary Elements*

Sumber : Wight dan MacGregor, 2009

Untuk *boundary element* yang mengalami tarik, besarnya gaya tarik tersebut adalah sebesar :

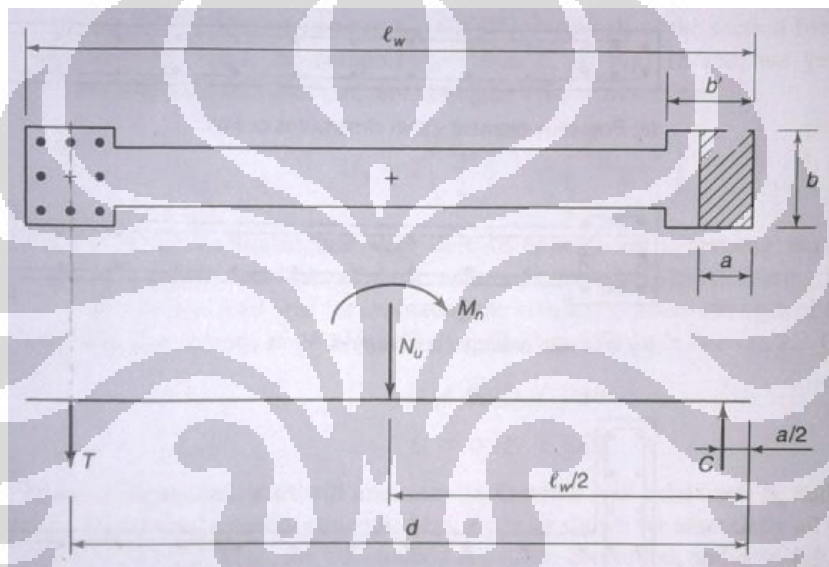
$$T = A_s \times f_y \quad (2.2.2.1)$$

Dimana A_s adalah luas baja tulangan pada daerah *boundary element*. Luas tulangan longitudinal pada daerah tekan pada *boundary element* diabaikan. Dengan menggunakan blok kompresi tegangan, besarnya gaya tekan :

$$C = 0.85 f_c' b a \quad (2.2.2.2)$$

Dimana b adalah lebar dari dimensi *boundary element*, dan dengan menggunakan persamaan gaya vertikal, didapatkan :

$$a = \frac{T + N_u}{0.85 f_c' b} \quad (2.2.2.3)$$



Gambar 2.7 Model Kuat Lentur untuk Dinding dengan *Boundary Elements*

Sumber : Wigh dan MacGregor, 2009

Sehingga persamaan untuk kuat lentur nominal adalah :

$$M_n = T \left(d - \frac{a}{2} \right) + N_u \left(\frac{l_w - a}{2} \right) \quad (2.2.2.4)$$

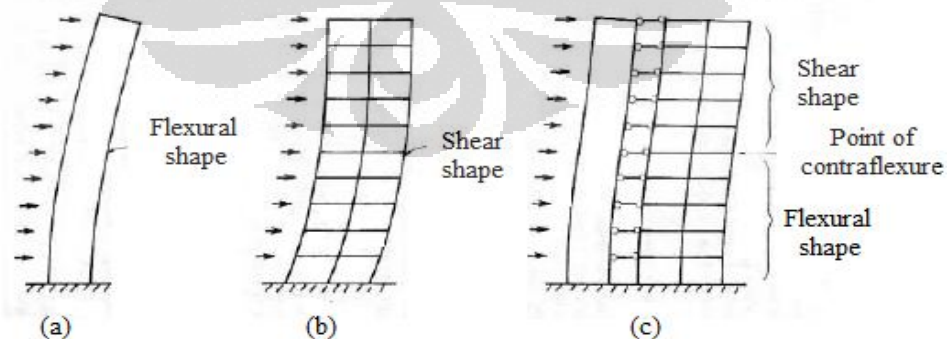
2.3 Sistem Ganda Struktur Dinding Geser dan Portal Beton Bertulang

Struktur beton untuk bangunan bertingkat terdiri dari sistem struktur portal, sistem struktur dinding, atau sistem ganda, yaitu sistem struktur dinding geser dan portal. Struktur portal dengan rangka terbuka dapat mengatasi gaya gravitasi yang signifikan yang juga cukup tahan untuk menahan beban lateral yang diakibatkan oleh aksi lentur. Ketika beban lateral jauh lebih tinggi dari

beban gravitasi, sistem struktur dinding lebih baik untuk menahan beban lateral. Suatu sistem struktur yang tanpa sistem rangka terbuka dan memberikan ketahanan terhadap beban gravitasi yang juga mampu menahan beban lateral adalah sistem struktur dinding geser.

Sistem struktur dimana ketahanan terhadap beban lateral diberikan oleh kombinasi interaksi antara dinding geser dan rangka pemikul momen disebut sistem ganda (*dual system*). Keuntungan yang diperoleh dari sistem ganda adalah kontrol yang lebih baik untuk simpangan antar tingkat (*drift*) dimana nilainya tereduksi secara signifikan dibandingkan hanya didesain sebagai sistem tunggal dengan hanya dinding geser sebagai elemen penahan beban lateral. Momen yang diterima oleh dinding akan berkurang dan pola distribusi gaya geser tingkat yang ditanggung rangka pemikul momen *uniform* sehingga relatif lebih ekonomis (Smith dan Coull, 1991).

Untuk memahami interaksi antara dinding geser dan rangka pemikul momen pada sistem ganda, Gambar 2.8 mengilustrasikan bentuk deformasi dari dinding geser dan rangka pemikul momen yang menerima beban lateral. Dinding berdeformasi dalam pola lentur (*flexural mode*) dengan kemiringan (*slope*) maksimum di lantai teratas sementara rangka pemikul momen berdeformasi dengan pola geser (*shear mode*) dengan kemiringan maksimum di lantai dasar. Ketika keduanya dihubungkan, pola deformasi yang terjadi adalah gabungan dari keduanya, yaitu pola lentur di bagian dasar dan pola geser pada lantai atas, ditunjukkan pada Gambar 2.8c.

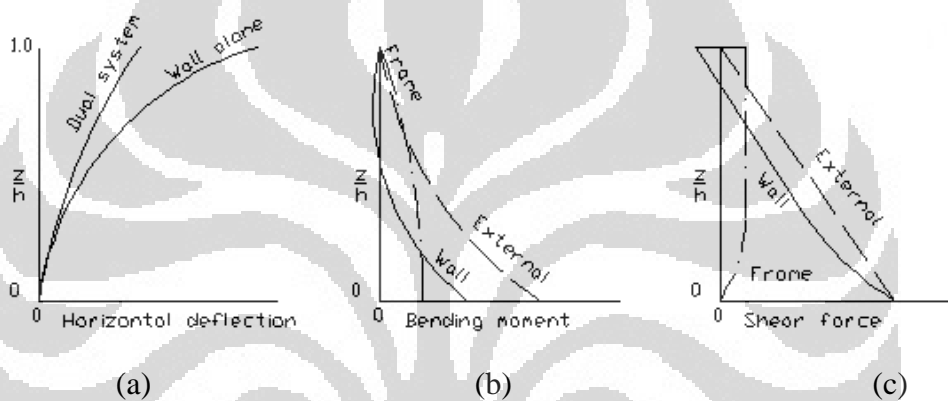


Gambar 2.8 Deformasi Struktur Terhadap Beban Lateral Terbagi Rata

(a) Dinding Geser; (b) Rangka Pemikul Momen; (c) Sistem Ganda

Sumber : Smith dan Coull, 1991

Ilustrasi bagaimana pengaruh kinerja sistem ganda dalam menahan beban lateral digambarkan oleh kurva untuk deformasi, momen dan gaya geser pada Gambar 2.9. Pada Gambar 2.9a. dan 2.9b. memperlihatkan bagaimana sistem ganda mereduksi dengan signifikan deformasi dan momen dibandingkan dengan sistem tunggal. Gambar 2.9c. menunjukkan distribusi gaya geser tingkat pada rangka pemikul momen *uniform* di seluruh tingkat kecuali tereduksi di bagian dasar. Pada lantai teratas dimana gaya geser akibat beban luar bernilai nol, rangka pemikul momen mengalami gaya geser positif sementara dinding menanggung gaya geser negatif dalam besar yang sama.



Gambar 2.9 Perbandingan Respon Sistem Struktur Terhadap Beban Lateral (a) Deformasi Lateral; (b) Diagram Momen; (c) Diagram Gaya Geser Tingkat

Sumber : Smith dan Coull, 1991

Jika gaya geser dasar yang dikenakan pada portal dalam interaksi dengan dinding geser adalah kurang dari 10% dari total desain gaya geser dasar, sistem struktur tersebut dapat dianggap sebagai sistem dinding geser. Peraturan gempa Indonesia mensyaratkan bahwa dinding geser dan rangka pemikul momen dapat didesain sebagai sistem ganda jika memenuhi kondisi berikut (SNI 03-1726-2002, 2002)

1. Seluruh beban gravitasi dipikul oleh rangka pemikul momen
2. Beban lateral ditahan oleh kombinasi dinding geser dan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus didesain terpisah menanggung minimal 25% dari gaya geser rencana.

3. Kedua sistem didesain menahan beban lateral secara bersama-sama dengan memperhatikan proporsi terhadap kekakuan relatif masing-masing dengan memperhatikan interaksi sistem ganda di seluruh lantai.

Untuk struktur sistem ganda, daktilitas struktur harus ditentukan sesuai dengan dengan daktilitas struktur dari dinding geser dan portal. Ketika sepasang dinding geser dengan portal digunakan, kapasitas daktilitas struktur yang tinggi diperoleh karena itu memungkinkan pembentukan sendi plastis dalam balok dan portal. Untuk struktur sistem tunggal (sistem dinding geser), kapasitas daktilitas struktur harus dibatasi karena sendi plastis hanya diperbolehkan terjadi di dasar dinding geser dan di balok perangkai (*link beam*) untuk dinding geser berangkai, (Paulay, 1992).

2.4 Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental T_1 dari struktur gedung harus dibatasi, bergantung pada koefisien ξ untuk wilayah gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkatnya n , menurut persamaan

$$T_1 < \xi n \quad (2.4.1)$$

Dimana koefisien ξ ditetapkan menurut tabel dibawah ini :

Tabel 2.1 Koefisien ξ yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung

Wilayah Gempa	ξ
1	0.20
2	0.19
3	0.18
4	0.17
5	0.16
6	0.15

Sumber : SNI 03-1726-2002,2002

2.5 Arah Pembebanan Gempa

Dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%.

2.6 Respon Dinamik Sistem Ganda

Persamaan diferensial yang mengatur untuk respon *Multi Degree of Freedom* (MDOF) yang menyebabkan pergerakan gempa dalam tanah dapat ditulis (Chopra, 2000) :

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = -Ml\ddot{U}_g \quad (2.6.1)$$

Dimana M , C , dan K secara berturut-turut adalah massa, redaman, dan kekakuan. \ddot{U} , \dot{U} , dan U adalah vektor percepatan, kecepatan, dan simpangan (*displacement*). \ddot{U}_g dan l menunjukkan percepatan tanah dan arahnya.

Pendekatan efektif dan yang biasa digunakan dalam analisis seismik struktur sistem linear adalah metode superposisi. Pendekatan ini mengasumsikan respon dinamik dari suatu sistem dapat dinyatakan sebagai superposisi dari kontribusi modal (*modal contributions*) sehingga dapat mengekspansi *displacement* U menjadi :

$$U = \sum_{n=1}^N \phi_n q_n(t) \quad (2.6.2)$$

Dimana ϕ_n dan q_n adalah pola ragam getar dinamik dan respon modal (*modal response*), persamaan 2.6.1 dapat ditulis kembali menjadi

$$\ddot{q}_n + 2\xi_n\omega_n\dot{q}_n = -\phi_n^t M l \ddot{U}_g \quad n = 1, \dots, N \quad (2.6.3)$$

Dimana ξ_n dan ω_n menyatakan rasio redaman dan frekuensi natural dan $M_n = \phi_n^t M \phi_n$

Nilai maksimum dari respon modal (*modal response*) dan *modal displacement* dapat dihitung dengan menggunakan metode respon spektrum

$$q_n^{max} = \phi_n^t M I S_a / M_n \text{ dan } U_n^{max} = \phi_n q_n^{max} \quad n = 1, \dots, N \quad (2.6.4)$$

S_a menyatakan respon spektrum percepatan. Untuk mendapatkan total perpindahan (*displacement*) atau total respon struktur dari keseluruhan bentuk, metode Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination* atau CQC) dan Akar Jumlah Kuadrat (*Square Root of Sum Squares* atau SRSS) dapat digunakan.

Dalam metode *Complete Quadratic Combination* atau CQC, respon dari suatu sistem diperoleh dari (Der Kiureghian, 1981) :

$$\lambda_n = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \rho_{ij} \lambda_j} \quad (2.6.5)$$

Dimana :

- n : jumlah pola ragam getar yang ditinjau
- λ_i : jumlah respon pada pola ragam getar ke-i
- λ_j : jumlah respon pada pola ragam getar ke-j
- ρ_{ij} : *cross modal coefficient* dan nilainya diberikan sebesar

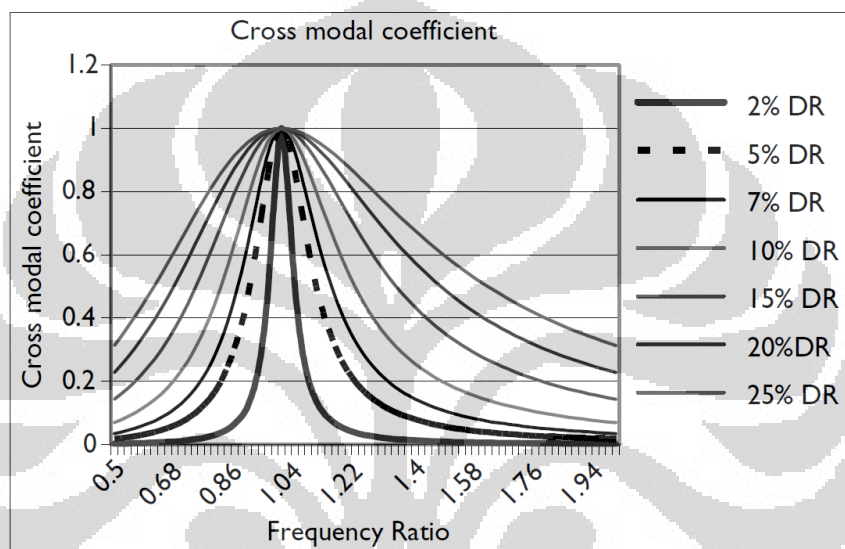
$$\rho_{ij} = \frac{8\sqrt{D_i D_j} (D_i + \beta_{ij} D_j) \beta_{ij}^{\frac{3}{2}}}{(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4D_i D_j \beta_{ij} (1 + \beta_{ij})^2} \quad (2.6.6)$$

Dimana :

- D_i : rasio redaman untuk pola ragam getar ke-i
- D_j : rasio redaman untuk pola ragam getar ke-j
- β_{ij} : rasio frekuensi (ω_i/ω_j)

Untuk analisis dinamik gempa normal, rasio redaman biasanya dianggap konstan untuk seluruh pola ragam getar saat persamaan 2.6.6 tereduksi menjadi :

$$\rho_{ij} = \frac{8D^2(1+\beta_{ij})\beta_{ij}^{\frac{3}{2}}}{(1-\beta_{ij}^2)^2 + 4D^2\beta_{ij}(1+\beta_{ij})^2} \quad (2.6.7)$$



Gambar 2.10 Variation of Cross Modal Frequency for Different Ratios

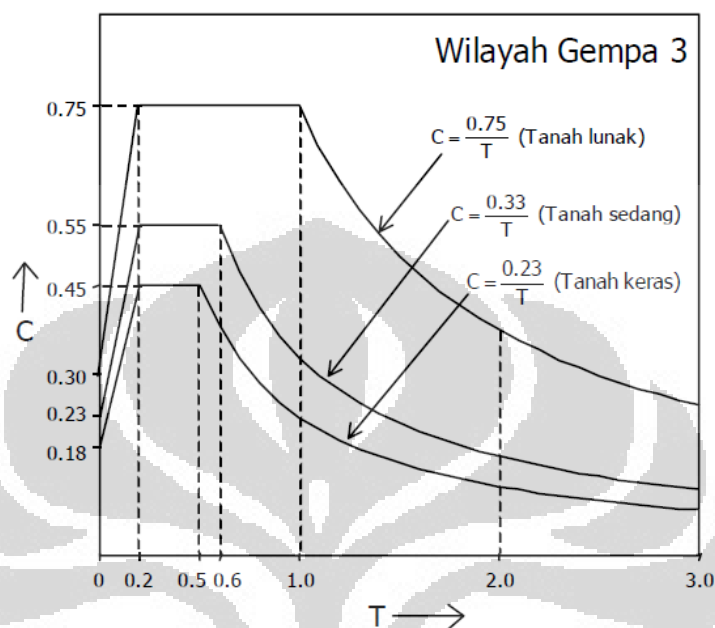
Sumber : Chowdury dan Dasgupta, 2009

Dari kurva tersebut menunjukkan *cross modal ratio* mempunyai bagian yang signifikan ketika rasio frekuensi bervariasi antara 0,88 hingga 1,14. Untuk frekuensi yang lain berkurang dengan cepat dan memberikan kontribusi yang signifikan.

2.7 Analisis Ragam Respon Spektrum

Perhitungan respon dinamik struktur gedung tidak beraturan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dapat dilakukan dengan metode analisis ragam respon spektrum dengan memakai Respon Spektrum Gempa Rencana menurut Gambar 2.11 yang nilai ordinatnya dikalikan faktor koreksi I/R , dimana I adalah faktor keutamaan bangunan sedangkan R adalah faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan.

Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan respons ragam menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%.



Gambar 2.11 Respon Spektrum Gempa Rencana Wilayah 3

Sumber : SNI 03-1726-2002, 2002

Penjumlahan respon ragam untuk struktur gedung tidak beraturan yang memiliki waktu-waktu getas alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode CQC. Waktu getas alami harus dianggap berdekatan, apabila selisih nilainya kurang dari 15%. Untuk struktur gedung tidak beraturan yang memiliki waktu getas alami yang berjauhan, penjumlahan respons ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode SRSS.

Respon spektrum percepatan dapat ditentukan seperti berikut :

$$S_a = \frac{C I}{R} g \quad (2.7.1)$$

Dimana :

- C = Respon Spektrum Gempa
 I = Faktor Keutamaan Bangunan
 g = Percepatan Gravitasi
 R = Faktor Reduksi Gempa

SNI 03-1726-2002 mensyaratkan nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80% dari nilai respon ragam yang pertama. Bila respon dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser nominal V , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut persamaan berikut :

$$V \geq 0,8 V_1 \quad (2.7.2)$$

Dimana V_1 adalah gaya geser dasar nominal sebagai respons ragam yang pertama terhadap pengaruh Gempa Rencana menurut persamaan :

$$V_1 = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (2.7.3)$$

Dengan C_1 adalah nilai faktor respon gempa yang didapat dari respon spektrum gempa rencana menurut gambar 2.11 (daerah wilayah 3) untuk waktu getar alami T_1 dan W_t adalah berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai.

Untuk memenuhi persyaratan dari persamaan (2.7.2) dan (2.7.3), maka gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh Gempa Rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisis ragam respon spektrum dalam suatu arah tertentu harus dikalikan nilainya dengan suatu faktor skala :

$$\text{Faktor Skala} = 0.8 \frac{V_1}{V_t} \geq 1 \quad (2.7.4)$$

Dimana V_1 adalah gaya geser dasar nominal sebagai respon dinamik ragam yang pertama saja dan V_t adalah gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam respon spektrum yang telah dilakukan.

2.8 Perancangan Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

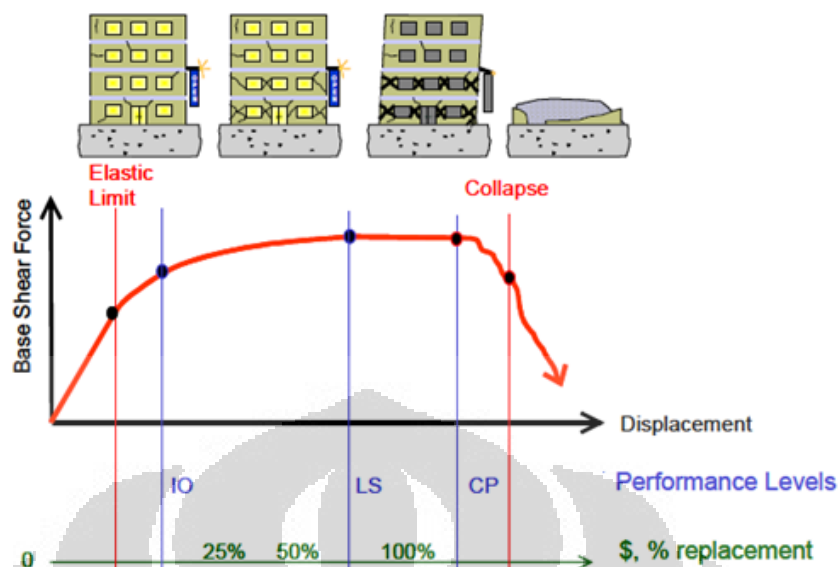
Perancangan bangunan tahan gempa bertujuan untuk mempertahankan setiap pelayanan vital dari fungsi bangunan, membatasi ketidaknyamanan penghunian dan kerusakan bangunan hingga masih dapat diperbaiki ketika terjadi gempa ringan sampai sedang dan menghindari terjadinya korban jiwa oleh runtuhnya bangunan akibat gempa kuat (SNI 03-1726-2002, 2002).

Perancangan bangunan tahan gempa berbasis kinerja merupakan proses yang dapat digunakan untuk perancangan bangunan baru maupun perkuatan bangunan yang sudah ada dengan pemahaman terhadap aspek resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*), dan resiko kerugian finansial yang timbul akibat beban gempa (*economic loss*). FEMA 273 (1997) menetapkan level kinerja untuk perancangan struktur tahan gempa sebagai berikut :

Tabel 2.2 Tingkat Kinerja FEMA 273

Level Kinerja	Peluang Terlampaui	Keterangan
<i>Operational</i>	50%/50 Tahun umur bangunan	Tidak ada kerusakan struktural dan non struktural yang berarti, bangunan dapat tetap berfungsi.
<i>Immediate Occupancy (IO)</i>	20%/50 Tahun umur bangunan	Tidak terjadi kerusakan struktural, komponen non struktural masih berada di tempatnya dan bangunan tetap dapat berfungsi tanpa terganggu masalah perbaikan.
<i>Life Safety (LS)</i>	10%/50 Tahun umur bangunan	Terjadi kerusakan struktural tetapi tidak terjadi keruntuhan, komponen non struktural tidak berfungsi tetapi bangunan masih dapat digunakan setelah dilakukan perbaikan.
<i>Collapse Prevention (CP)</i>	2%/50 Tahun umur bangunan	Kerusakan terjadi pada komponen struktural dan non struktural, bangunan hampir runtuh, dan kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan sangat mungkin terjadi.

Sumber : BSSC dan SEAOC, 1995



Gambar 2.12 Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja

Sumber : ATC 58 dalam Dewobroto, 2005

Hal penting dalam perancangan berbasis kinerja adalah penetapan sasaran kinerja bangunan terhadap gempa. Sasaran kinerja terdiri dari gempa rencana yang ditentukan (*earthquake hazard*) dan taraf kerusakan yang diizinkan atau tingkat kinerja secara kualitatif yang digambarkan dalam kurva hubungan gaya-lendutan dari perilaku struktur secara global terhadap beban lateral.

2.8.1 Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat akibat pengaruh gempa rencana, yaitu untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, di samping untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Simpangan antar-tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung tersebut akibat pengaruh gempa nominal yang telah dibagi faktor skala.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui $\frac{0,03}{R}$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, bergantung yang mana yang nilainya terkecil.

2.8.2 Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja Batas Ultimit

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela delatasi). Simpangan dan simpangan antar-tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan suatu faktor pengali ξ sebagai berikut :

- untuk struktur gedung beraturan :

$$\xi = 0,7 R$$

- untuk struktur gedung tidak beraturan :

$$\xi = \frac{0,7 R}{\text{Faktor Skala}}$$

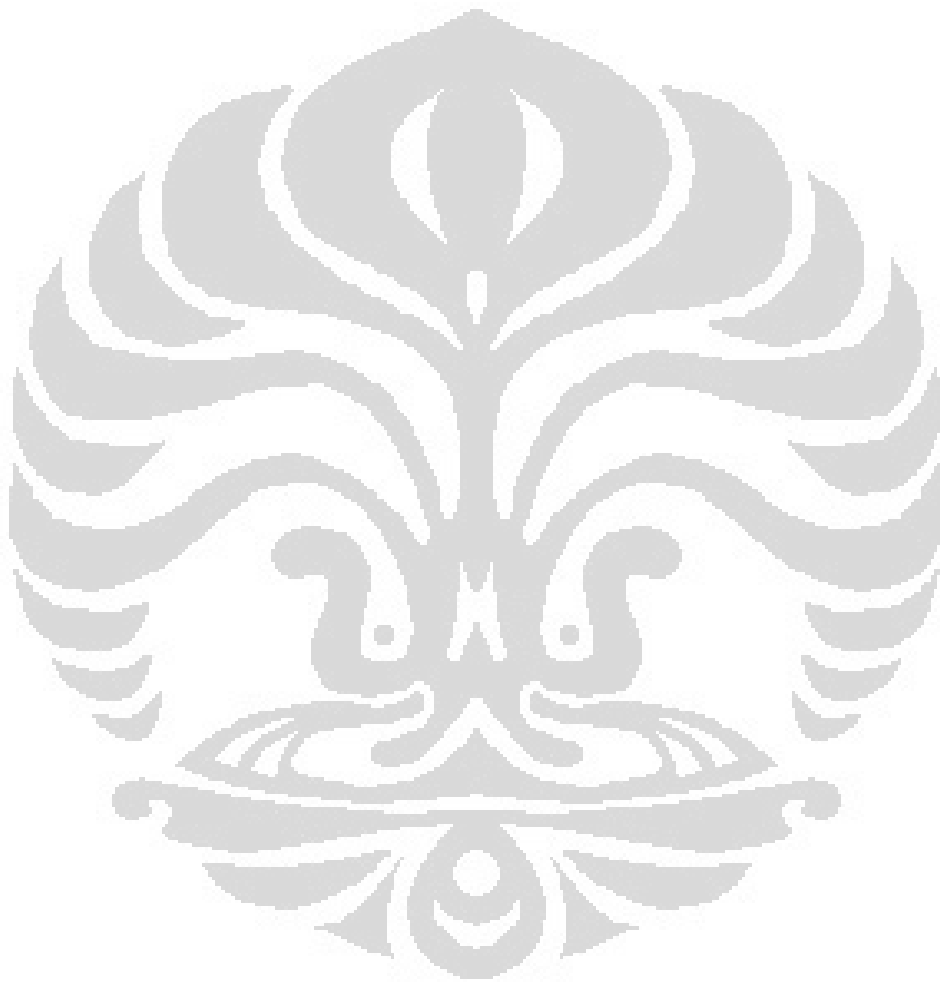
Dimana R adalah faktor reduksi gempa struktur gedung tersebut dan faktor skala adalah seperti yang telah ditetapkan pada persamaan 2.7.4.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui 0,02 kali tingkat yang bersangkutan.

Jarak pemisah antar-gedung harus ditentukan paling sedikit sama dengan jumlah simpangan maksimum masing-masing struktur gedung pada taraf itu. Dalam segala hal masing-masing jarak tersebut tidak boleh kurang dari 0,025 kali ketinggian taraf itu diukur dari taraf penjepitan lateral.

Dua bagian struktur gedung yang tidak direncanakan untuk bekerja sama sebagai satu kesatuan dalam mengatasi gempa rencana, harus dipisahkan yang satu terhadap yang lainnya dengan suatu sela pemisah (sela delatasi) yang lebarnya paling sedikit harus sama dengan jumlah simpangan masing-masing bagian struktur gedung pada taraf itu. Dalam segala hal lebar sela pemisah tidak boleh ditetapkan kurang dari 75 mm.

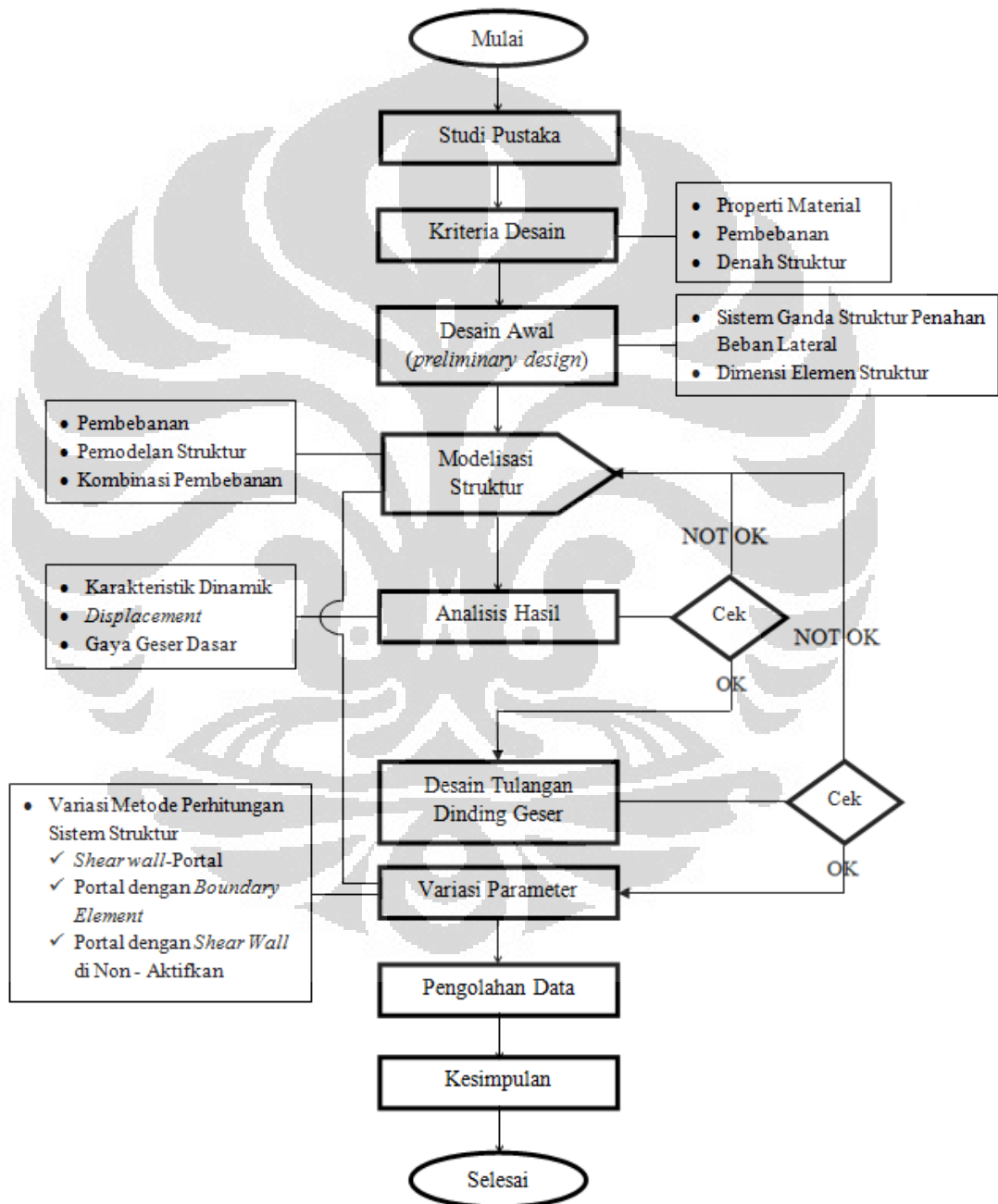
Sela pemisah harus direncanakan detailnya dan dilaksanakan sedemikian rupa sehingga senantiasa bebas dari benda-benda penghalang. Lebar sela pemisah juga harus memenuhi semua toleransi pelaksanaan.



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah diagram alir penelitian yang akan dilakukan dalam melakukan penelitian ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

3.2 Kriteria Perencanaan

Bangunan yang digunakan sebagai pemodelan struktur dalam penelitian ini adalah bangunan perkantoran 8 lantai dengan struktur beton bertulang. Tinggi lantai dasar yaitu 4 meter dan tinggi tipikal lantai di atasnya yaitu 3,6 meter. Denah yang digunakan adalah denah simetris tipikal di setiap lantai dengan dimensi 36m x 18m.

Sistem struktur penahan beban lateral yang digunakan sebagai pemodelan adalah sistem dinding geser beton bertulang kantilever sebagai sistem ganda. Faktor reduksi gempa yang diijinkan untuk dinding geser beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) beton bertulang yang didesain sebagai sistem ganda sebesar $R = 6,5$ (SNI 03-1726-2002, 2002).

Material dan dimensi elemen struktur yang digunakan dalam pemodelan diberikan dalam Tabel 3.1 dan Tabel 3.2. Untuk struktur beton bertulang, mutu beton direncanakan memiliki kuat tekan $f'_c = 29$ MPa untuk seluruh elemen struktur, sedangkan baja tulangan yang digunakan memiliki kuat leleh $f_y = 400$ MPa.

Tabel 3.1 Properti Material

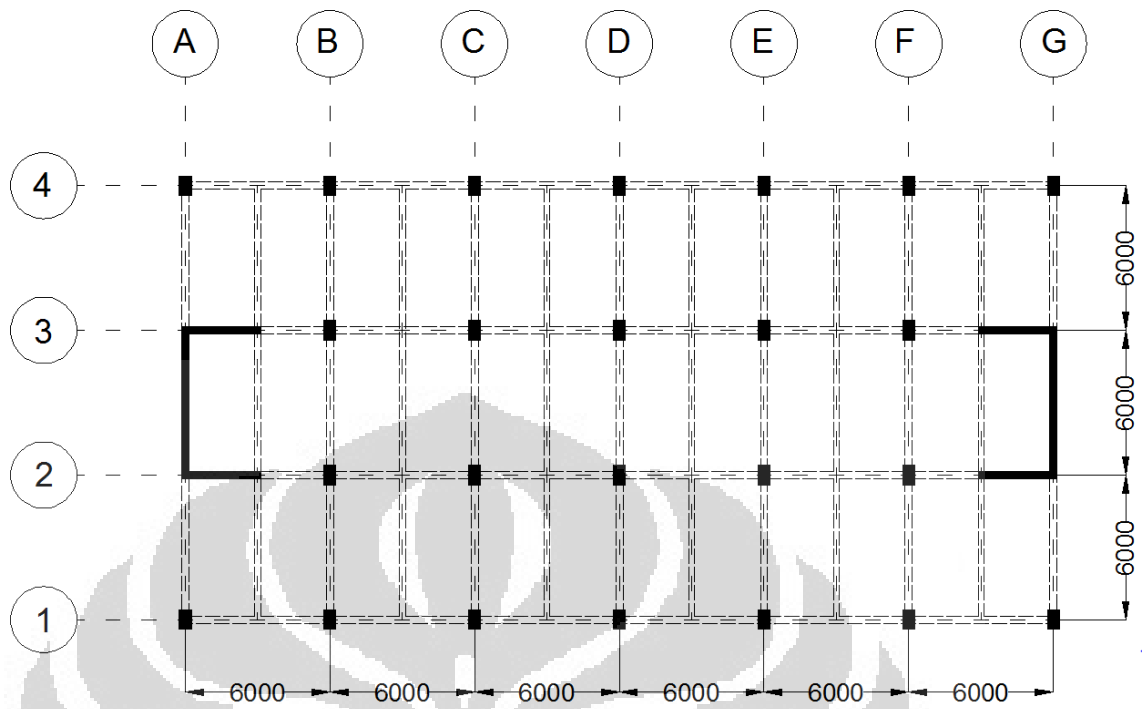
Material	Mutu	Modulus Elastisitas
Beton K-350	f'_c : 29 Mpa	E_c : 25310,3 MPa
Baja Tulangan	f_y : 400 Mpa	E_s : 200.000 MPa

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Tabel 3.2 Dimensi Elemen Struktur

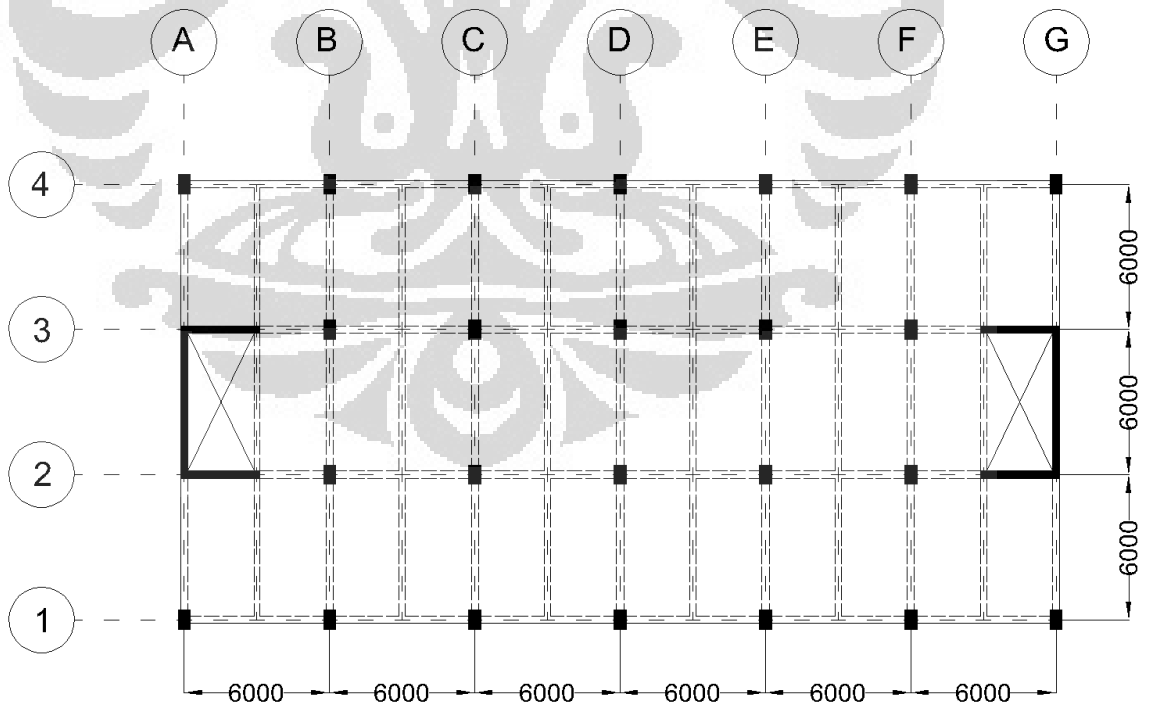
Elemen Struktur	Dimensi	Material
Pelat	t : 120 mm	Beton K-350
Balok Induk	600 x 300 mm ²	Beton K-350
Balok Anak	500 x 250 mm ²	Beton K-350
Kolom	500 x 800 mm ²	Beton K-350
<i>Shear Wall</i>	t : 250 Mm	Beton K-350

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012



Gambar 3.2 Denah Struktur Lantai Dasar

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012



Gambar 3.3 Denah Struktur Lantai Tipikal

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Pembebanan pada struktur mengacu pada SNI 03-1727-1989-F Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung. Untuk beban mati, terdiri dari berat sendiri struktur dengan berat jenis beton 24 KN/m^3 , berat komponen gedung seperti mortar dan penutup lantai sebesar $1,1 \text{ KN/m}^2$, berat untuk *mechanical, electrical, & plumbing* (MEP) sebesar $0,3 \text{ KN/m}^2$, untuk berat bata ringan sebesar $1,5 \text{ KN/m}^2$, dan untuk beban partisi sebesar 1 KN/m^2 .

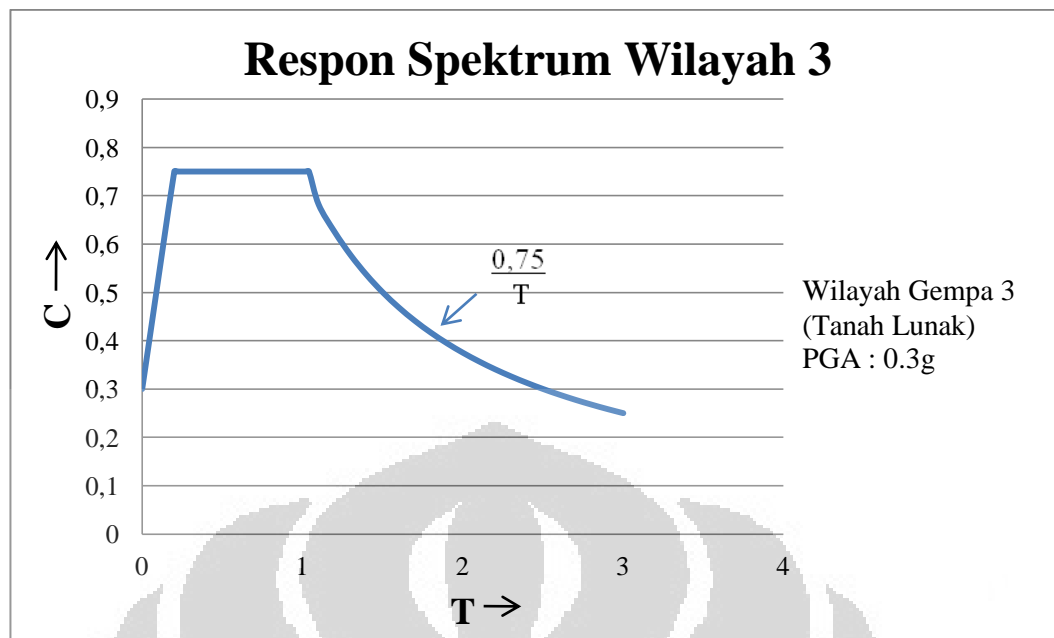
Sedangkan untuk beban hidup pada bangunan perkantoran, pelat lantai menerima beban sebesar $2,5 \text{ KN/m}^2$ dan khusus untuk lantai atap sebesar 1 KN/m^2 . Untuk reduksi beban hidup pada peninjauan gempa, karena peluang untuk terjadinya beban hidup penuh yang membebani semua bagian dan semua unsur struktur pemikul secara serempak selama umur gedung sangat kecil, diizinkan untuk mereduksi beban hidup dengan koefisien reduksi sebesar 0,3.

Tabel 3.3 Tabel Pembebanan

Beban Mati	Berat Sendiri Struktur, dengan BJ-Beton	24	KN/m^3
	Mortar dan Penutup Lantai	1,1	KN/m^2
	<i>Mechanical, Electrical, & Plumbing</i>	0,3	KN/m^2
	Bata Ringan	1,5	KN/m^2
	Beban Partisi	1	KN/m^2
Beban Hidup	Lantai Perkantoran	2,5	KN/m^2
	Lantai Atap	1	KN/m^2

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Beban Gempa dihitung berdasarkan peraturan gempa Indonesia SNI 03-1726-2002. Bangunan berlokasi di Jakarta dengan jenis tanah diasumsikan tanah lunak. Berdasarkan peta gempa, respon spektra yang digunakan adalah respon spektra gempa rencana wilayah 3 dengan percepatan tanah puncak $\text{PGA} = 0,30g$ untuk tanah lunak.



Gambar 3.4 Respon Spektrum Gempa Rencana

Sumber : SNI 03-1726-2002,2002

3.3 Desain Tulangan

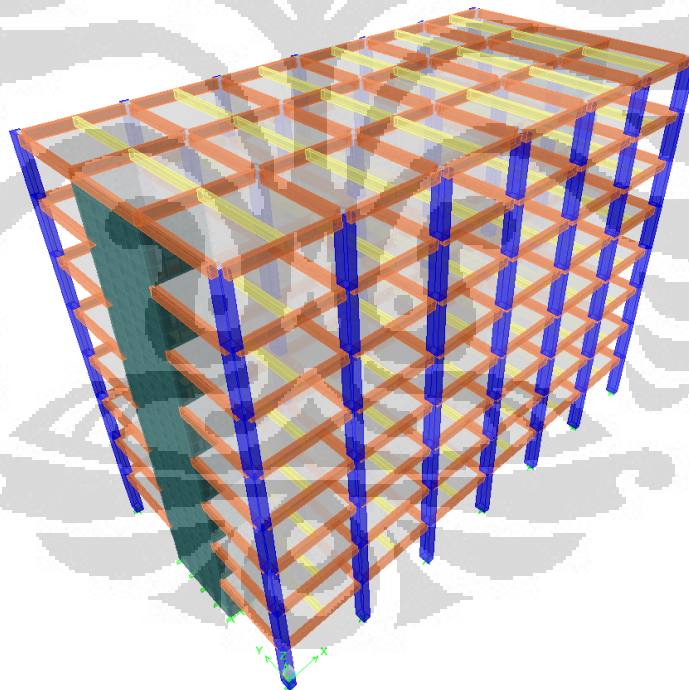
Analisis dan desain detail penulangan untuk elemen struktur balok kolom dan dinding geser menggunakan perangkat lunak *ETABS* versi 9. Balok dan kolom dimodelkan dengan elemen garis (*line element*). Pelat dimodelkan sebagai elemen *membrane* dan dinding geser dimodelkan sebagai elemen cangkang (*shell*).

Modelisasi dinding geser dengan cangkang pada *ETABS* dilakukan dengan dinding geser sebagai sebuah elemen *pier* untuk menganalisis persentase gaya gempa yang diterima oleh dinding geser dan struktur portal. Setelah model dipastikan sebagai sistem ganda dimana portal menerima minimal 10% dari beban gempa dan didesain tidak boleh kurang dari 25% beban geser nominal total yang bekerja dalam arah kerja beban gempa tersebut, analisis dan detail penulangan dilakukan dengan memodelkan masing-masing dinding geser sebagai elemen *pier*. Untuk panjang *boundary element* dan tulangan terpasang yang digunakan direncanakan dengan *trial and error*. Untuk balok pengikat antara kolom *boundary element*, digunakan ukuran balok dengan lebar balok (b) sebesar tebal dinding geser dan tinggi balok (h) diambil nilai maksimum, yaitu $2,5b$. Desain

dinding geser dengan *boundary element* dan penampang balok pengikat kolom *boundary element* terdapat pada lampiran 1.

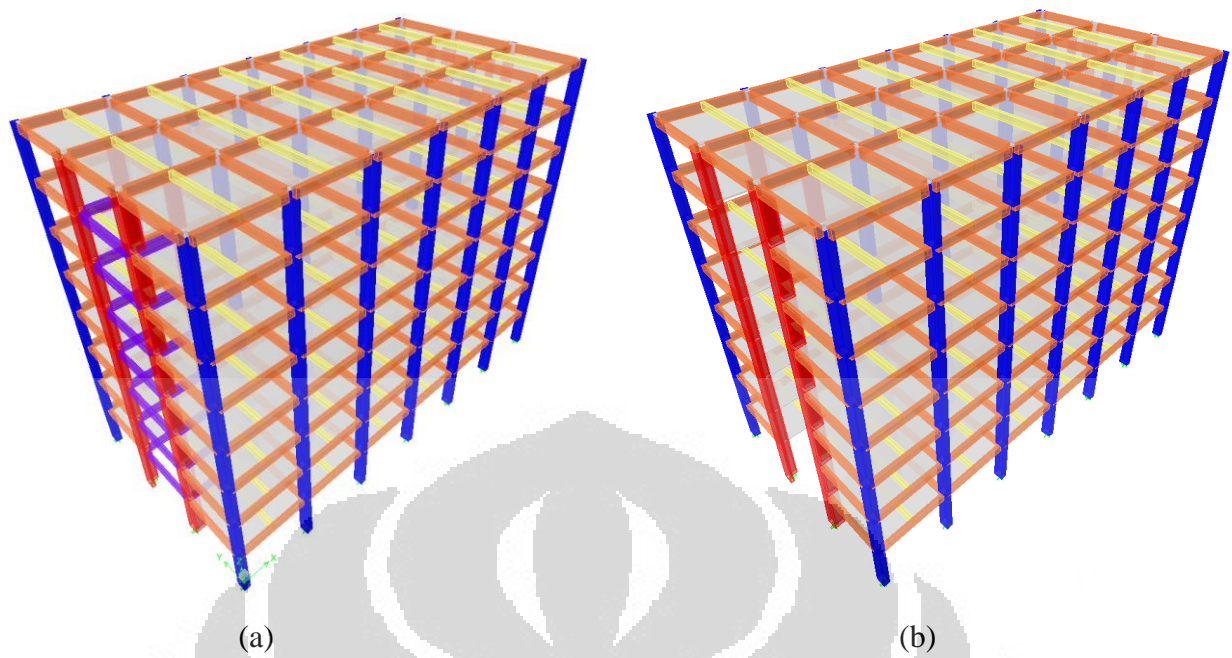
3.4 Variasi Metode Perhitungan Sistem Struktur

Pemodelan struktur yang digunakan dalam penelitian ini adalah struktur sistem ganda dengan portal-dinding geser. Dari model struktur ini akan dilakukan metode perhitungan penentuan sistem ganda dengan tiga metode perhitungan, yaitu yang pertama adalah memperhatikan sistem struktur portal-dinding geser, yang kedua adalah sistem struktur portal dengan *boundary element*, dan yang ketiga adalah sistem portal dengan dinding geser di non-aktifkan. Kemudian dimodelkan dalam perangkat lunak *ETABS* versi 9. masing-masing pemodelan 3D secara berturut-turut ditunjukkan oleh Gambar 3.4, Gambar 3.5, dan Gambar 3.6.



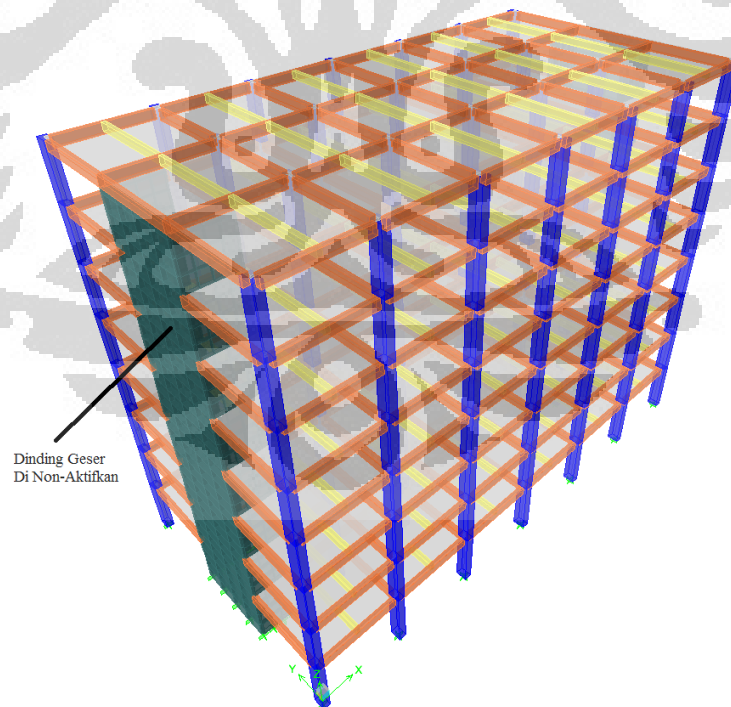
Gambar 3.5 Model Struktur Portal - Dinding Geser

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012



(a) (b)
Gambar 3.6 Model Struktur Portal dengan *Boundary Element*
(a) Dengan Balok Pengikat ; (b) Tanpa Balok Pengikat

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012



Gambar 3.7 Model Struktur Portal dengan Dinding Geser di Non-Aktifkan

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

3.4.1 Metode Perhitungan Model Struktur Portal dan Dinding Geser Berinteraksi

Pada metode perhitungan model struktur ini, untuk perhitungan tulangan yang dibutuhkan dilakukan dengan tiga cara perhitungan dalam menentukan perhitungan sistem ganda. Cara yang pertama (metode 1-A) adalah gaya geser akibat beban gempa yang masuk ke dalam portal pada setiap lantai ditinjau, kemudian untuk besar nilai gaya geser pada tiap lantai yang kurang dari minimal 25% dicari nilai faktor skala masing-masing lantai agar mencapai gaya geser tingkat minimal 25%. Kemudian, nilai faktor skala tiap lantai yang telah didapatkan (faktor skala > 1) dikalikan dengan 25% dari gaya geser struktur sehingga didapatkan gaya geser tingkat portal yang baru (V_{Fr}^*). V_{Fr}^* ini kemudian di kalikan dengan 4 agar didapatkan gaya geser tingkat struktur yang baru (V_{Str}^*). Dari gaya geser tingkat struktur yang baru ini, (V_{Str}^*), kemudian didistribusikan menjadi beban lateral pada setiap tingkat, lalu model dijalankan kembali menggunakan program *ETABS* dengan analisa statik ekuivalen.

Kemudian cara yang kedua (metode 1-B) adalah untuk gaya geser dasar akibat beban gempa yang masuk ke dalam portal ditingkatkan dengan mengalikan faktor skala agar mendapatkan gaya geser dasar minimal 25% dari gaya geser dasar struktur. Nilai faktor skala yang didapatkan dari gaya geser dasar ini dijadikan sebagai faktor skala pembesaran beban gempa pada kurva respon spektrum gempa. Setelah beban gempa dari kurva respon spektrum ditingkatkan sesuai dengan faktor skala pembesaran, model struktur dijalankan kembali menggunakan program *ETABS* dengan analisa dinamik.

Untuk cara yang ketiga (metode 1-C), dari model struktur hasil analisa dinamik yang dilakukan pada metode 1-B, hasil gaya geser tingkat struktur yang telah di dapatkan didistribusikan menjadi beban lateral, lalu dikenakan ke setiap tingkat pada model struktur. Setelah itu model struktur dijalankan kembali menggunakan program *ETABS* dengan menggunakan analisa statik ekuivalen.

3.4.2 Metode Perhitungan Model Struktur Portal dengan *Boundary Element*

Untuk metode yang kedua (metode 2), dalam menentukan kebutuhan tulangan, model struktur dimodelkan sebagai struktur portal dengan *boundary element*. Struktur portal dengan *boundary element* ini ditinjau berdasarkan SNI 03-1726-2002 yang menyatakan dalam penentuan desain sistem ganda sistem rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral. Dari model struktur yang pertama, yaitu model struktur portal - dinding geser, dinding geser di desain dengan memperhitungkan *boundary element* pada bagian ujung-ujung dinding. Ukuran *boundary element* dinding geser pada model 1 dijadikan kolom pada model 2. Dalam metode ini digunakan 2 model struktur yang sedikit berbeda, yaitu model yang pertama pada metode 2 ini menggunakan kolom *boundary element* dengan adanya balok pengikat (metode 2-A) dan model yang kedua adalah hanya kolom *boundary element* saja dengan pelat yang bekerja sebagai pengikat (metode 2-B). Setelah itu model struktur dikenakan beban gempa minimal 25% dari gaya geser struktur. Untuk beban gempa minimal 25% dari gaya geser struktur ini diambil dari gaya geser V_{Fr}^* lalu didistribusikan ke setiap lantai. Kemudian model struktur dijalankan dengan program *ETABS* dengan menggunakan analisa statik ekuivalen.

3.4.3 Metode Perhitungan Model Struktur Portal dengan Dinding Geser di Non - Aktifkan

Untuk metode yang ketiga (metode 3), dalam perhitungan kebutuhan tulangan yang dibutuhkan, struktur portal - dinding geser ini dimodelkan dengan mengecilkan faktor reduksi kekuatan dinding geser. Faktor reduksi dinding geser ini diatur dengan mengecilkan faktor reduksi *membrane f12*, *bending m22*, dan *bending m12* bernilai 0 dalam *set modifiers* pada elemen *shell*. Kemudian beban gempa minimal 25% dari gaya geser struktur dikenakan di setiap tingkat pada model struktur dengan beban gempa seperti beban gempa yang dikenakan pada metode 2 (diambil dari gaya geser V_{Fr}^*). Setelah itu model struktur dijalankan dengan program *ETABS* dengan menggunakan analisa statik ekuivalen.

3.5 Kombinasi Pembebanan

Untuk perancangan struktur dari pemodelan yang telah ditetapkan, kombinasi pembebanan yang akan digunakan untuk perhitungan kebutuhan tulangan ditunjukkan pada Tabel 3.4. Kombinasi pembebanan memperhitungkan pembebanan akibat beban gravitasi dan beban gempa untuk model 3 dimensi.

Tabel 3.4 Kombinasi Pembebanan Untuk Perancangan Struktur

Pembebanan	Kombinasi
Beban Gravitasi	1. $U = 1,4 DL$
	2. $U = 1,2 DL + 1,6 LL$
Beban Gempa	1. $U = 1,2 DL + LL \pm Ex \pm 0,3 Ey$
100% Ex + 30% Ey	2. $U = 0,9 DL \pm Ex \pm 0,3 Ey$
Beban Gempa	1. $U = 1,2 DL + LL \pm 0,3 Ex \pm Ey$
30% Ex + 100% Ey	2. $U = 0,9 DL \pm 0,3 Ex \pm Ey$

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Dinamika Struktur

Model struktur dianalisis dengan analisis getaran bebas (*free vibration*) untuk memperoleh karakteristik dinamika struktur. Karakteristik yang ditinjau meliputi periode getar alami fundamental, pola getar struktur, dan partisipasi massa efektif atau *modal massa effective* (MME). Analisis model struktur dilakukan dengan program *ETABS* versi 9 dan disajikan pada Tabel 4.1 di bawah ini :

Tabel 4.1 Karakteristik Dinamik Model Struktur

	Periode (detik)	MME (%)	Keterangan
T ₁	1,013	75,01	Translasi Arah X
T ₂	0,736	72,58	Translasi Arah Y
T ₃	0,524	71,97	Rotasi Arah Z

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Model struktur yang digunakan memiliki pola ragam getar struktur yang baik, yaitu pola ragam getar fundamental (*fundamental modes*) pertama yaitu bergetar translasi pada arah sumbu X. Kemudian untuk pola ragam getar kedua dan ketiga secara berturut-turut yaitu bergetar bertranslasi pada arah sumbu Y dan berotasi pada arah sumbu Z.

Model struktur dilakukan dengan analisis dinamik dengan kontribusi pola ragam getar struktur (*mode shapes*) sebanyak 12 pola ragam getar. Kontribusi pola ragam getar ini dibutuhkan untuk mendapatkan partisipasi massa minimal sebesar 90% dari total massa struktur sesuai dengan peraturan gempa Indonesia, SNI 03-1726-2002. Dari pemodelan yang dilakukan partisipasi massa minimal 90% telah dicapai pada saat kontribusi pola ragam getar ke 7. Tabel untuk partisipasi massa efektif dari pola ragam getar pertama hingga pola ragam getar ke-12 disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Partisipasi Massa Efektif

Pola Ragam Getar	MME (%)		
	Arah X	Arah Y	Arah Z
1	75,01	0,00	0,00
2	75,01	72,58	0,00
3	75,01	72,58	71,97
4	89,57	72,58	71,97
5	89,57	91,37	71,97
6	95,26	91,37	71,97
7	95,26	91,37	91,65
8	95,26	96,51	91,65
9	97,89	96,51	91,65
10	97,89	96,51	96,86
11	97,89	98,45	96,86
12	97,89	98,45	96,86

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

4.2 Kinerja Struktur Terhadap Beban Gempa

Model struktur yang digunakan dilakukan peninjauan terhadap kinerja struktur batas layan dan kinerja struktur batas ultimit akibat beban gempa. Kinerja struktur yang ditinjau adalah simpangan antar tingkat dari model struktur kemudian dibandingkan dengan simpangan izin yang disyaratkan oleh peraturan gempa Indonesia, SNI 03-1726-2002. Simpangan antar tingkat yang terjadi pada model struktur dan batas izin simpangan antar tingkat untuk arah X dan arah Y disajikan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 berikut ini :

Tabel 4.3 Simpangan Lateral Struktur Akibat Beban Gempa Arah X

Lantai	Tinggi (m)	Simpangan Antar Tingkat (mm)		Simpangan Izin (mm)	
		Layan	Ultimit	Layan	Ultimit
Lantai 8	29,2	4,55	20,70	16,62	72
Lantai 7	25,6	5,29	24,06	16,62	72
Lantai 6	22	5,98	27,22	16,62	72
Lantai 5	18,4	6,51	29,60	16,62	72
Lantai 4	14,8	6,67	30,37	16,62	72
Lantai 3	11,2	6,31	28,73	16,62	72
Lantai 2	7,6	5,19	23,62	16,62	72
Lantai 1	4	2,73	12,42	18,46	80

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Tabel 4.4 Simpangan Lateral Struktur Akibat Beban Gempa Arah Y

Lantai	Tinggi (m)	Simpangan Antar Tingkat (mm)		Simpangan Izin (mm)	
		Layan	Ultimit	Layan	Ultimit
Lantai 8	29,2	3,72	16,90	16,62	72
Lantai 7	25,6	3,99	18,15	16,62	72
Lantai 6	22	4,12	18,76	16,62	72
Lantai 5	18,4	4,13	18,77	16,62	72
Lantai 4	14,8	3,93	17,89	16,62	72
Lantai 3	11,2	3,50	15,90	16,62	72
Lantai 2	7,6	2,82	12,81	16,62	72
Lantai 1	4	1,62	7,39	18,46	80

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Dari tabel diatas dapat dikatakan model struktur mempunyai kinerja struktur yang baik untuk kondisi kinerja layan maupun ultimit dalam arah X dan arah Y. Pada beban gempa arah X, simpangan lateral struktur untuk kinerja batas layan berkisar antara 2,73 mm - 6,67 mm dengan batas simpangan izin sebesar 18,46 mm di lantai dasar dan 16,62 mm untuk lantai tipikal . Untuk kinerja batas ultimit, simpangan lateral struktur yang terjadi berkisar antara 12,42 mm - 30,37 mm dengan batas simpangan izin sebesar 80 mm di lantai dasar dan 72 mm untuk lantai tipikal.

Pada beban gempa arah Y, simpangan lateral struktur untuk kinerja batas layan berkisar antara 1,62 mm - 4,13 mm dengan batas simpangan izin sebesar 18,46 mm di lantai dasar dan 16,62 mm untuk lantai tipikal . Untuk kinerja batas ultimit, simpangan lateral struktur yang terjadi berkisar antara 7,39 mm - 18,77 mm dengan batas simpangan izin sebesar 80 mm di lantai dasar dan 72 mm untuk lantai tipikal.

4.3 Pengecekan Gaya Geser Dasar Terhadap Beban Gempa

Beban gempa dihitung dengan menggunakan kurva respon spektrum SNI 03-1726-2002 wilayah 3 untuk tanah lunak. Periode getar fundamental dari model struktur untuk arah X sebesar $T_x = 1,013$ detik yang berada pada interval setelah periode dominan sehingga nilai C pada arah sumbu X bernilai $0,75/T_x$ yaitu sebesar $C_x = 0,74$. Untuk periode getar fundamental pada arah Y sebesar $T_y =$

0,736 detik yang berada pada interval periode dominan sehingga nilai C pada arah sumbu Y bernilai $C_y = 0,75$.

Dengan asumsi bangunan difungsikan sebagai gedung perkantoran, nilai faktor keutamaan I yang digunakan yaitu $I = 1$. Nilai faktor reduksi gempa R untuk struktur dinding geser beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang yang di desain sebagai sistem ganda penahan beban lateral sebesar $R = 6,5$.

Analisis respon struktur terhadap beban gempa dilakukan dengan analisis dinamik respon spektrum. Hasil dari analisis dinamik dibandingkan dengan hasil analisis secara statik ekuivalen dengan persyaratan bahwa nilainya tidak boleh lebih kecil dari 80%. Dari nilai C yang didapat untuk masing-masing arah, kemudian dilakukan perhitungan gaya geser dasar untuk analisis statik ekuivalen. Hasil gaya geser dasar untuk analisis statik ekuivalen pada arah X dan arah Y secara berturut-turut adalah sebesar 5897,1 KN dan 5976,16 KN.

Tabel 4.5 Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik Respon Spektrum

Arah	Gaya Geser Dasar (KN)	
	Vb Statik	Vb Dinamik
Arah sumbu X	5897,1	4884,67
Arah sumbu Y	5976,16	4969,5

Keterangan :
Gaya geser dasar yang diperoleh dari hasil analisis dinamik respon spektrum tidak boleh lebih kecil dari 80% gaya geser statik

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

4.4 Variasi Metode Perhitungan Penentuan Sistem Ganda

Dalam penelitian ini dilakukan 3 variasi model perhitungan sistem ganda untuk perhitungan kebutuhan tulangan yang dibutuhkan. Untuk variasi model pertama yaitu struktur dimodelkan dengan portal yang berinteraksi dengan dinding geser. Untuk variasi model kedua adalah model struktur dimodelkan sebagai portal dengan *boundary element*, dan variasi model perhitungan ketiga adalah model struktur dimodelkan sebagai portal dengan dinding geser di non-aktifkan.

4.4.1 Model Struktur Portal dan Dinding Geser Berinteraksi

Berikut ini disajikan hasil dari nilai-nilai gaya geser tingkat pada arah sumbu X dan arah sumbu Y akibat beban gempa dengan kurva respon spektrum dan besar gaya geser yang masuk ke dalam portal maupun gaya geser yang masuk ke dalam dinding geser.

Tabel 4.6 Gaya Geser Tingkat Arah X

Lantai	Gaya Geser Tingkat (KN)				%	FS	FS*	Gaya Geser Tingkat (KN)	
	V _{Str}	V _{SW}	V _{Fr}	25% V _{Str}				V _{Fr*}	V _{Str*}
Lantai 8	1066,27	645,52	420,75	266,568	39%	0,63	1	420,75	1066,27
Lantai 7	2076,25	646,13	1430,12	519,063	69%	0,36	1	1430,12	2076,25
Lantai 6	2903,76	1133,4	1770,36	725,94	61%	0,41	1	1770,36	2903,76
Lantai 5	3580,43	1622,78	1957,65	895,108	55%	0,46	1	1957,65	3580,43
Lantai 4	4118,41	2077,99	2040,42	1029,603	50%	0,50	1	2040,42	4118,41
Lantai 3	4517,95	2559,78	1958,17	1129,488	43%	0,58	1	1958,17	4517,95
Lantai 2	4773,29	3100,19	1673,1	1193,323	35%	0,71	1	1673,10	4773,29
Lantai 1	4884,67	3906,15	978,52	1221,168	20%	1,25	1,25	1523,99	6095,94

Keterangan :

1. V_{Str}, V_{SW}, dan V_{Fr} secara berturut-turut adalah gaya geser struktur, gaya geser *shear wall*, & gaya geser portal
2. 25% V_{Str} adalah nilai gaya geser tingkat 25% dari gaya geser struktur
3. % V_{Fr} adalah besarnya persentase gaya geser akibat beban gempa yang masuk ke dalam portal
4. FS (Faktor Skala) adalah perbandingan antara 25% V_{Str} dibagi dengan V_{Fr} dan FS* adalah FS yang digunakan
5. V_{Fr*} adalah gaya geser portal terkoreksi, untuk gaya geser portal yang nilainya < 25% V_{Str}, V_{Fr*} = 25% V_{Str} x FS untuk gaya geser portal yang nilainya > 25% V_{Str}, V_{Fr*} = V_{Fr}
6. V_{Str*} adalah gaya geser struktur terkoreksi, untuk gaya geser portal yang nilainya < 25 % V_{Str}, V_{Str*} = 4 x V_{Fr*} untuk gaya geser portal yang nilainya > 25% V_{Str}, V_{Str*} = V_{Str}

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Tabel 4.7 Gaya Geser Tingkat Arah Y

Lantai	Gaya Geser Tingkat (KN)				% VFr	FS	FS*	Gaya Geser Tingkat (KN)	
	VStr	VSW	VFr	25% VStr				VFr*	VStr*
Lantai 8	1130,69	339,52	791,17	282,673	70%	0,36	1	791,170	1130,690
Lantai 7	2191,6	1268,61	922,99	547,9	42%	0,59	1	922,990	2191,600
Lantai 6	3023,37	2022,99	1000,38	755,843	33%	0,76	1	1000,380	3023,370
Lantai 5	3677,51	2654,46	1023,05	919,378	28%	0,90	1	1023,050	3677,510
Lantai 4	4191,76	3204,06	987,7	1047,94	24%	1,06	1,06	1111,854	4447,416
Lantai 3	4581,75	3688,89	892,86	1145,438	19%	1,28	1,28	1469,466	5877,862
Lantai 2	4844,11	4168,46	675,65	1211,028	14%	1,79	1,79	2170,632	8682,529
Lantai 1	4969,5	4128,26	841,24	1242,37	17%	1,48	1,48	1834,786	7339,145

Keterangan :

1. V_{Str} , V_{SW} , dan V_{Fr} secara berturut-turut adalah gaya geser struktur, gaya geser *shear wall*, & gaya geser portal
2. 25% V_{Str} adalah nilai gaya geser tingkat 25% dari gaya geser struktur
3. % V_{Fr} adalah besarnya persentase gaya geser akibat beban gempa yang masuk ke dalam portal
4. FS (Faktor Skala) adalah perbandingan antara 25% V_{Str} dibagi dengan V_{Fr} dan FS* adalah FS yang digunakan
5. V_{Fr*} adalah gaya geser portal terkoreksi, untuk gaya geser portal yang nilainya $< 25\% V_{Str}$, $V_{Fr*} = 25\% V_{Str} \times FS$ untuk gaya geser portal yang nilainya $> 25\% V_{Str}$, $V_{Fr*} = V_{Fr}$
6. V_{Str*} adalah gaya geser struktur terkoreksi, untuk gaya geser portal yang nilainya $< 25\% V_{Str}$, $V_{Str*} = 4 \times V_{Fr*}$ untuk gaya geser portal yang nilainya $> 25\% V_{Str}$, $V_{Str*} = V_{Str}$

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

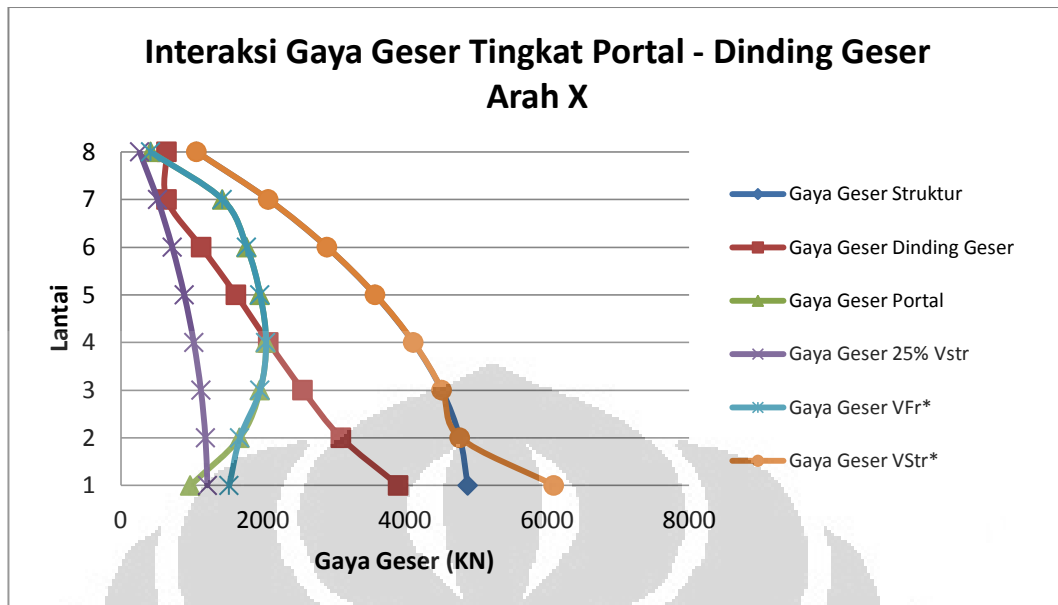
Dari hasil analisis pada tabel diatas, untuk gaya geser tingkat pada arah sumbu X menunjukkan gaya geser yang masuk ke dalam portal pada lantai 1 tidak mencapai 25% dari gaya geser struktur. Untuk mendapatkan nilai gaya geser portal minimal 25% dari gaya geser struktur pada lantai 1, perlu dikalikan dengan faktor skala sebesar 1,25 (Tabel 4.6). Dari Tabel 4.6, pada lantai 2 hingga lantai 8 menunjukkan bahwa gaya geser tingkat yang masuk ke dalam portal sudah melebihi dari nilai minimum 25% dari gaya geser struktur yang diperlukan, yaitu berkisar antara 35% - 69%.

Untuk perhitungan metode 1-A pada arah sumbu X, hanya portal pada lantai 1 saja yang dikalikan dengan faktor skala, yaitu 1,25 dan untuk lantai 2 hingga lantai 8, gaya geser tingkat pada portal dikalikan dengan faktor skala sebesar 1. Pada portal lantai 1, nilai 25% dari gaya geser struktur dikalikan dengan faktor skala 1,25 sehingga didapatkan nilai gaya geser portal yang baru sebesar $V_{Fr1*} = 1221,168 \times 1,25 = 1523,99$ KN. Kemudian untuk mendapatkan gaya geser struktur yang baru, gaya geser portal yang telah dikalikan dengan faktor skala dikalikan dengan 4 karena asumsi minimal gaya geser yang diterima

portal adalah 25% dari gaya geser struktur. Sehingga nilai gaya geser struktur yang baru pada lantai 1 (V_{Str1}^*) sebesar $4 \times V_{Fr1}^* = 4 \times 1523,99 = 6095,94$ KN. Untuk gaya geser struktur yang tidak dikalikan dengan faktor skala, dalam kasus ini adalah gaya geser struktur dari lantai 2 hingga lantai 8, gaya geser struktur yang baru (V_{Str}^*) yang diambil sama dengan nilai gaya geser struktur sebelumnya (V_{Str}) yaitu yang tanpa ada faktor skala pembesaran.

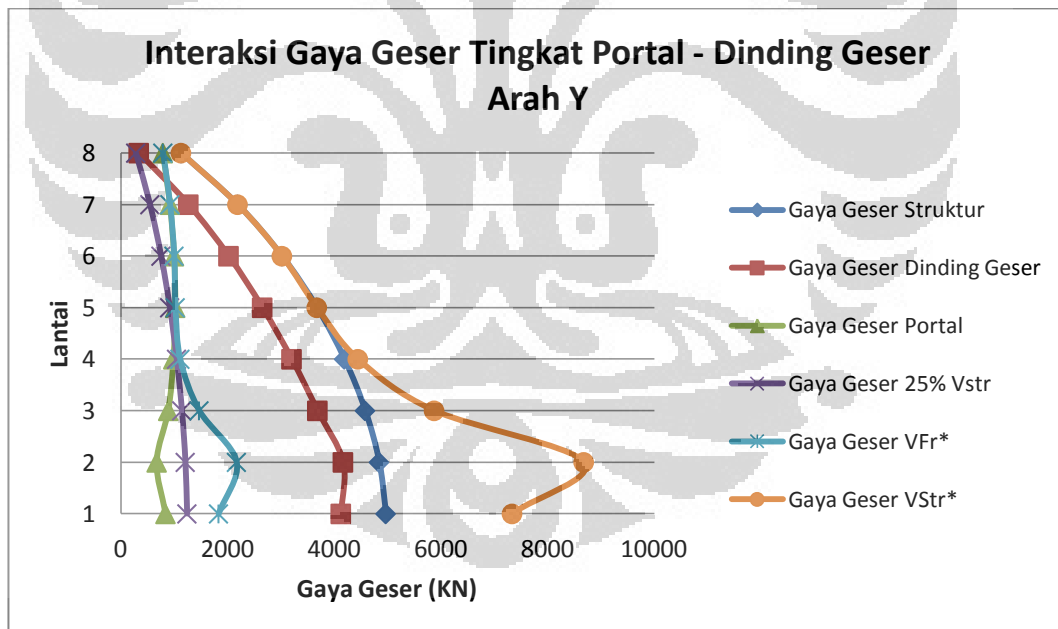
Pada arah sumbu Y, gaya geser yang masuk ke dalam portal tidak mencapai minimum 25% dari gaya geser struktur terjadi pada lantai 1 hingga lantai 4. Pada lantai 1, 2, 3, dan 4 persentase gaya geser akibat beban gempa yang masuk ke dalam portal secara berturut-turut adalah 17%, 14%, 19%, dan 24%. Lantai 1, 2, 3, dan 4 perlu dikalikan dengan faktor skala secara berturut-turut sebesar 1,48 ; 1,79 ; 1,28 ; dan 1,06 (Tabel 4.7). Dari Tabel 4.7, dapat dilihat pada lantai 5 hingga lantai 8 gaya geser akibat beban gempa yang masuk ke dalam portal sudah melebihi dari nilai minimum 25% dari gaya geser struktur yang diperlukan, yaitu berkisar antara 28% - 70%.

Untuk perhitungan metode 1-A pada arah sumbu Y, portal lantai 1 hingga lantai 4 dikalikan dengan faktor skala masing-masing dan untuk lantai 5 hingga lantai 8 gaya geser portal dikalikan dengan faktor skala sebesar 1. Pada portal lantai 1 hingga lantai 4, nilai 25% dari gaya geser struktur dikalikan dengan faktor masing-masing tingkat sehingga didapatkan gaya geser portal yang baru untuk lantai 1,2,3, dan 4 (V_{Fr1}^* , V_{Fr2}^* , V_{Fr3}^* , V_{Fr4}^*) secara berturut-turut sebesar 1834,786 KN ; 2170,632 KN ; 1469,466 KN ; dan 1111,854 KN. Kemudian untuk mendapatkan gaya geser struktur yang baru, gaya geser portal yang telah dikalikan dengan faktor skala dikalikan dengan 4 karena asumsi minimal gaya geser yang diterima portal adalah 25% dari gaya geser struktur. Sehingga nilai gaya geser struktur yang baru pada lantai 1,2,3, dan 4 (V_{Str1}^* , V_{Str2}^* , V_{Str3}^* , V_{Str4}^*) secara berturut-turut bernilai sebesar 7339,145 KN ; 8682,529 KN ; 2877,862 KN ; dan 4447,416 KN. Untuk gaya geser struktur yang tidak dikalikan dengan faktor skala, dalam kasus ini adalah gaya geser struktur dari lantai 5 hingga lantai 8, gaya geser struktur yang baru (V_{Str}^*) yang diambil sama dengan nilai gaya geser struktur sebelumnya (V_{Str}) yaitu yang tanpa ada faktor skala pembesaran.



Gambar 4.1 Interaksi Gaya Geser Tingkat Portal - Dinding Geser Arah X

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012



Gambar 4.2 Interaksi Gaya Geser Tingkat Portal - Dinding Geser Arah Y

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Kemudian dari gaya geser struktur yang baru, V_{str}^* , gaya geser struktur ini didistribusikan menjadi beban lateral pada setiap tingkat, lalu dilakukan

dengan analisis statik ekuivalen. Distribusi gaya lateral dari metode metode 1-A ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.8 Gaya Geser Struktur (V_{Str}^*) dan Distribusi Beban Lateral (Metode 1-A)

Lantai	V_{Str}^* (KN)		Beban Lateral (KN)	
	V_x	V_y	F_{x_A}	F_{y_A}
Lantai 8	1066,27	1130,69	1066,27	1130,69
Lantai 7	2076,25	2191,60	1009,98	1060,91
Lantai 6	2903,76	3023,37	827,51	831,77
Lantai 5	3580,43	3677,51	676,67	654,14
Lantai 4	4118,41	4447,42	537,98	769,91
Lantai 3	4517,95	5877,86	399,54	1430,45
Lantai 2	4773,29	8682,53	255,34	2804,67
Lantai 1	6095,94	7339,15	1322,65	-1343,38

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Untuk perhitungan pada metode 1-B baik dalam arah sumbu X maupun sumbu Y, nilai dari faktor skala yang telah didapatkan untuk arah sumbu X dan sumbu Y digunakan sebagai pembesaran beban gempa pada kurva respon spektrum gempa, yaitu dengan faktor skala pembesaran untuk arah X dan arah Y secara berturut-turut sebesar 1,25 dan 1,48.

Untuk perhitungan pada metode 1-C, beban lateral yang diberikan pada struktur disajikan pada Tabel 4.9 :

Tabel 4.9 Gaya Geser Struktur Hasil Analisis Metode 1-B (V_{StrB}) dan Distribusi Beban Lateral untuk Metode 1-C

Lantai	V_{StrB} (KN)		Beban Lateral (KN)	
	V_x	V_y	F_{x_C}	F_{y_C}
Lantai 8	1330,68	1669,85	1330,68	1669,85
Lantai 7	2591,10	3236,64	1260,42	1566,79
Lantai 6	3623,81	4465,03	1032,71	1228,39
Lantai 5	4468,29	5431,09	844,48	966,06
Lantai 4	5139,67	6190,55	671,38	759,46
Lantai 3	5638,29	6766,50	498,62	575,95
Lantai 2	5956,95	7153,96	318,66	387,46
Lantai 1	6095,94	7339,14	138,99	185,18

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Pada tabel di bawah ini disajikan besarnya gaya geser tingkat portal untuk masing-masing arah dari metode metode 1-A, metode metode 1-B, dan metode 1-C.

Tabel 4.10 Gaya Geser Tingkat Portal Arah X Metode 1-A, Metode 1-B, dan Metode 1-C

Lantai	Gaya Geser Tingkat Arah X (KN)			
	Metode 1-A	Metode 1-B	Metode 1-C	25%
	V_{FrA}	V_{FrB}	V_{FrC}	V_{Str}
Lantai 8	478,82	525,09	606,21	266,57
Lantai 7	1521,35	1784,74	1890,75	519,06
Lantai 6	1820,97	2209,35	2261,65	725,94
Lantai 5	1997,46	2443,11	2477,19	895,11
Lantai 4	2081,80	2546,40	2575,84	1029,60
Lantai 3	2012,01	2443,75	2471,95	1129,49
Lantai 2	1711,58	2087,99	2111,67	1193,32
Lantai 1	1175,20	1221,17	1228,75	1221,17

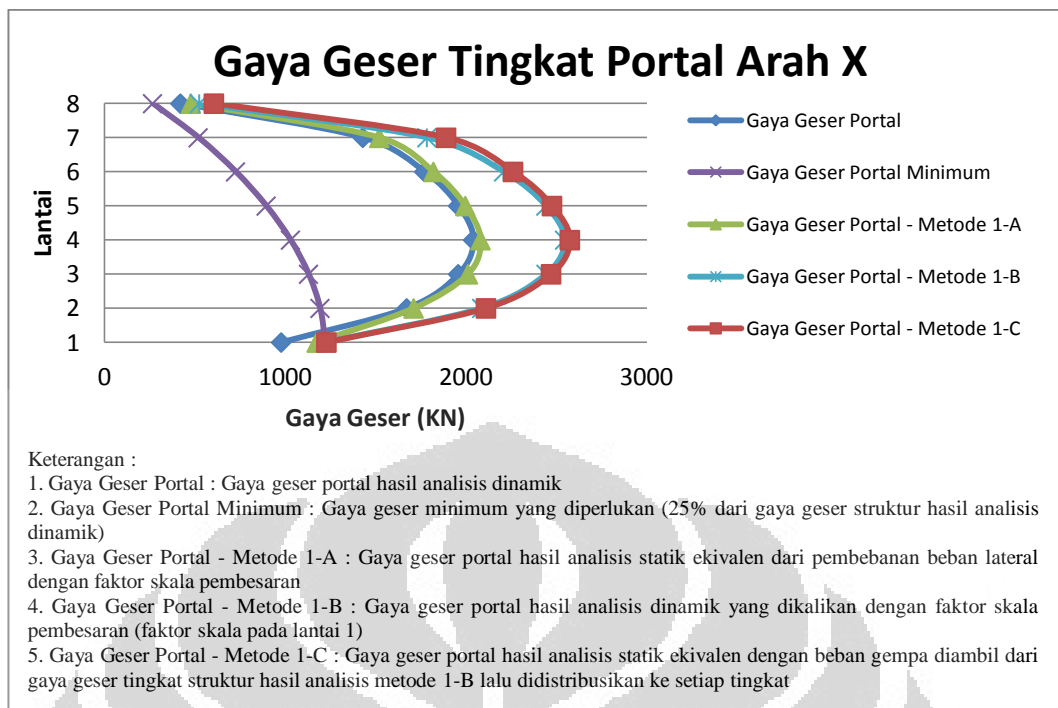
Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Tabel 4.11 Gaya Geser Tingkat Portal Arah Y Metode 1-A, Metode 1-B, dan Metode 1-C

Lantai	Gaya Geser Tingkat Arah Y (KN)			
	Metode 1-A	Metode 1-B	Metode 1-C	25%
	V_{FrA}	V_{FrB}	V_{FrC}	V_{Str}
Lantai 8	992,55	1168,43	1656,66	282,67
Lantai 7	1064,14	1363,11	1431,04	547,90
Lantai 6	1131,85	1477,40	1510,54	755,84
Lantai 5	1145,42	1510,89	1530,25	919,38
Lantai 4	1117,10	1458,68	1477,31	1047,94
Lantai 3	960,65	1318,62	1340,31	1145,44
Lantai 2	1373,31	997,82	1017,09	1211,03
Lantai 1	1030,35	1242,37	1252,33	1242,37

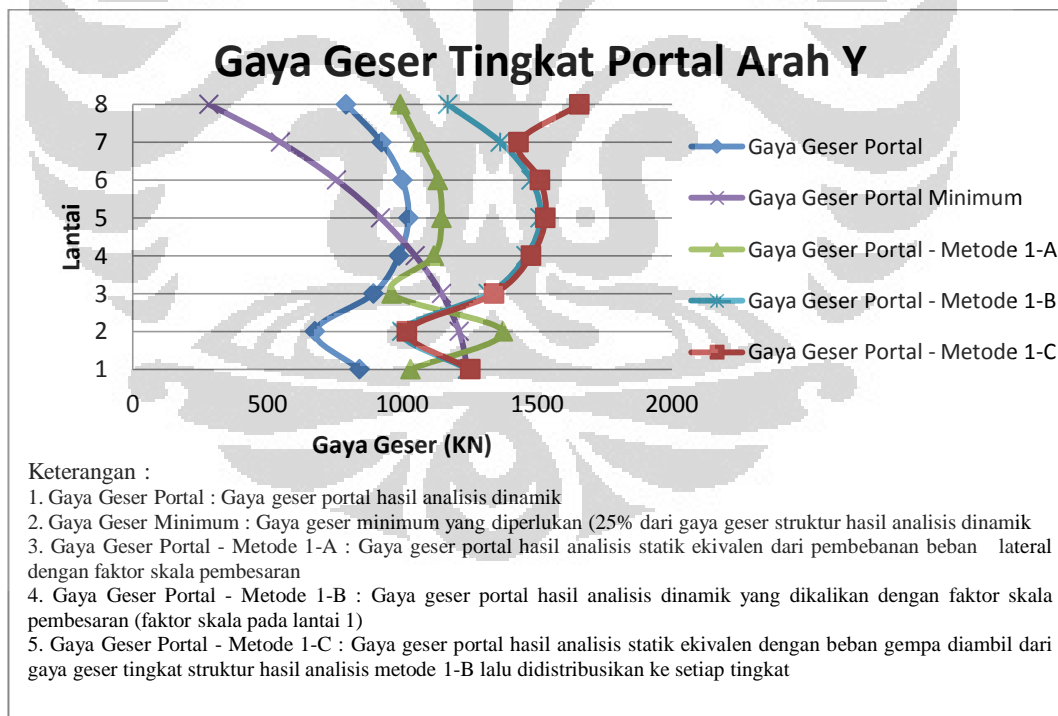
Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Perilaku struktur antara portal dan dinding geser yang saling berinteraksi dan besarnya gaya geser portal akibat beban gempa juga nilai minimum 25% gaya geser struktur untuk kontrol sistem ganda baik untuk metode 1-A, metode 1-C, dan metode 1-B dalam arah X maupun arah Y dapat dilihat pada kurva berikut.



Gambar 4.3 Kurva Gaya Geser Tingkat Portal Arah X

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012



Gambar 4.4 Kurva Gaya Geser Tingkat Portal Arah Y

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Untuk gaya geser tingkat portal pada arah X, dapat dilihat pada metode 1-A, walaupun telah dilakukan pembesaran dengan faktor skala terhadap gaya geser struktur dan diberikan gaya lateral yang baru, gaya geser tingkat yang diterima oleh portal pada lantai 1 masih belum mencapai nilai syarat minimum yang diinginkan, yaitu sebesar 1175,2 KN dan nilai syarat minimum 25% dari gaya geser struktur adalah sebesar 1221,17 KN.

Pada metode 1-B dan metode 1-C, gaya geser tingkat yang diterima portal telah mencapai syarat yang ditentukan dari 25% dari gaya geser struktur. Hal ini dikarenakan faktor pembesaran skala yang diberikan ke seluruh tingkat, yang mana pada metode 1-A hanya beberapa tingkat saja yang dikalikan dengan faktor skala.

Untuk gaya geser tingkat portal pada arah Y, pada metode 1-A, sama halnya pada arah X, walaupun telah dilakukan pembesaran dengan faktor skala terhadap gaya geser struktur dan diberikan gaya lateral yang baru, gaya geser tingkat pada lantai 1 dan lantai 3 belum mencapai nilai syarat minimum yang diinginkan, yaitu sebesar 1030,35 KN pada lantai 1 dengan syarat minimum yang diperlukan adalah 1242,37 KN dan sebesar 960,65 KN pada lantai 3 dengan syarat minimum yang diperlukan adalah sebesar 1145,44 KN.

Pada metode 1-B dan metode 1-C, gaya geser tingkat yang diperbesar pada seluruh tingkat oleh suatu faktor skala (faktor skala pada lantai 1), menghasilkan gaya geser tingkat portal yang baru. Pada metode ini, gaya geser tingkat portal yang diinginkan belum sepenuhnya tercapai seperti pada metode 1-B dan metode 1-C pada arah X. Dalam metode 1-B dan metode 1-C arah sumbu Y ini, gaya geser tingkat portal pada lantai 2 belum mencapai nilai gaya geser minimum yang disyaratkan. Nilai gaya geser pada lantai 2 dengan metode 1-B dan metode 1-C menghasilkan gaya geser secara berturut-turut sebesar 997,82 KN dan 1017,09 KN dengan gaya geser minimum yang disyaratkan sebesar 1211,03 KN. Hal ini dapat terjadi karena faktor skala pembesaran yang dibutuhkan pada lantai 2 lebih besar dibandingkan dengan faktor skala pembesaran pada lantai 1, yaitu nilai faktor skala pada lantai 1 dan lantai 2 secara berturut-turut sebesar 1,48 dan 1,79.

4.4.2 Model Struktur Portal dengan *Boundary Element*

Untuk pembebanan beban gempa pada model kedua ini, struktur portal dengan *boundary element* ini, baik untuk perhitungan dengan metode 2-A dan metode 2-B, dikenakan beban gempa minimal sebesar 25% dari beban gempa. Dari model pertama yang telah dilakukan, didapatkan gaya geser tingkat portal (V_{Fr}^*) seperti pada Tabel 4.6 untuk arah X dan Tabel 4.7 untuk Arah Y. Kemudian gaya geser tingkat portal (V_{Fr}^*) ini dijadikan beban lateral yang akan dikenakan pada struktur. Berikut ini adalah gaya lateral yang dikenakan pada struktur untuk arah X dan arah Y :

Tabel 4.12 Distribusi Gaya Lateral Model 2 (Portal dengan *Boundary Element*)

Lantai	Beban Lateral (KN)	
	Arah X	Arah Y
Lantai 8	420,75	791,17
Lantai 7	1009,37	131,82
Lantai 6	340,24	77,39
Lantai 5	187,29	22,67
Lantai 4	82,77	88,804
Lantai 3	-82,25	357,612
Lantai 2	-285,07	701,167
Lantai 1	-149,115	-335,846

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

4.4.3 Model Struktur Portal dengan Dinding Geser di Non-Aktifkan

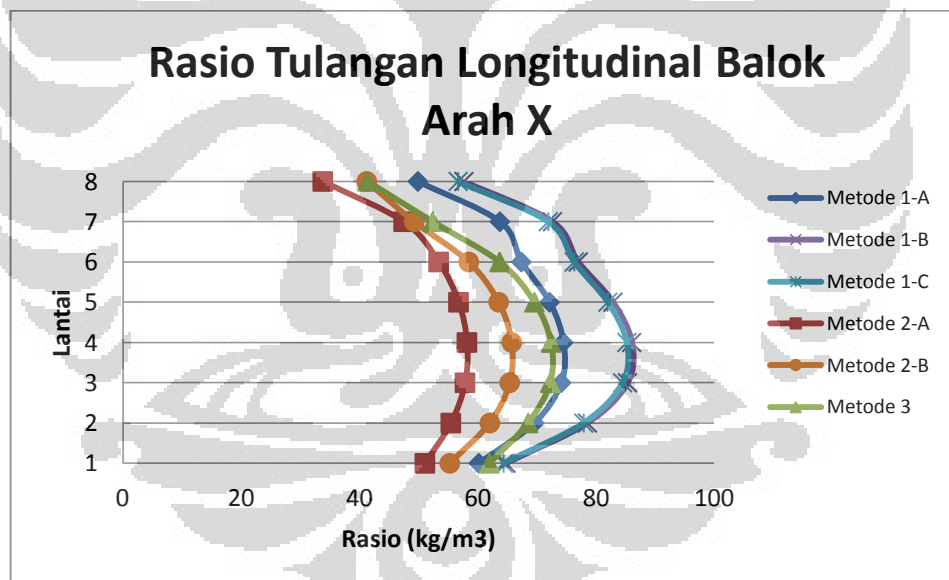
Pada model ketiga, struktur portal dimodelkan dengan dinding geser di non-aktifkan. Dalam pemodelan ini, *set modifiers*, *membrane f12*, *bending m22*, dan *bending m12* dari dinding geser dicekikan dengan tujuan dinding geser tidak menerima gaya geser. Pemodelan ini dilakukan dengan asumsi ketika dinding geser tidak menerima geser, struktur ini berperilaku sebagai sebuah portal dengan dinding geser diasumsikan retak. Sehingga gaya gempa minimal 25% dari gaya geser struktur yang dikenakan pada struktur di setiap tingkat masuk seluruhnya ke dalam portal. Gaya geser yang diterima oleh dinding geser akibat pembebanan minimum 25% dari gaya gempa total terdapat pada lampiran 2. Untuk besarnya pembebanan beban gempa pada model ini, sama seperti pada model 2 dan dapat dilihat seperti pada Tabel 4.12.

4.5 Kebutuhan Tulangan Balok

Kebutuhan tulangan balok yang di tampilkan dalam penelitian ini meliputi tulangan longitudinal dan transversal. Rasio yang dihasilkan oleh program *ETABS* akibat kombinasi pembebanan digunakan dalam menentukan kebutuhan tulangan untuk masing-masing elemen. Tabel perhitungan kebutuhan tulangan balok terdapat pada lampiran 3.

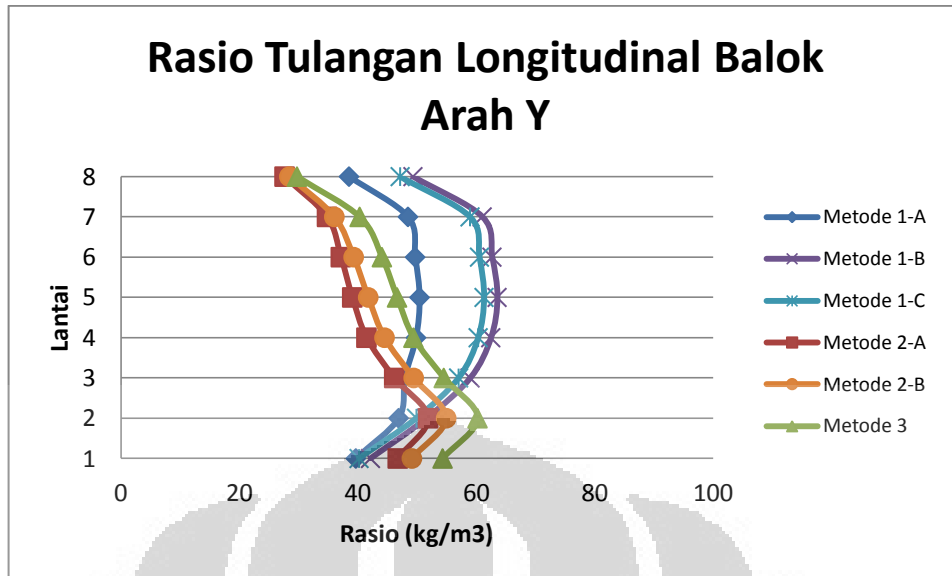
4.5.1 Kebutuhan Tulangan Longitudinal Balok

Untuk tulangan longitudinal balok, dalam penelitian ini ditinjau kebutuhan tulangan balok untuk arah X (memanjang) dan arah Y (melintang). Berikut ini adalah kurva kebutuhan tulangan longitudinal balok untuk arah X dan arah Y :



Gambar 4.5 Rasio Tulangan Balok Arah X

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012



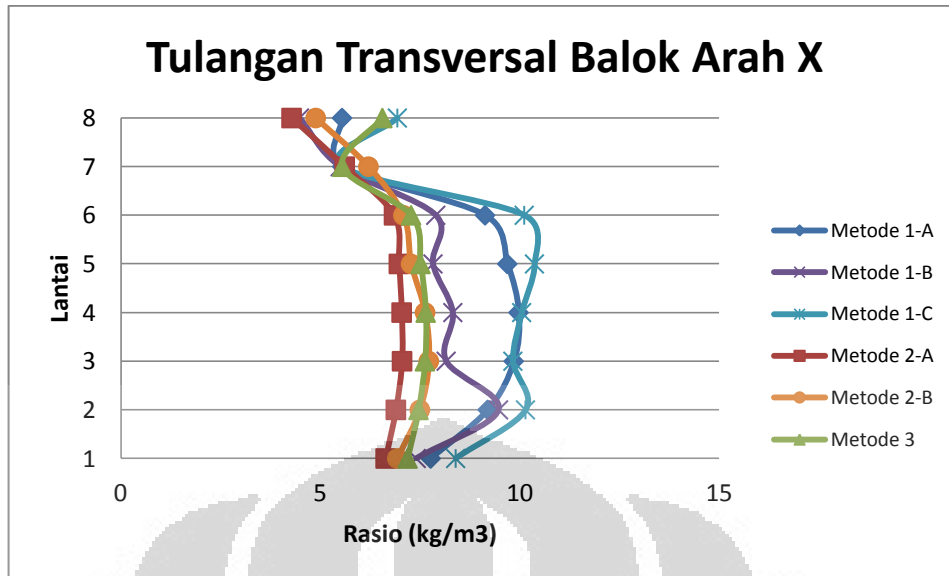
Gambar 4.6 Rasio Tulangan Longitudinal Balok Arah Y

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Dari Gambar 4.5 dan Gambar 4.6, rasio tulangan longitudinal yang dibutuhkan untuk masing-masing perhitungan metode yang dilakukan menunjukkan bahwa metode 1-B membutuhkan rasio tulangan longitudinal yang lebih besar dibandingkan dengan ke empat metode lainnya, yaitu sebesar 86,08 kg/m^3 pada lantai 4 untuk arah X dan untuk arah Y sebesar 63,55 kg/m^3 pada lantai 5.

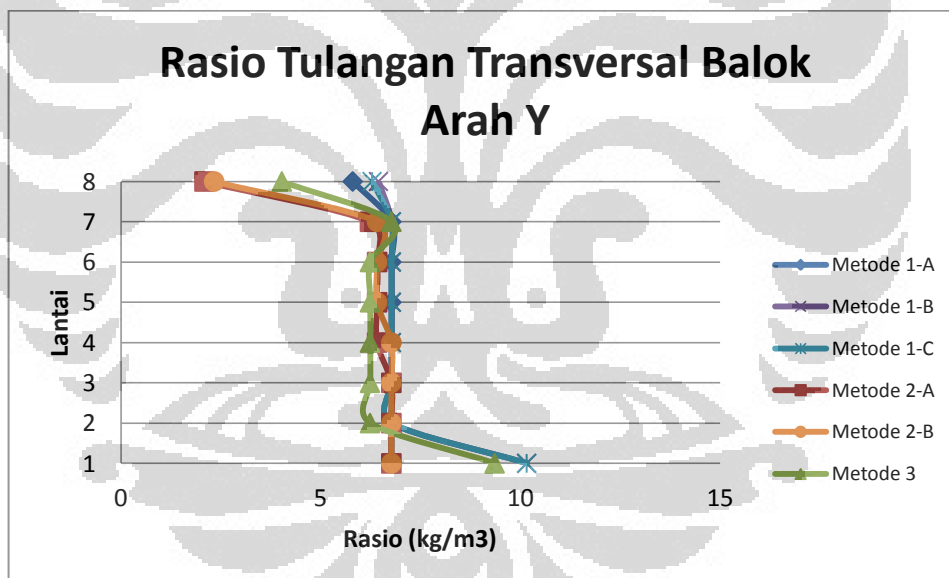
4.5.2 Kebutuhan Tulangan Transversal Balok

Rasio kebutuhan tulangan transversal balok untuk masing - masing metode disajikan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 berikut ini :



Gambar 4.7 Rasio Tulangan Transversal Balok Arah X

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012



Gambar 4.8 Rasio Tulangan Transversal Balok Arah Y

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

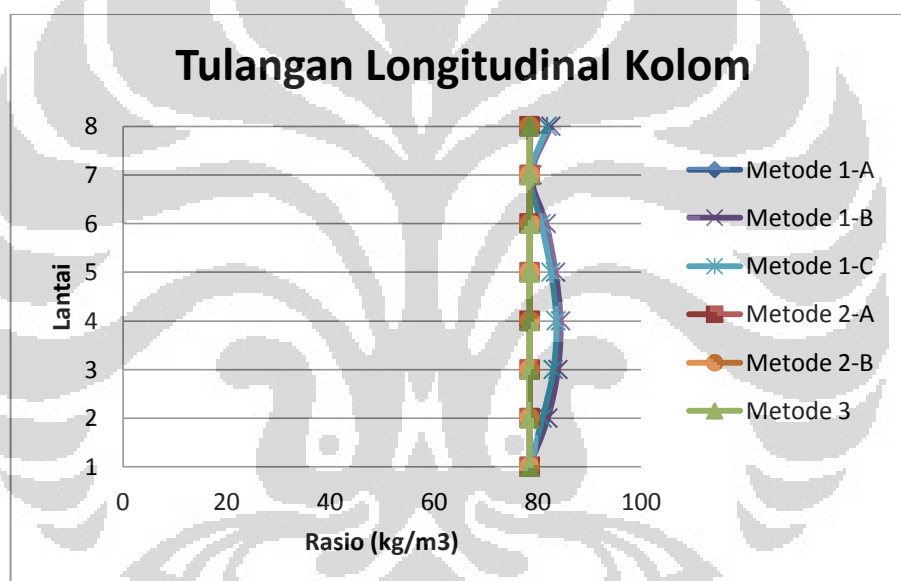
Untuk perhitungan rasio tulangan transversal pada arah X, metode 1-C menunjukkan rasio kebutuhan tulangan terbesar dari ke empat metode lainnya, yaitu sebesar $10,38 \text{ kg/m}^3$ pada lantai ke 5. Untuk tulangan transversal pada arah Y, metode 1-B dan metode 1-C menunjukkan rasio tulangan transversal yang sama, yaitu sebesar $10,17 \text{ kg/m}^3$ pada lantai 1.

4.6 Kebutuhan Tulangan Kolom

Kebutuhan tulangan kolom yang di tampilkan dalam penelitian ini meliputi tulangan longitudinal dan transversal. Rasio yang dihasilkan oleh program *ETABS* akibat kombinasi pembebanan digunakan dalam menentukan kebutuhan tulangan untuk masing-masing elemen. Tabel perhitungan kebutuhan tulangan balok terdapat pada lampiran 4.

4.6.1 Kebutuhan Tulangan Longitudinal Kolom

Berikut ini disajikan kurva rasio kebutuhan tulangan longitudinal kolom pada setiap tingkat untuk masing-masing metode perhitungan sistem ganda.



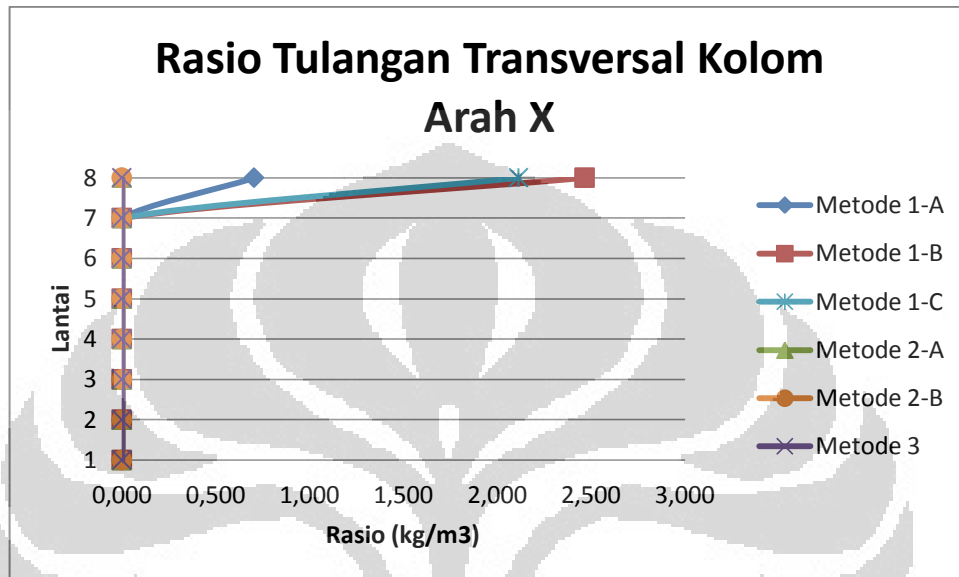
Gambar 4.9 Rasio Tulangan Longitudinal Kolom

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Dari Gambar 4.9 menunjukkan rasio kebutuhan tulangan longitudinal kolom untuk metode 1-B dan 1-C hampir sama (berhimpit). Walaupun berhimpit, rasio kebutuhan tulangan longitudinal kolom dengan metode 1-B menghasilkan rasio kebutuhan tulangan longitudinal kolom yang lebih besar dibandingkan dengan empat metode lainnya, yaitu sebesar $84,49 \text{ kg/m}^3$ pada lantai 4. Untuk metode 1-A, 2, dan metode 3 menunjukkan rasio tulangan yang tipikal dari lantai 1 hingga lantai 8 yaitu sekitar $78,5 \text{ kg/m}^3$.

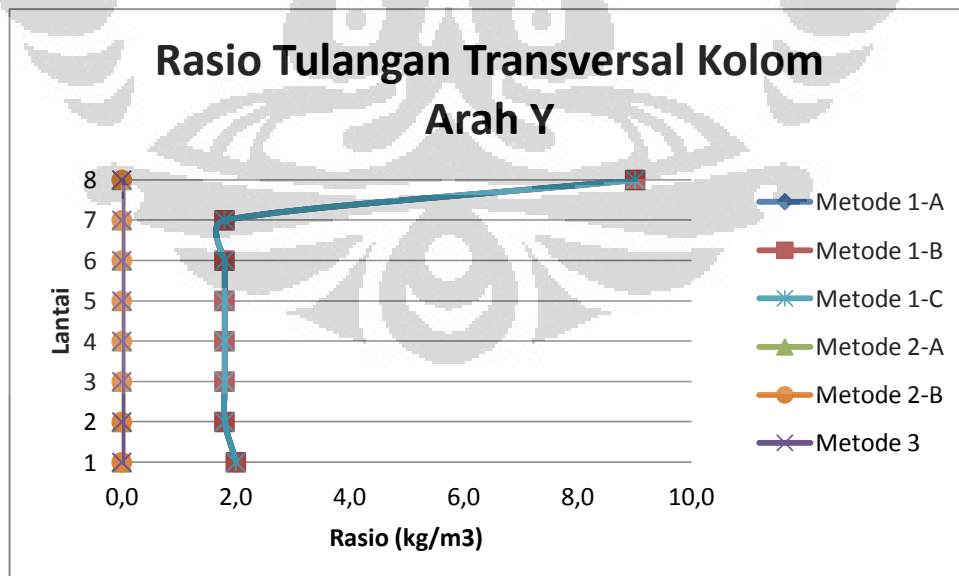
4.6.2 Kebutuhan Tulangan Transversal Kolom

Untuk rasio kebutuhan tulangan transversal kolom ditinjau untuk arah X dan arah Y. Berikut ini adalah kurva rasio kebutuhan tulangan transversal kolom untuk masing-masing arah :



Gambar 4.10 Rasio Tulangan Transversal Kolom Arah X

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012



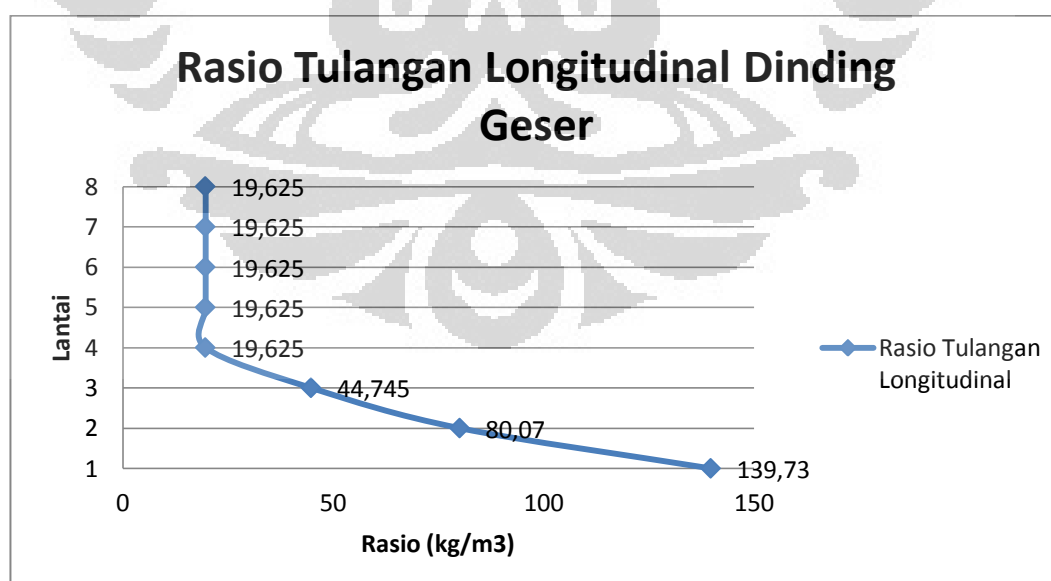
Gambar 4.11 Rasio Tulangan Transversal Kolom Arah Y

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Dari Gambar 4.10 dan 4.11, rasio kebutuhan tulangan transversal arah X dan arah Y menunjukkan bahwa metode perhitungan sistem ganda dengan metode 1-A, 1-B dan metode 1-C membutuhkan rasio tulangan terbesar. Tetapi untuk tulangan transversal arah X, rasio tulangan dengan perhitungan metode 1-B lebih menentukan yaitu sebesar $2,467 \text{ kg/m}^3$ pada lantai 8. Sedangkan untuk tulangan transversal arah Y metode 1-A, 1-B dan metode 1-C, rasio tulangan yang dibutuhkan bernilai sama, yaitu sebesar $9,014 \text{ kg/m}^3$ pada lantai 8.

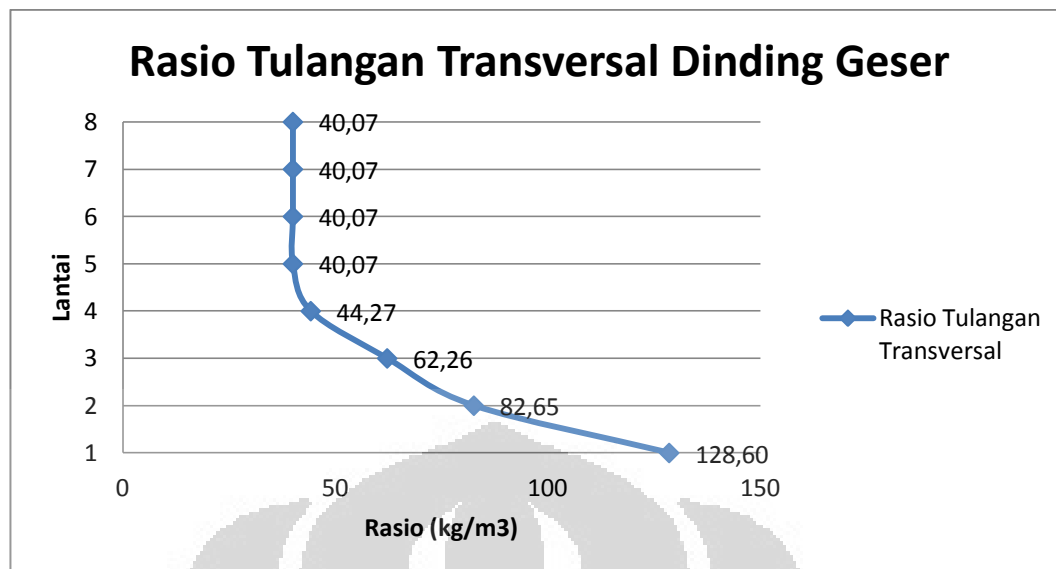
4.7 Kebutuhan Tulangan Dinding Geser

Kebutuhan tulangan dinding geser untuk masing-masing metode diambil dari hasil perhitungan model struktur portal - dinding geser yang saling berinteraksi. Rasio kebutuhan tulangan dinding geser diambil dari hasil perhitungan struktur dengan pembebanan beban gempa respon spektrum. Untuk desain selanjutnya, dalam setiap metode perhitungan (metode 1-A, 1-B, 1C, 2-A, 2-B, dan metode 3) untuk tulangan dinding geser menggunakan rasio kebutuhan tulangan yang sama, karena metode-metode perhitungan yang dilakukan hanya ditinjau untuk kebutuhan tulangan pada portal saja. Perhitungan rasio kebutuhan tulangan longitudinal dan transversal dinding geser terdapat pada lampiran 5.



Gambar 4.12 Rasio Tulangan Longitudinal Dinding Geser

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012



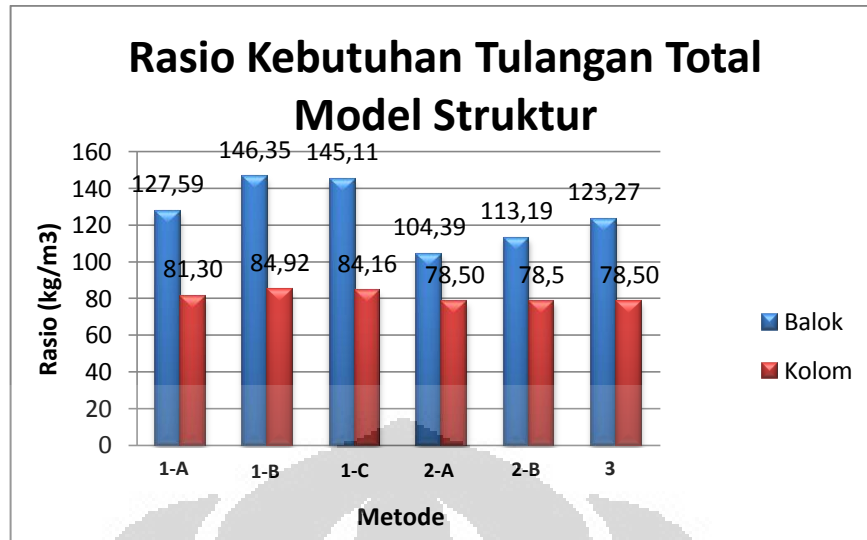
Gambar 4.13 Rasio Tulangan Transversal Dinding Geser

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13, kebutuhan tulangan longitudinal dan transversal dinding geser membutuhkan rasio tulangan terbesar pada lantai 1. Rasio kebutuhan tulangan longitudinal dinding geser pada lantai 1 yaitu sebesar $139,73 \text{ kg/m}^3$ dan rasio kebutuhan tulangan transversal pada lantai 1 sebesar $128,6 \text{ kg/m}^3$. Untuk tingkat-tingkat atas, dalam hal ini lantai 4 hingga lantai 8, tulangan longitudinal membutuhkan rasio tulangan minimum sebesar $19,625 \text{ kg/m}^3$ dan untuk tulangan transversal tulangan minimum diperlukan dari lantai 5 hingga lantai 8 yaitu sebesar $40,07 \text{ kg/m}^3$.

4.8 Kebutuhan Tulangan Total

Kebutuhan tulangan total dari balok dan kolom untuk masing-masing metode ditampilkan pada Gambar 4.18 dan tabel perhitungan rasio kebutuhan tulangan total terdapat pada lampiran 6.



Gambar 4.14 Rasio Kebutuhan Tulangan Total Balok dan Kolom

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Tabel 4.13 Rasio Kebutuhan Tulangan Portal dan Dinding Geser

Metode	Rasio (kg/m ³)	
	Portal	Dinding Geser
1-A	71,91	107,33
1-B	78,72	
1-C	78,10	
2-A	63,97	
2-B	66,52	
3	69,36	

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

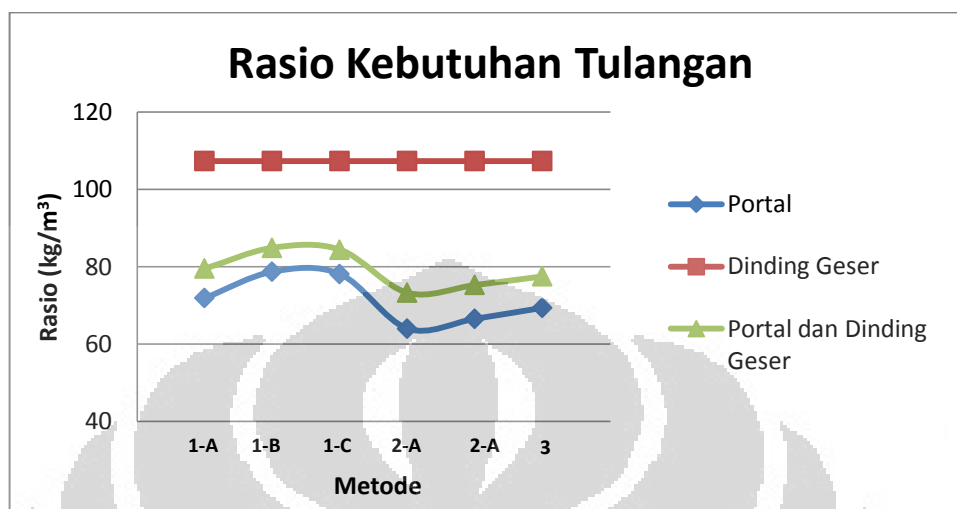
Tabel 4.14 Rasio Kebutuhan Tulangan Total Model Struktur

Metode	Rasio Tulangan Total Model Struktur (kg/m ³)
1-A	79,53
1-B	84,87
1-C	84,39
2-A	73,30
2-B	75,30
3	77,53

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Dari nilai pada tabel di atas, hasil kebutuhan tulangan yang didapatkan dari perhitungan masing-masing metode yang dilakukan disajikan pada grafik

berikut ini dengan mengasumsikan kebutuhan tulangan dinding geser setiap metode bernilai sama.



Gambar 4.15 Rasio Kebutuhan Tulangan

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

Secara keseluruhan, perhitungan rasio kebutuhan tulangan dengan metode 1-B membutuhkan rasio tulangan yang lebih besar untuk kebutuhan balok dan kolom dibandingkan dengan ke empat metode lainnya. Dari grafik pada Gambar 4.14 diatas, untuk perhitungan dengan metode 1-B besarnya rasio tulangan balok dan kolom secara berturut - turut adalah sebesar $140,31 \text{ kg/m}^3$, $84,92 \text{ kg/m}^3$. Untuk rasio tulangan dinding geser sebesar $107,33 \text{ kg/m}^3$.

Dari 6 metode perhitungan sistem ganda yang telah dilakukan, untuk kebutuhan tulangan balok dan kolom yang diperlukan oleh portal menunjukkan bahwa metode 1-B memerlukan rasio kebutuhan tulangan terbesar. Telah disebutkan sebelumnya, untuk metode 1-B dan metode 1-C merupakan metode perhitungan yang mirip, yaitu model struktur portal - dinding geser yang berinteraksi dan dilakukan perhitungan dengan memperbesar gaya geser dengan satu faktor skala ke seluruh tingkat. Hanya saja metode 1-B dilakukan dengan analisa dinamik dan metode 1-C dilakukan dengan analisa statik ekuivalen.

Dari hasil perhitungan gaya geser tingkat yang diterima portal (Gambar 4.3 dan Gambar 4.4), pada metode 1-B (analisa dinamik) menunjukkan nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan metode 1-C (analisa statik). Hal ini

dikarenakan dalam analisa dinamik, perhitungan yang dilakukan melibatkan bebarapa pola ragam getar (*modes*) sedangkan untuk analisa statik hanya melibatkan ragam getar pertama saja sehingga menyebabkan nilai gaya geser yang lebih besar.

Untuk perhitungan pada model struktur portal dengan *boundary element*, metode 2-A dan 2-B memberikan rasio kebutuhan tulangan yang berbeda dengan nilai rasio kebutuhan tulangan dengan metode 2-B menghasilkan rasio tulangan balok yang lebih besar. Hal ini dikarenakan, pada metode 2-B tidak digunakan balok pengikat antara kolom *boundary* sehingga penyaluran gaya yang disalurkan melalui elemen pelat dan besarnya gaya seluruhnya diterima oleh balok-balok pada portal sedangkan pada metode 2-A yang menggunakan balok pengikat, gaya-gaya yang masuk juga diterima oleh balok-balok pengikat.

Untuk rasio kebutuhan tulangan dinding geser, baik tulangan longitudinal maupun tulangan transversal menunjukkan di lantai bawah (lantai 1) membutuhkan rasio tulangan yang lebih besar dibandingkan dengan lantai-lantai atap. Hal ini dikarenakan gaya gempa yang diterima oleh struktur di lantai dasar lebih didominasi oleh dinding geser. Oleh karena itu, rasio kebutuhan tulangan dinding geser di bagian lantai dasar membutuhkan rasio tulangan paling besar.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari keseluruhan hasil penelitian ini adalah

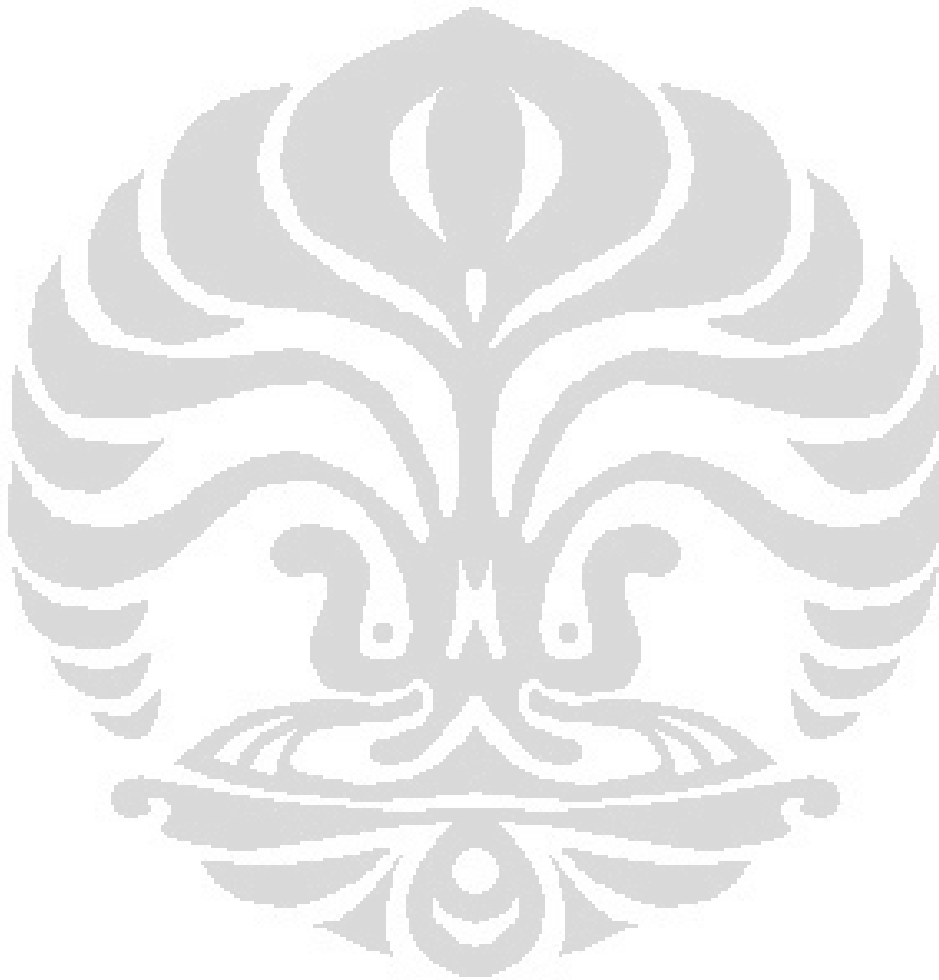
1. Periode getar pertama bertranslasi dalam arah X, periode getar yang kedua bertranslasi pada arah Y, dan periode getar ketiga berotasi dalam arah sumbu Z yang nilainya secara berturut - turut adalah sebesar 1,013 detik, 0,736 detik, dan 0,524 detik dengan batasan periode izin bangunan sebesar 1,44 detik.
2. Partisipasi massa efektif seluruhnya mencapai minimum 90% pada pola ragam getar ke-tujuh dengan partisipasi massa efektif dalam arah X, Y, dan Z secara berturut-turut sebesar 95,26%, 91,37 %, dan 91,65%.
3. Gaya geser dasar hasil analisis dinamik sudah mencapai minimum 80% dari gaya geser hasil analisis statik ekuivalen. Gaya geser dasar hasil analisis dinamik dan statik ekuivalen secara berturut-turut sebesar 4777,71 KN dan 5897,1 KN untuk arah X dan 4808,42 KN dan 5976,16 KN untuk arah Y.
4. Interval gaya geser dasar portal yang didapatkan berada antara 10% hingga 25% dari gaya geser total struktur, V_{Str} , ($10\% < V_{Str} < 25\%$), yaitu sebesar 978,52 KN (20%) dan 841,24 KN (17%) secara berturut-turut untuk arah X dan arah Y.
5. Bangunan portal - dinding geser dapat di desain sebagai sistem ganda. Tiga pemodelan struktur (portal - dinding geser berinteraksi, portal dengan *boundary element*, dan portal dengan dinding geser di non-aktifkan), untuk metode perhitungan sistem ganda mampu menahan gaya gempa yang direncanakan.
6. Metode perhitungan sistem ganda dengan model struktur portal - dinding geser yang berinteraksi belum memenuhi persyaratan sebagai sistem ganda di lantai 1 pada metode 1-A untuk arah X. Untuk arah Y, model struktur belum memenuhi persyaratan sistem ganda pada lantai 1 dan

lantai 3 untuk metode 1-A dan di lantai 2 untuk metode 1-B dan metode 1-C.

7. Hasil analisis dari perhitungan sistem ganda tidak sesuai dengan hipotesis awal karena rasio tulangan total bangunan yang dibutuhkan paling besar secara berturut-turut dihasilkan oleh model struktur portal – dinding geser yang berinteraksi, model struktur portal dengan dinding geser di non-aktifkan, dan model struktur portal dengan *boundary element*.
8. Perhitungan sistem ganda dengan metode 1-B membutuhkan rasio kebutuhan tulangan total bangunan terbesar dibandingkan dengan metode lainnya, yaitu sebesar $84,87 \text{ kg/m}^3$. Rata-rata perbedaan persentase kebutuhan tulangan total bangunan setiap metode terhadap kebutuhan tulangan terbesar untuk metode 1-A, 1-C, 2-A, 2-B, dan metode 3 secara berturut-turut sebesar 6%, 1%, 14%, 11%, dan 9%.
9. Untuk perhitungan dengan metode 1-A menghasilkan rasio kebutuhan tulangan yang cukup baik jika dibandingkan dengan metode 1-B, walaupun rasio kebutuhan tulangan metode 1-A menghasilkan rasio yang lebih kecil. Meskipun demikian, rasio kebutuhan tulangan metode perhitungan 1-A yang dihasilkan paling mendekati dengan gaya geser yang diterima oleh model struktur. Sedangkan untuk metode 1-B, dikarenakan pembesaran faktor skala yang sangat besar sehingga menyebabkan gaya geser struktur yang besar dan rasio kebutuhan tulangan yang besar pula.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan *pushover analysis* untuk menentukan kehandalan dari metode perhitungan sistem ganda yang telah dilakukan berdasarkan kriteria FEMA 356 dengan rasio tulangan yang telah didapatkan.



DAFTAR REFERENSI

- ASCE. "FEMA 356 - Prestandard And Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings." *Federal Emergency Management Agency*. Washington, D.C., 2000.
- ATC-33 Project. "FEMA 273 - NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings." *Building Seismic Safety Council*. Washington, D.C., 1997.
- Chopra, A. K. *Dynamic of Structures : Theory and Application to Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 2000.
- Chowdhury, I. dan Dasgupta, P. S. *Dynamic of Structure and Foundation - A Unified Approach*. London: Taylor & Francis Group, 2009.
- Der Kiureghian, A. "A Respones Spectrum Method for Random Vibration Analysis for MDF Systems." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 1981. 419-435.
- Dewobroto, W. "Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover." *Civil Engineering National Conference : Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism - Unika Soegijapranata*. Semarang, 2005.
- Fintel, M. "Shearwalls - An Answer for Seismic Resistance?" *Point of View : 30 Years of Observation on the Performance of Buildings with Shearwalls in Earthquakes*. Concrete International, 1991. Vol.13, No.7.
- Goodsir, W. J., Paulay, T. dan Carr, A. J. "A Design Procedure for Interacting Wall-Frame Structures Under Seismic Actions." *Proceedings 8th World Conference on Earthquake Engineering*. San Francisco, 1984. Vol.V, 621-628.
- Imran, I., et al. "Aplicability Metoda Desain Kapasitas pada Perancangan Struktur Dinding Geser Beton Bertulang." *Seminar dan Pameran HAKI - Pengaruh Gempa dan Angin terhadap Struktur*. 2008.
- Lase, Y. "Rational Selection of Structural Ductility Capacity and Reinforcement Details for Seismic Design of Reinforced Concrete Shear Wall - Frame Structure." *Proceeding of Concrete Technology and StructuresTM*. Bali, 2006.

- Pantazopoulou, S. J. dan Imran, I. "Slab - Wall Connections Under Lateral Forces." *ACI Structural Journal* (1992): V.89, No.5, 515-527.
- Paulay, T. dan Goodsir, W. J. "The Ductility of Structural Walls." *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering* September 1985: Vol.18, No.3, 250-269.
- Paulay, T. dan Priestley, M. J. N. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1992.
- Paulay, T. *Simplicity and Confidence in Seismic Design*. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- Purwono, R, et al. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)*. Surabaya: ITS Press, 2007.
- Smith, B. S. dan Coull, A. *Tall Building Structures - Analysis and Design*. New York: Wiley Interscience, 1991.
- SNI 03-1726-2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 63 pp, 2002.
- Tumilar, S. *Petunjuk Perancangan Struktur Berdasarkan Ketentuan ASCE-05, IBC-2009, dan ACI 318-08*. Jakarta: HAKI, 2009.
- Tumilar, S. *Advanced Reinforced Concrete (Bidang Studi : Teknik Struktur)*. Jakarta, 1998.
- Wight, K. J. dan MacGregor, G. J. *Reinforced Concrete - Mechanics & Design*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 2009.

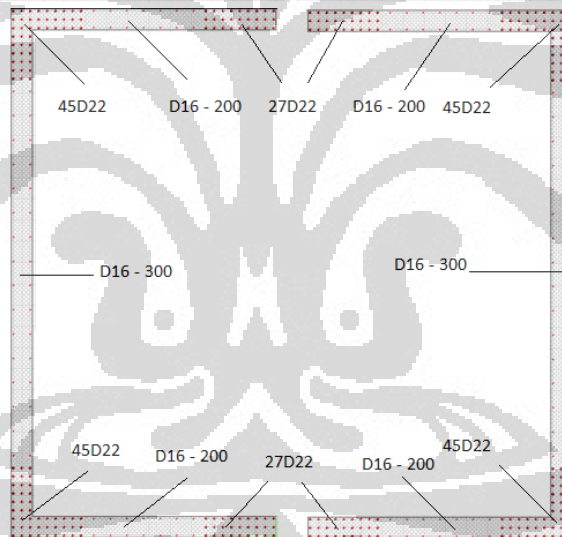
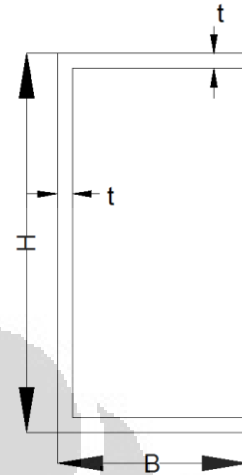
LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Desain Dinding Geser dan Balok Pengikat Kolom *Boundary*

1. Dinding Geser

Section Properties

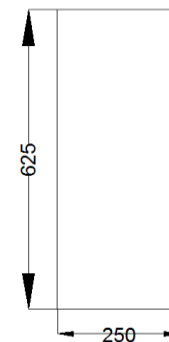
Tebal, t	= 250 mm
Lebar, B	= 3125 mm
Tinggi, H	= 6250 mm
Luas, A_g	= 3.000.000 mm ²
I_x	= 1,8031 x 10 ¹³ mm ⁴
I_y	= 8,5195 x 10 ¹² mm ⁴



2. Balok Pengikat Kolom *Boundary Element*

Section Properties

Lebar, b	= 250 mm
Tinggi, h	= 625 mm
Luas, A_g	= 156.250 mm ²
I_x	= 5,086 x 10 ⁹ mm ⁴
I_y	= 8,138 x 10 ⁸ mm ⁴



**LAMPIRAN 2. Hasil Analisis Gaya Geser Dinding Geser Model Struktur
Portal dengan Dinding Geser di Non-Aktifkan**

Tabel B.1 *Output* Gaya Dalam Dinding Geser Model Struktur Portal dengan
Dinding Geser di Non - Aktifkan

PIER FORCES									
Story	Pier	Load	Loc	P	V2	V3	T	M2	M3
STORY8	P1	EX	Top	-19,89	0	0	0	-139,352	-7,546
STORY8	P1	EX	Bottom	-19,89	0	0	0	-139,352	-7,546
STORY8	P1	EY	Top	0	0	0	0	0	-39,167
STORY8	P1	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-39,167
STORY7	P1	EX	Top	16,51	0	0	0	-61,931	-19,635
STORY7	P1	EX	Bottom	16,51	0	0	0	-61,931	-19,635
STORY7	P1	EY	Top	0	0	0	0	0	-65,431
STORY7	P1	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-65,431
STORY6	P1	EX	Top	79,17	0	0	0	74,919	-37,923
STORY6	P1	EX	Bottom	79,17	0	0	0	74,919	-37,923
STORY6	P1	EY	Top	0	0	0	0	0	-96,667
STORY6	P1	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-96,667
STORY5	P1	EX	Top	153,69	0	0	0	238,716	-59,81
STORY5	P1	EX	Bottom	153,69	0	0	0	238,716	-59,81
STORY5	P1	EY	Top	0	0	0	0	0	-130,929
STORY5	P1	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-130,929
STORY4	P1	EX	Top	234,45	0	0	0	416,994	-83,443
STORY4	P1	EX	Bottom	234,45	0	0	0	416,994	-83,443
STORY4	P1	EY	Top	0	0	0	0	0	-168,839
STORY4	P1	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-168,839
STORY3	P1	EX	Top	316,37	0	0	0	598,48	-106,968
STORY3	P1	EX	Bottom	316,37	0	0	0	598,48	-106,968
STORY3	P1	EY	Top	0	0	0	0	0	-213,107
STORY3	P1	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-213,107
STORY2	P1	EX	Top	393,24	0	0	0	769,362	-128,108
STORY2	P1	EX	Bottom	393,24	0	0	0	769,362	-128,108
STORY2	P1	EY	Top	0	0	0	0	0	-264,383
STORY2	P1	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-264,383
STORY1	P1	EX	Top	460,03	0	0	0	918,495	-144,128
STORY1	P1	EX	Bottom	460,03	0	0	0	918,495	-144,128
STORY1	P1	EY	Top	0	0	0	0	0	-310,262
STORY1	P1	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-310,262

(Lanjutan)

STORY8	P2	EX	Top	19,89	0	0	0	-139,352	7,546
STORY8	P2	EX	Bottom	19,89	0	0	0	-139,352	7,546
STORY8	P2	EY	Top	0	0	0	0	0	-81,742
STORY8	P2	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-81,742
STORY7	P2	EX	Top	-16,51	0	0	0	-61,931	19,635
STORY7	P2	EX	Bottom	-16,51	0	0	0	-61,931	19,635
STORY7	P2	EY	Top	0	0	0	0	0	-147,818
STORY7	P2	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-147,818
STORY6	P2	EX	Top	-79,17	0	0	0	74,919	37,923
STORY6	P2	EX	Bottom	-79,17	0	0	0	74,919	37,923
STORY6	P2	EY	Top	0	0	0	0	0	-224,608
STORY6	P2	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-224,607
STORY5	P2	EX	Top	-153,69	0	0	0	238,716	59,81
STORY5	P2	EX	Bottom	-153,69	0	0	0	238,716	59,81
STORY5	P2	EY	Top	0	0	0	0	0	-308,25
STORY5	P2	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-308,25
STORY4	P2	EX	Top	-234,45	0	0	0	416,994	83,443
STORY4	P2	EX	Bottom	-234,45	0	0	0	416,994	83,443
STORY4	P2	EY	Top	0	0	0	0	0	-401,245
STORY4	P2	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-401,245
STORY3	P2	EX	Top	-316,37	0	0	0	598,48	106,968
STORY3	P2	EX	Bottom	-316,37	0	0	0	598,48	106,968
STORY3	P2	EY	Top	0	0	0	0	0	-512,253
STORY3	P2	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-512,253
STORY2	P2	EX	Top	-393,24	0	0	0	769,362	128,108
STORY2	P2	EX	Bottom	-393,24	0	0	0	769,362	128,108
STORY2	P2	EY	Top	0	0	0	0	0	-644,97
STORY2	P2	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-644,97
STORY1	P2	EX	Top	-460,03	0	0	0	918,495	144,128
STORY1	P2	EX	Bottom	-460,03	0	0	0	918,495	144,128
STORY1	P2	EY	Top	0	0	0	0	0	-764,596
STORY1	P2	EY	Bottom	0	0	0	0	0	-764,596

LAMPIRAN 3. Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Balok

Tabel C.1 Hasil Perhitungan Rasio Tulangan Longitudinal Balok

RASIO KEBUTUHAN TULANGAN LONGITUDINAL BALOK												
Lantai	Rasio (kg/m^3)											
	Metode 1 - A		Metode 1 - B		Metode 1 - C		Metode 2-A		Metode 2-B		Metode 3	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 8	49,92	38,54	57,70	49,34	56,73	47,18	33,83	27,66	41,27	28,48	41,41	29,76
Lantai 7	63,79	48,50	72,68	61,03	71,98	58,98	47,51	34,84	49,30	36,07	52,42	40,35
Lantai 6	67,41	49,71	77,03	62,69	76,37	60,57	53,43	37,17	58,53	39,33	63,74	44,10
Lantai 5	72,18	50,45	82,91	63,55	82,06	61,35	56,79	39,10	63,58	41,79	69,64	46,66
Lantai 4	74,49	49,86	86,08	62,48	85,26	60,35	58,21	41,49	65,79	44,54	72,45	49,42
Lantai 3	74,15	47,95	85,37	58,99	84,55	57,06	57,89	46,19	65,44	49,46	72,31	54,55
Lantai 2	69,58	46,92	78,60	51,62	77,97	49,94	55,49	51,91	62,09	54,96	68,57	60,25
Lantai 1	60,21	39,69	64,83	42,17	64,42	40,24	51,10	46,78	55,32	49,17	62,02	54,35

Tabel C.2 Hasil Perhitungan Rasio Tulangan Transversal Balok

RASIO KEBUTUHAN TULANGAN TRANSVERSAL BALOK												
Lantai	Rasio (kg/m^3)											
	Metode 1 - A		Metode 1 - B		Metode 1 - C		Metode 2-A		Metode 2-B		Metode 3	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 8	5,55	5,81	4,48	6,45	6,94	6,29	4,29	2,10	4,89	2,34	6,56	4,03
Lantai 7	5,56	6,78	5,51	6,78	5,56	6,78	5,62	6,24	6,21	6,42	5,56	6,78
Lantai 6	9,14	6,78	7,90	6,78	10,12	6,78	6,86	6,42	7,09	6,42	7,28	6,24
Lantai 5	9,70	6,78	7,83	6,78	10,38	6,78	6,98	6,42	7,28	6,42	7,52	6,24
Lantai 4	9,98	6,78	8,33	6,78	10,06	6,78	7,05	6,42	7,63	6,78	7,65	6,24
Lantai 3	9,86	6,78	8,16	6,78	9,84	6,78	7,06	6,78	7,73	6,78	7,63	6,24
Lantai 2	9,20	6,78	9,48	6,78	10,15	6,78	6,90	6,78	7,50	6,78	7,47	6,24
Lantai 1	7,77	6,78	7,41	10,17	8,40	10,17	6,64	6,78	6,94	6,78	7,19	9,36

LAMPIRAN 4. Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Kolom

Tabel D.1 Hasil Perhitungan Rasio Tulangan Longitudinal Kolom

TULANGAN LONGITUDINAL KOLOM						
Lantai	Rasio (kg/m^3)					
	Metode 1-A	Metode 1-B	Metode 1-C	Metode 2-A	Metode 2-B	Metode 3
Lantai 8	78,64	82,60	81,88	78,50	78,50	78,50
Lantai 7	78,50	78,93	78,65	78,50	78,50	78,50
Lantai 6	78,50	81,73	80,73	78,50	78,50	78,50
Lantai 5	78,50	83,51	82,58	78,50	78,50	78,50
Lantai 4	78,50	84,49	83,61	78,50	78,50	78,50
Lantai 3	78,50	83,98	83,05	78,50	78,50	78,50
Lantai 2	78,50	82,01	80,94	78,50	78,50	78,50
Lantai 1	78,50	78,50	78,50	78,50	78,50	78,50

Tabel D.2 Hasil Perhitungan Tulangan Transversal Kolom Arah X

TULANGAN TRANSVERSAL KOLOM ARAH X						
Lantai	Rasio (kg/m^3)					
	Metode 1-A	Metode 1-B	Metode 1-C	Metode 2-A	Metode 2-B	Metode 3
Lantai 8	0,7	2,47	2,11	0	0	0
Lantai 7	0	0	0	0	0	0
Lantai 6	0	0	0	0	0	0
Lantai 5	0	0	0	0	0	0
Lantai 4	0	0	0	0	0	0
Lantai 3	0	0	0	0	0	0
Lantai 2	0	0	0	0	0	0
Lantai 1	0	0	0	0	0	0

Tabel D.3 Hasil Perhitungan Tulangan Transversal Kolom Arah Y

TULANGAN TRANSVERSAL KOLOM ARAH Y						
Lantai	Rasio (kg/m^3)					
	Metode 1-A	Metode 1-B	Metode 1-C	Metode 2-A	Metode 2-B	Metode 3
Lantai 8	9,014	9,014	9,014	0	0	0
Lantai 7	1,803	1,803	1,803	0	0	0
Lantai 6	1,803	1,803	1,803	0	0	0
Lantai 5	1,803	1,803	1,803	0	0	0
Lantai 4	1,803	1,803	1,803	0	0	0
Lantai 3	1,803	1,803	1,803	0	0	0
Lantai 2	1,803	1,803	1,803	0	0	0
Lantai 1	2,003	2,003	2,003	0	0	0

LAMPIRAN 5. Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Dinding Geser

Tabel E.1 Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Longitudinal Dinding Geser

Lantai	Tinggi (mm)	Rasio Tulangan Perlu		Luas Perlu (mm ²)	Vol Tulangan (mm ³)	Vol Beton P1 (m ³)	Vol Beton P2 (m ³)	Berat Tulangan (kg)	Rasio (kg/m ³)
		P1	P2						
Lantai 8	3600	0,0025	0,0025	15000	54000000	10,8	10,8	423,9	19,625
Lantai 7	3600	0,0025	0,0025	15000	54000000	10,8	10,8	423,9	19,625
Lantai 6	3600	0,0025	0,0025	15000	54000000	10,8	10,8	423,9	19,625
Lantai 5	3600	0,0025	0,0025	15000	54000000	10,8	10,8	423,9	19,625
Lantai 4	3600	0,0025	0,0025	15000	54000000	10,8	10,8	423,9	19,625
Lantai 3	3600	0,0057	0,0057	34200	123120000	10,8	10,8	966,492	44,745
Lantai 2	3600	0,0102	0,0102	61200	220320000	10,8	10,8	1729,512	80,07
Lantai 1	4000	0,0178	0,0178	106800	427200000	12	12	3353,52	139,73

Tabel E.2 Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Transversal Dinding Geser

Lantai	Tinggi (mm)	Rasio Tulangan Perlu (mm ² /m)		Luas Perlu (mm ²)	Vol Tulangan (mm ³)	Vol Beton P1 (m ³)	Vol Beton P2 (m ³)	Berat Tulangan (kg)	Rasio (kg/m ³)
		P1	P2						
Lantai 8	3600	625	625	30625	110250000	10,8	10,8	865,463	40,068
Lantai 7	3600	625	625	30625	110250000	10,8	10,8	865,463	40,068
Lantai 6	3600	625	625	30625	110250000	10,8	10,8	865,463	40,068
Lantai 5	3600	625	625	30625	110250000	10,8	10,8	865,463	40,068
Lantai 4	3600	690,494	690,494	33834,206	121803141,6	10,8	10,8	956,155	44,266
Lantai 3	3600	971,099	971,1	47583,8755	171301951,8	10,8	10,8	1344,720	62,256
Lantai 2	3600	1289,262	1289,262	63173,838	227425816,8	10,8	10,8	1785,293	82,652
Lantai 1	4000	2005,959	2005,959	98291,991	393167964	12	12	3086,369	128,599

Tabel E.3 Rasio Kebutuhan Tulangan Dinding Geser

Lantai	Ratio (kg/m ³)	
	Tulangan Longitudinal	Tulangan Transversal
Lantai 8	19,625	40,07
Lantai 7	19,625	40,07
Lantai 6	19,625	40,07
Lantai 5	19,625	40,07
Lantai 4	19,625	44,27
Lantai 3	44,745	62,26
Lantai 2	80,07	82,65
Lantai 1	139,73	128,60

LAMPIRAN 6. Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Total

Tabel F.1 Hasil Perhitungan Rasio Tulangan Balok

TULANGAN BALOK						
Metode	Tulangan	Berat Tulangan (kg)		Volume Beton (m ³)		Rasio Tulangan (kg/m ³)
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1-A	Longitudinal	12741,7	7709,25	192,24	166,32	127,59
	Transversal	1598,1	1105,22			
1-B	Longitudinal	14504,3	9378,95	192,24	166,32	146,35
	Transversal	1414,0	1189,39			
1-C	Longitudinal	14362,8	9041,83	192,24	166,32	145,11
	Transversal	1712,3	1185,73			
2-A	Longitudinal	9915,8	6731,70	192,24	166,32	104,39
	Transversal	1230,1	988,11			
2-B	Longitudinal	11050,14	7116,22	192,24	166,32	113,19
	Transversal	1323,92	1004,58			
3	Longitudinal	12030,2	7850,12	192,24	166,32	123,27
	Transversal	1365,2	1063,13			

Tabel F.2 Hasil Perhitungan Rasio Tulangan Kolom

TULANGAN KOLOM				
Metode	Berat Tulangan (kg)		Volume Beton (m ³)	Rasio Tulangan (kg/m ³)
	Longitudinal	Transversal		
1-A	22009,90	778,97	280,32	81,30
1-B	22963,59	839,88	280,32	84,92
1-C	22763,59	827,70	280,32	84,16
2-A	22005,12	0	280,32	78,5
2-B	22005,12	0	280,32	78,5
3	22005,12	0	280,32	78,5

LAMPIRAN 7. Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Balok dan Kolom Maksimum

Tabel G.1 Hasil Perhitungan Rasio Tulangan Longitudinal Balok Maksimum

Rasio Kebutuhan Tulangan Longitudinal Balok Maksimum (kg/m ³)				
Lantai	Arah X	Keterangan	Arah Y	Keterangan
Lantai 8	57,70	1-B	49,34	1-B
Lantai 7	72,68	1-B	61,03	1-B
Lantai 6	77,03	1-B	62,69	1-B
Lantai 5	82,91	1-B	63,55	1-B
Lantai 4	86,08	1-B	62,48	1-B
Lantai 3	85,37	1-B	58,99	1-B
Lantai 2	78,60	1-B	60,25	3
Lantai 1	64,83	1-B	54,35	3

Tabel G.2 Hasil Perhitungan Rasio Tulangan Transversal Balok Maksimum

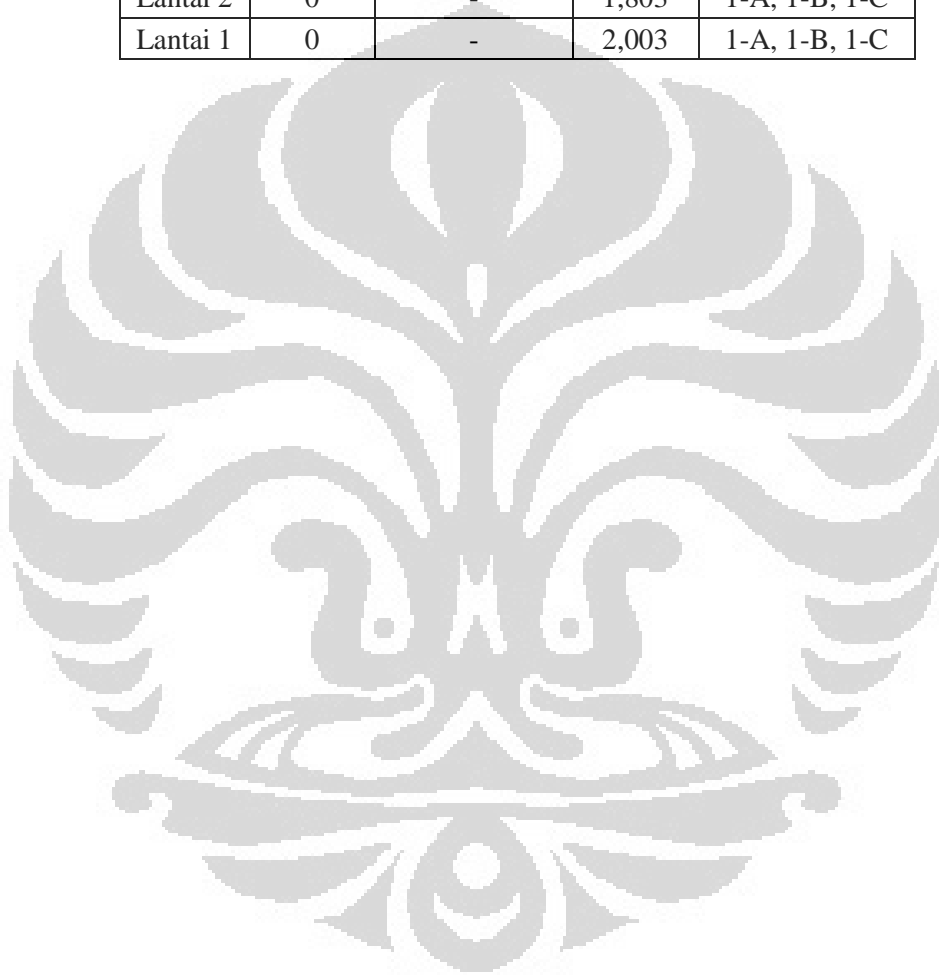
Rasio Kebutuhan Tulangan Transversal Balok Maksimum (kg/m ³)				
Lantai	Arah X	Keterangan	Arah Y	Keterangan
Lantai 8	6,94	1-C	6,45	1-B
Lantai 7	6,21	2-B	6,78	1-A, 1-B, 1-C
Lantai 6	10,12	1-C	6,78	1-A, 1-B, 1-C
Lantai 5	10,38	1-C	6,78	1-A, 1-B, 1-C
Lantai 4	10,06	1-C	6,78	1-A, 1-B, 1-C
Lantai 3	9,86	1-A	6,78	1-A, 1-B, 1-C, 2-A, 2-B
Lantai 2	10,15	1-C	6,78	1-A, 1-B, 1-C, 2-A, 2-B
Lantai 1	8,40	1-C	10,17	1-B, 1-C

Tabel G.3 Hasil Perhitungan Rasio Tulangan Longitudinal Kolom Maksimum

Rasio Tulangan Longitudinal Kolom Maksimum		
Lantai	Rasio (kg/m ³)	Keterangan
Lantai 8	82,60	1-B
Lantai 7	78,93	1-B
Lantai 6	81,73	1-B
Lantai 5	83,51	1-B
Lantai 4	84,49	1-B
Lantai 3	83,98	1-B
Lantai 2	82,01	1-B
Lantai 1	78,50	Seluruh Metode

Tabel G.4 Hasil Perhitungan Tulangan Transversal Kolom Maksimum

Rasio Tulangan Transversal Kolom Maksimum				
Lantai	Arah X	Keterangan	Arah Y	Keterangan
Lantai 8	2,47	1-B	9,014	1-A, 1-B, 1-C
Lantai 7	0	-	1,803	1-A, 1-B, 1-C
Lantai 6	0	-	1,803	1-A, 1-B, 1-C
Lantai 5	0	-	1,803	1-A, 1-B, 1-C
Lantai 4	0	-	1,803	1-A, 1-B, 1-C
Lantai 3	0	-	1,803	1-A, 1-B, 1-C
Lantai 2	0	-	1,803	1-A, 1-B, 1-C
Lantai 1	0	-	2,003	1-A, 1-B, 1-C



LAMPIRAN 8. Perhitungan dan Pengecekan Gaya Geser Dasar

Tabel H.1 *Output* Gaya Dalam Dinding Geser

Story	Pier	Load	Loc	P	V2	V3	T	M2	M3
STORY8	P1	EX	Top	0	645,52	0,01	499,545	0,001	4550,457
STORY8	P1	EX	Bottom	0	645,52	0,01	499,545	0,032	2714,548
STORY8	P1	EY	Top	0	0	339,52	1101,082	1530,253	0,002
STORY8	P1	EY	Bottom	0	0	339,52	1101,082	2059,209	0,014
STORY7	P1	EX	Top	0	646,13	0,01	1946,176	0,032	9568,656
STORY7	P1	EX	Bottom	0	646,13	0,01	1946,176	0,016	11769,08
STORY7	P1	EY	Top	0	0,01	1268,61	4108,185	3647,532	0,013
STORY7	P1	EY	Bottom	0	0,01	1268,61	4108,185	2862,814	0,021
STORY6	P1	EX	Top	0	1133,4	0,01	2991,741	0,017	20109,56
STORY6	P1	EX	Bottom	0	1133,4	0,01	2991,741	0,019	24161,36
STORY6	P1	EY	Top	0	0,01	2022,99	6199,471	2911,634	0,021
STORY6	P1	EY	Bottom	0	0,01	2022,99	6199,471	7299,107	0,01
STORY5	P1	EX	Top	0	1622,78	0,01	3957,641	0,019	34011,42
STORY5	P1	EX	Bottom	0	1622,78	0,01	3957,641	0,017	39779,45
STORY5	P1	EY	Top	0	0	2654,46	8117,823	5866,55	0,01
STORY5	P1	EY	Bottom	0	0	2654,46	8117,823	14443,38	0,012
STORY4	P1	EX	Top	0	2077,99	0,01	4833,853	0,017	50685,65
STORY4	P1	EX	Bottom	0	2077,99	0,01	4833,853	0,028	57990,71
STORY4	P1	EY	Top	0	0	3204,06	9898,354	12805,25	0,013
STORY4	P1	EY	Bottom	0	0	3204,06	9898,354	23705,97	0,01
STORY3	P1	EX	Top	0	2559,78	0,01	5602,394	0,028	69155,12
STORY3	P1	EX	Bottom	0	2559,78	0,01	5602,394	0,01	78083,36
STORY3	P1	EY	Top	0	0	3688,89	11502,008	22170,3	0,009
STORY3	P1	EY	Bottom	0	0	3688,89	11502,008	34913,83	0,009
STORY2	P1	EX	Top	0	3100,19	0,01	6325,688	0,01	88299,27
STORY2	P1	EX	Bottom	0	3100,19	0,01	6325,688	0,025	99098,57
STORY2	P1	EY	Top	0	0	4168,46	13034,084	33660,09	0,01
STORY2	P1	EY	Bottom	0	0	4168,46	13034,084	48203,65	0,008
STORY1	P1	EX	Top	0	3906,15	0,01	6509,357	0,025	106498,1
STORY1	P1	EX	Bottom	0	3906,15	0,01	6509,357	0,011	121742,6
STORY1	P1	EY	Top	0	0	4128,26	13454,864	47385,35	0,007
STORY1	P1	EY	Bottom	0	0	4128,26	13454,864	63552,81	0,004

Tabel H.2 *Output Gaya Dalam Respon Spektrum Gempa*

Spec	Mode	Dir	F1	F2	F3	M1	M2	M3
EX	1	U1	4777,71	0	0	0	100626,4	-42999,4
EX	2	U1	0	0	0	0	0	0
EX	3	U1	0	0	0	0	0	0
EX	4	U1	937,6	0	0	-0,001	1707,449	-8438,43
EX	5	U1	0	0	0	0	0	0,001
EX	6	U1	294,71	0	0	0	1126,065	-2652,35
EX	7	U1	0	0	0	0	0	0
EX	8	U1	0	0	0	0	0	-0,001
EX	9	U1	109,8	0	0	0,003	181,073	-988,233
EX	10	U1	0	0	0	0	0	0
EX	11	U1	0	0	0	0,001	0	-0,009
EX	12	U1	0	0	0	0	0	0
EX	All	All	4884,67	0	0	0,003	100656,5	43962,01
EY	1	U2	0	0	0	0	0	0
EY	2	U2	0	4808,42	0	-102750	0	86551,52
EY	3	U2	0	0	0	0	0	0
EY	4	U2	0	0	0	0	0,001	-0,003
EY	5	U2	0	1206,06	0	-4210,47	0	21709,16
EY	6	U2	0	0	0	0	0	0,001
EY	7	U2	0	0	0	0	0	0
EY	8	U2	0	232,75	0	-684,665	0	4189,436
EY	9	U2	0	0	0	0	-0,004	0,024
EY	10	U2	0	0	0	0	0	0,002
EY	11	U2	0	76,77	0	-94,076	-0,001	1381,857
EY	12	U2	0	0	0	0	0	0
EY	All	All	0	4969,5	0	102855,2	0,005	89450,92

Tabel H.3 *Persentase Gaya Geser yang Dipikul oleh Portal*

Vb	Vb Shear Wall	Vb Structure	Vb Frame	Persentase
Vx	3906,15	4884,67	978,52	20,03%
Vy	4128,26	4969,5	841,24	16,93%

**LAMPIRAN 9. Pengolahan Data Contoh Perhitungan Tulangan
(Tulangan Balok dan Kolom Metode 1-A)**

Tabel I.1 Pengolahan Data Tulangan Longitudinal Balok Arah X pada Lantai 8

Bentang	Lokasi	Tulangan Atas		Tulangan Bawah		L Bentang (mm)	V Beton (mm ³)	L Tulangan (mm)	V Tulangan (mm ³)	W Tulangan (kg)
		min	perlu	min	perlu					
B1	Tumpuan	579	773	335	335	6000	1080000000	1500	5145000	40,39
	Lapangan	225	225	449	449			3000		
	Tumpuan	579	679	295	295			1500		
B2	Tumpuan	579	767	332	332	6000	1080000000	1500	5206500	40,87
	Lapangan	217	217	422	422			3000		
	Tumpuan	579	763	331	331			1500		
B3	Tumpuan	579	761	330	330	6000	1080000000	1500	5163000	40,53
	Lapangan	213	213	418	418			3000		
	Tumpuan	579	760	329	329			1500		
B4	Tumpuan	579	763	330	330	6000	1080000000	1500	5164500	40,54
	Lapangan	213	213	418	418			3000		
	Tumpuan	579	759	329	329			1500		
B5	Tumpuan	579	767	332	332	6000	1080000000	1500	5208000	40,88
	Lapangan	217	217	422	422			3000		
	Tumpuan	579	764	331	331			1500		
B6	Tumpuan	579	694	301	301	6000	1080000000	1500	5197500	40,80
	Lapangan	230	230	458	458			3000		
	Tumpuan	579	763	331	331			1500		
B20	Tumpuan	197	197	197	197	6000	1080000000	1500	8686500	68,19
	Lapangan	579	1266	579	722			3000		
	Tumpuan	579	661	579	760			1500		
B22	Tumpuan	579	1150	492	492	6000	1080000000	1500	8193000	64,32
	Lapangan	302	302	579	760			3000		
	Tumpuan	579	1189	507	507			1500		
B23	Tumpuan	579	1131	484	484	6000	1080000000	1500	7866000	61,75
	Lapangan	292	292	579	703			3000		
	Tumpuan	579	1148	491	491			1500		
B24	Tumpuan	579	1147	490	490	6000	1080000000	1500	7860000	61,70
	Lapangan	292	292	579	703			3000		
	Tumpuan	579	1130	483	483			1500		
B25	Tumpuan	579	1196	510	510	6000	1080000000	1500	8209500	64,44
	Lapangan	304	304	579	760			3000		
	Tumpuan	579	1148	491	491			1500		

(Lanjutan)

B27	Tumpuan	579	710	579	808	6000	1080000000	1500	9222000	72,39
	Lapangan	579	1327	579	779			3000		
	Tumpuan	209	209	209	209			1500		
B41	Tumpuan	214	214	214	214	6000	1080000000	1500	9466500	74,31
	Lapangan	579	1355	579	805			3000		
	Tumpuan	579	732	579	831			1500		
B43	Tumpuan	579	1153	493	493	6000	1080000000	1500	8229000	64,60
	Lapangan	305	305	579	760			3000		
	Tumpuan	579	1199	511	511			1500		
B44	Tumpuan	579	1138	487	487	6000	1080000000	1500	7902000	62,03
	Lapangan	294	294	579	703			3000		
	Tumpuan	579	1155	494	494			1500		
B45	Tumpuan	579	1155	493	493	6000	1080000000	1500	7897500	62,00
	Lapangan	294	294	579	703			3000		
	Tumpuan	579	1137	486	486			1500		
B46	Tumpuan	579	1206	514	514	6000	1080000000	1500	8242500	64,70
	Lapangan	306	306	579	760			3000		
	Tumpuan	579	1151	492	492			1500		
B48	Tumpuan	579	780	579	880	6000	1080000000	1500	10005000	78,54
	Lapangan	579	1416	579	863			3000		
	Tumpuan	226	226	226	226			1500		
B62	Tumpuan	579	795	344	344	6000	1080000000	1500	5319000	41,75
	Lapangan	242	242	456	456			3000		
	Tumpuan	579	705	306	306			1500		
B63	Tumpuan	579	789	341	341	6000	1080000000	1500	5343000	41,94
	Lapangan	231	231	422	422			3000		
	Tumpuan	579	786	340	340			1500		
B64	Tumpuan	579	784	339	339	6000	1080000000	1500	5302500	41,62
	Lapangan	227	227	418	418			3000		
	Tumpuan	579	783	339	339			1500		
B65	Tumpuan	579	785	340	340	6000	1080000000	1500	5301000	41,61
	Lapangan	227	227	418	418			3000		
	Tumpuan	579	781	338	338			1500		
B66	Tumpuan	579	791	342	342	6000	1080000000	1500	5347500	41,98
	Lapangan	231	231	422	422			3000		
	Tumpuan	579	786	340	340			1500		
B67	Tumpuan	579	720	312	312	6000	1080000000	1500	5364000	42,11
	Lapangan	248	248	460	460			3000		
	Tumpuan	579	786	342	342			1500		
Volume Beton								:	25,92	mm³
Berat Tulangan								:	1294,00	kg
Rasio Tulangan Lantai 8								:	49,92	kg/m³

Tabel I.2 Pengolahan Data Tulangan Transversal Balok Arah X pada Lantai 8

Bentang	Lokasi	Rasio (R) mm ² /mm	1/2R x 2H mm ²	L Bentang (mm)	V Beton (mm ³)	L Tulangan (mm)	V Tulangan (mm ³)	W Tulangan (kg)
B1	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	932400	7,32
	As tgh	0,259	155,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B2	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	536400	4,21
	As tgh	0,039	23,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B3	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	531000	4,17
	As tgh	0,036	21,6			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B4	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	536400	4,21
	As tgh	0,039	23,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B5	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	532800	4,18
	As tgh	0,037	22,2			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B6	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	932400	7,32
	As tgh	0,259	155,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B20	As kiri	0	0	6000	1080000000	1500	699300	5,49
	As tgh	0,259	155,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B22	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	932400	7,32
	As tgh	0,259	155,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B23	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	932400	7,32
	As tgh	0,259	155,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B24	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	932400	7,32
	As tgh	0,259	155,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B25	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	932400	7,32
	As tgh	0,259	155,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B27	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	699300	5,49
	As tgh	0,259	155,4			3000		
	As kanan	0	0			1500		
B41	As kiri	0	0	6000	1080000000	1500	702900	5,52
	As tgh	0,261	156,6			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		

(Lanjutan)

B43	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	932400	7,32
	As tgh	0,259	155,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B44	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	932400	7,32
	As tgh	0,259	155,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B45	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	932400	7,32
	As tgh	0,259	155,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B46	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	932400	7,32
	As tgh	0,259	155,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B48	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	771300	6,05
	As tgh	0,299	179,4			3000		
	As kanan	0	0			1500		
B62	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	932400	7,32
	As tgh	0,259	155,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B63	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	536400	4,21
	As tgh	0,039	23,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B64	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	531000	4,17
	As tgh	0,036	21,6			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B65	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	536400	4,21
	As tgh	0,039	23,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B66	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	525600	4,13
	As tgh	0,033	19,8			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
B67	As kiri	0,259	155,4	6000	1080000000	1500	932400	7,32
	As tgh	0,259	155,4			3000		
	As kanan	0,259	155,4			1500		
Volume Beton						:	25,92	mm³
Berat Tulangan						:	143,87	kg
Rasio Tulangan Lantai 8						:	5,55	kg/m³

Tabel I.3 Pengolahan Data Tulangan Longitudinal Kolom (*Section C1*)

Section	lantai	As min	As	L Kolom (mm)	V Beton (mm ³)	L Tulangan (mm)	V Tulangan (mm ³)	W Tulangan (kg)
C1	8	4000	4000	3600	1440000000	3600	14400000	113,04
	7	4000	4000	3600	1440000000	3600	14400000	113,04
	6	4000	4000	3600	1440000000	3600	14400000	113,04
	5	4000	4000	3600	1440000000	3600	14400000	113,04
	4	4000	4000	3600	1440000000	3600	14400000	113,04
	3	4000	4000	3600	1440000000	3600	14400000	113,04
	2	4000	4000	3600	1440000000	3600	14400000	113,04
	1	4000	4000	4000	1600000000	4000	16000000	125,6

Tabel I.4 Pengolahan Data Tulangan Transversal Kolom (*Section C1*)

Section	lantai	Rasio (mm ² /mm)		L Sengkang (mm)		Tinggi, H (mm)	V Tulangan (mm ³)		W Tulangan (kg)	
		Major	Minor	b	h		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
C1	8	0	0	500	800	3600	0	0	0,00	0,00
	7	0	0	500	800	3600	0	0	0,00	0,00
	6	0	0	500	800	3600	0	0	0,00	0,00
	5	0	0	500	800	3600	0	0	0,00	0,00
	4	0	0	500	800	3600	0	0	0,00	0,00
	3	0	0	500	800	3600	0	0	0,00	0,00
	2	0	0	500	800	3600	0	0	0,00	0,00
	1	0	0	500	800	4000	0	0	0,00	0,00