

TUGAS AKHIR

**KINERJA STRUKTUR GEDUNG *SETBACK* DI KOTA
PADANG DIRENCANAKAN MEMAKAI PETA GEMPA
2017 DAN PETA GEMPA 2012**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

AHMAD RAMADAN SIDABUTAR
1407210174



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ahmad Ramadan Sidabutar

NPM : 1407210174

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : kinerja struktur gedung *setback* di kota padang direncanakan memakai peta gempa 2017 dan peta gempa 2012

Bidang ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Agustus 2018

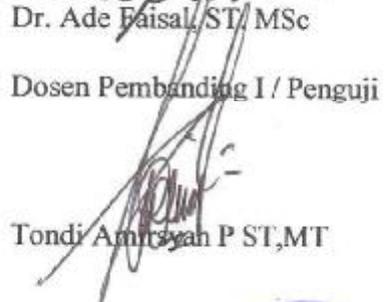
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



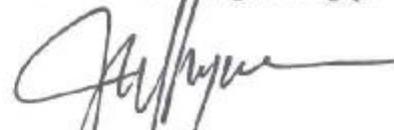
Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Dosen Pembimbing I / Penguji



Tondi Amrisyah P ST, MT

Dosen Pembimbing II / Penguji



Dr. Josef hadipramana

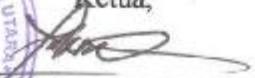
Dosen Pembimbing II / Penguji



Dr. Fahrizal Zulkarnain ST, MSc



Program Studi Teknik Sipil
Ketua,



Dr. Fahrizal Zulkarnain ST, MSc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ahmad Raniadan Sidabutar

Tempat /Tanggal Lahir : kaninjo 05-februari-1996

NPM : 1407210174

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil,

menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

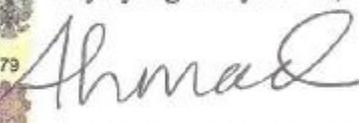
“kinerja struktur gedung *setback* di kota padang direncanakan memakai peta gempa 2017 dan peta gempa 2012”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Agustus 2018

Saya yang menyatakan,

Ahmad ramadan sidabutar



ABSTRAK

Kinerja Struktur Gedung *Setback* Di Kota Padang Direncanakan Memakai Peta Gempa 2017 Dan Peta Gempa 2012

Ahmad Ramadan Sidabutar

1407210174

Dr.Ade Faisal,ST.,M.Sc

Dr.Josef Hadipramana

Struktur bangunan bertingkat rawan terhadap gaya lateral, terutama akibat gaya yang ditimbulkan gempa. Dalam menghitung struktur bangunan bertingkat ada 2 cara, yakni dengan *Open Frame* dan kombinasi *Open Frame* dengan *shear wall*. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah memunculkan solusi untuk meningkatkan kinerja struktur bangunan tingkat tinggi yaitu dengan pemasangan dinding geser untuk menambah kekakuan struktur dan menyerap gaya geser. dinding geser adalah dinding yang berfungsi sebagai pengaku dan juga merupakan dinding inti untuk memperkaku seluruh bangunan yang dirancang untuk menahan gaya geser, gaya lateral akibat gempa bumi. sehingga deformasi (lendutan) horizontal menjadi kecil. Analisa yang digunakan pada tugas akhir ini adalah analisis respon spektrum berdasarkan SNI 1726:2012. tugas akhir ini terdapat model gedung *set back* dengan dinding geser tiap sisi. Gedung direncanakan dengan 7 lantai dengan tinggi total 23 m. Dari data disimpulkan bahwa simpangan antar lantai untuk arah X tidak begitu besar dikarenakan adanya penambahan dinding geser, dimana hasil simpangan arah x pada peta gempa 2017 sebesar 0,012 m dan untuk simpangan arah x pada gempa 2012 sebesar 0,013 m. Sedangkan simpangan arah y dengan peta gempa 2017 sebesar 0,007m dan untuk simpangan arah y dngan peta gempa 2012 adalah sebesar 0,007 m.

Keywords: gempa bumi, setback, simpangan, dinding geser

ABSTRACT

PERFORMANCE OF THE SETBACK BUILDING STRUCTURE IN PADANG PLANNED TO USE THE 2017 EARTHQUAKE MAP AND THE 2012 EARTHQUAKE MAP (LITERATURE STUDY)

Ahmad Ramadan Sidabutar
1407210174
Dr. Ade Faisal, ST., M.Sc
Dr. Josef Hadipramana

Multi-storey building structures are prone to lateral forces, mainly due to the force caused by the earthquake. In calculating the structure of multistory buildings there are 2 ways, namely with Open Frame and combination of Open Frame with shear wall. The development of science and technology has led to solutions to improve the performance of high-level building structures by installing shear walls to increase the stiffness of the structure and absorb shear forces. Shear wall is a wall that serves as a stiffener and is also a core wall to reinforce all buildings designed to resist shear forces, lateral forces due to earthquakes. so that the horizontal deformation becomes small. The analysis used in this final project is spectrum response analysis based on SNI 1726: 2012. This final project has a building model set back with a sliding wall on each side. The building is planned with 7 floors with a total height of 23 m. From the data it was concluded that the inter-floor deviation for the X direction was not so large as the addition of shear walls, where the deviation of x in the 2017 earthquake map was 0.012 m and for the x direction deviation in the 2012 earthquake was 0.013 m. Whereas the y direction deviation with the 2017 earthquake map is 0.007m and for the 2012 deviation direction the 2012 earthquake map is 0.007 m.

Keywords: earthquake, setback, deviation, shear wall

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum warahmatullahiwabarakatuh

Alhamdulillahil'alamin Puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagaimana yang diharapkan.

Adapun judul Tugas Akhir ini adalah “ kinerja bangunan setback di kota padang yang direncanakan dengan peta gempa 2017 dan peta gempa 2012 ” yang diselesaikan selama kurang lebih 6 bulan. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil kekhususan Struktur pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Secara khusus dengan rasa hormat dan penghargaan yang setinggi-tingginya saya ucapkan terimakasih kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta, yang telah mengasuh dan mendidik dengan curahan kasih sayang serta mendoakan dengan rasa tulus untuk anakmu ini, dan saya ucapkan terima kasih kepada adi-adik saya yaitu Julfansyah Sidabutar, Butar F Sidabutar, Nurhalis Sidabutar, Dan Hairunnisa Sidabutar yang telah memberikan bantuan moril dan materil untuk perkuliahan hingga selesai dalam proses perkuliahan ini. Dan juga tak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada seluruh keluarga yang telah mendoakan dan mendukung dalam setiap langkah perkuliahan hingga sampai selesai sekarang ini.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr.Ade Faisal, S.T.,M.Sc selaku dosen pembimbing-I yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam

penyusunan Tugas Akhir ini, dan sebagai Wakil Dekan I Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

2. Bapak Dr. Josef Hadipratama selaku dosen Pembimbing-II yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Munawar Alfansuri ST.MT selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T.,M.Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil.
5. Ibu Irma Dewi, S.T.,M.Si selaku sekretaris Program Studi Teknik Sipil.
6. Seluruh Dosen dan Staf Departemen yang banyak membantu yang banyak membantu selama \pm 4 tahun di Departemen Teknik Sipil.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil yang telah memberikan bantuan, saran serta dorongan dalam mengerjakan laporan tugas akhir ini.

Saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Saya sangat menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu saya sangat berharap adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi saya khususnya dan masyarakat Indonesia pada umumnya.

Medan, September 2018

Penulis

Ahmad Ramadan Sidabutar

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI | iii |
| ABSTRAK | iv |
| <i>ABSTRAC</i> | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xvi |
| DAFTAR NOTASI | xix |
| DAFTAR SINGKATAN | xxiv |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar belakang masalah | 1 |
| 1.2 Rumusan masalah | 2 |
| 1.3 Ruang lingkup penelitian | 3 |
| 1.4 Tujuan penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat penelitian | 4 |
| 1.6 Sistematika penulisan | 4 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Umum | 5 |
| 2.2 Beton bertulang | 5 |
| 2.3 Konfigurasi bangunan | 6 |
| 2.3.1 Bangunan Beraturan (<i>Regular Building</i>) | 7 |
| 2.3.2 Bangunan Tidak Beraturan (<i>Irregular Building</i>) | 9 |
| 2.4 Sistem struktur | 9 |
| 2.4.1 Struktur portal | 10 |
| 2.4.2 Kombinasi portal dengan dinding | 11 |
| 2.5 Sistem struktur bangunan tinggi | 15 |
| 2.5.1 Sistem penahan gaya gravitasi | 15 |
| 2.5.2 Sistem penahan gaya lateral | 17 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.5.2.1 | Dinding geser | 19 |
| 2.5.2.2 | Elemen struktur dinding geser | 20 |
| 2.5.2.3 | Fungsi dinding geser | 20 |
| | 2.5.2.3.1 Cara kerja dinding geser | 21 |
| | 2.5.2.3.2 Bentuk geometrid dan penempatan dinding geser | 21 |
| | 2.5.2.3.3 Persyaratan dinding geser | 25 |
| 2.6 | Teori gempa | 30 |
| | 2.6.1 Mekanisme gempa bumi | 31 |
| 2.7 | Gempa rencana | 32 |
| | 2.7.1 Arah pembebanan gempa | 32 |
| | 2.7.2 Wilayah gempa | 33 |
| | 2.7.3. Konsep perencanaan struktur tahan gempa | 34 |
| 2.8 | Kriteria design perencanaan struktur gedung tahan gempa | 35 |
| | 2.8.1 Faktor keutamaan gedung (I_e) dan kategori resiko gedung | 37 |
| | 2.8.2 Klasifikasi situs tanah untuk untuk design seismic | 40 |
| | 2.8.3 Parameter respon spectra percepatan gempa | 42 |
| | 2.8.4 Kategori design seismic | 45 |
| | 2.8.4.1 Kategori Desain Seismik A | 45 |
| | 2.8.4.2 Kategori Desain Seismik B | 45 |
| | 2.8.4.3 Kategori Desain Seismik C | 45 |
| | 2.8.4.4 Kategori Desain Seismik D sampai F | 46 |
| | 2.8.5. Faktor reduksi gempa (R) | 47 |
| | 2.8.6 Gaya geser dasar seismik | 48 |
| | 2.8.7 Perioda fundamental | 49 |
| | 2.8.8 Parameter respon terkombinasi | 51 |
| 2.9 | Design kriteria struktur utama | 52 |
| | 2.9.1 Kekuatan (<i>stregth</i>) | 52 |
| | 2.9.2 Kekakuan (<i>stiffness</i>) | 52 |
| | 2.9.2.1 Simpangan antar lantai | 54 |
| | 2.9.3 Kontinuitas Struktur Gedung | 55 |

| | |
|--|----|
| BAB 3. METODOLOGI | 57 |
| 3.1 Umum | 57 |
| 3.2 Desain spektra gempa | 58 |
| 3.2.1 Desain respon spektrum dengan peta gempa 2017 | 58 |
| 3.2.1 Desain respon spektrum dengan peta gempa 2012 | 62 |
| 3.3 Pemodelan dan analisa struktur | 66 |
| 3.3.1 Pemodelan struktur | 66 |
| 3.3.2 Dimensi balok dan kolom | 67 |
| 3.3.3 Penentuan tebal pelat lantai dan tebal dinding geser | 67 |
| 3.4 faktor keutamaan struktur | 70 |
| 3.5 faktor reduksi gempa | 70 |
| 3.6 analisa struktur | 71 |
| 3.6.1 analisa dinamik struktur linier | 71 |
| 3.6.2 pembebanan | 71 |
| 3.6.3 kombinasi pembebanan | 72 |
| | |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | 73 |
| 4.1 Tinjauan umum | 73 |
| 4.2 Hasil analisa dengan peta gempa 2017 | 73 |
| 4.2.1 Analisa respon spektrum ragam | 73 |
| 4.2.2 Berat struktur | 75 |
| 4.2.3 Gaya geser dasar nominal | 75 |
| 4.2.4 Koreksi faktor redudansi | 77 |
| 4.2.5 Gaya geser lantai | 78 |
| 4.2.6 Simpangan antar lantai | 79 |
| 4.2.7 Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (soft story) | 80 |
| 4.3 Hasil analisa dengan peta gempa 2012 | 81 |
| 4.3.1 Analisa respon spektrum ragam | 81 |
| 4.3.2 Berat struktur | 83 |
| 4.3.3 koreksi gempa dasar nominal | 83 |
| 4.3.4 Koreksi faktor redudansi | 85 |
| 4.3.5 Gaya geser lantai | 86 |

| | | |
|------------------------------------|--|----|
| 4.3.6 | Simpangan antar lantai | 86 |
| 4.3.7 | Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (soft story) | 87 |
| 4.3.8 | Perbandingan simpangan antar lantai untuk peta gempa 2017 dan peta gempa 2012 | 88 |
| BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN | | 90 |
| 5.1 | Kesimpulan | 90 |
| 5.2 | Saran | 90 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 90 |
| LAMPIRAN | | |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|---|----|
| Tabel 2.1 | Ketidak beraturan horizontal pada struktur berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 | 35 |
| Tabel 2.2 | ketidakberaturan vertikal pada struktur berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 | 36 |
| Tabel 2.3 | Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 | 38 |
| Tabel 2.4 | Faktor keutamaan (I_e), berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 | 40 |
| Tabel 2.5 | Klasifikasi situs didasarkan atas korelasi penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 | 41 |
| Tabel 2.6 | koefisien periode pendek F_a , berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 | 42 |
| Tabel 2.7 | koefisien periode 1,0 detik berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 | 43 |
| Tabel 2.8 | katagori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 | 46 |
| Tabel 2.9 | Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik berdasarkan SNI 1726-2012 | 47 |
| Tabel 2.10 | Faktor koefisien modifikasi respons, faktor kuat lebih sistem, faktor pembesaran defleksi, dan batasan tinggi sistem struktur berdasarkan SNI 1726-2012 | 47 |
| Tabel 2.11 | Nilai parameter periode pendekatan C_r , dan α berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 | 50 |
| Tabel 2.12 | Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung berdasarkan SNI 1726-2012 | 50 |
| Tabel 2.13 | Simpangan antar lantai izin berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 | 55 |
| Tabel 3.1 | Respon Spektrum SNI 1726-2017 daerah kota padang dengan jenis tanah sedang. | 60 |

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 3.2 | Respon Spektrum SNI 1726-2017 daerah kota padang dengan jenis tanah sedang. | 64 |
| Tabel 3.3 | Faktor reduksi gempa pada gedung, pada zona gempa tanah sedang berdasarkan SNI 1726-2012 . | 70 |
| Tabel 3.4 | Berat material struktur gedung | 71 |
| Tabel 3.5 | Beban hidup pada lantai struktur | 71 |
| Tabel 3.6 | Kombinasi pembebanan | 72 |
| Tabel 4. | Data perioda hasil program analisa struktur | 73 |
| Tabel 4.2 | Hasil selisih persentase nilai perioda | 74 |
| Tabel 4.3 | Massa struktur, pusat massa. | 75 |
| Tabel 4.4 | Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekivalen. | 76 |
| Tabel 4.5 | Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum. | 77 |
| Tabel 4.6 | Perbandingan gaya geser dasar statik dan dinamik serta faktor skala. | 77 |
| Tabel 4.7 | Perbandingan gaya geser dasar statik dan dinamik serta faktor skala. | 77 |
| Tabel 4.8 | Koreksi <i>story shear</i> dengan 35% <i>base shear</i> reduksi | 78 |
| Tabel 4.9 | Nilai gaya geser pada setiap lantai yang telah diskalakan. | 78 |
| Tabel 4.10 | Nilai simpangan antar lantai maksimum (gempa x & y). | 80 |
| Tabel 4.11 | Nilai simpangan antar lantai maksimum yang telah diskalakan (gempa x & y). | 80 |
| Tabel 4.12 | ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada gempa arah x dan y | 81 |
| Tabel 4.13 | kontrol P-Delta arah x | 81 |
| Tabel 4.14 | kontrol P-Delta arah y | 81 |
| Tabel 4.15 | Data perioda hasil program analisa struktur. | 82 |
| Tabel 4.16 | Hasil selisih persentase nilai perioda . | 82 |
| Tabel 4.17 | Massa struktur, pusat massa | 83 |
| Tabel 4.18 | Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekivalen. | 84 |
| Tabel 4.19 | Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum | 84 |
| Tabel 4.20 | Perbandingan gaya geser dasar statik dan dinamik serta Faktor skala | 85 |

| | |
|--|----|
| Tabel 4.22 Perbandingan gaya geser dasar statik dan dinamik serta Faktor skala | 85 |
| Tabel 4.22 Nilai gaya geser pada setiap lantai | 86 |
| Tabel 4.23 Nilai simpangan antar lantai maximum | 86 |
| Tabel 4.24 Nilai simpangan antar tingkat dikalikan dengan faktor skala | 86 |
| Tabel 4.25 Nilai kekakuan antar tingkat arah x | 87 |
| Tabel 4.26 Nilai kekakuan antar tingkat arah x | 87 |
| Tabel 4.27 Kontrol pengaruh P-Delta arah x | 88 |
| Tabel 4.28 Kontrol pengaruh P-Delta arah y | 88 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Bangunan <i>set back</i> vertikal. | 6 |
| Gambar 2.2 | Denah bangunan sederhana dan simetri | 8 |
| Gambar 2.3 | Bangunan tidak beraturan | 9 |
| Gambar 2.4 | Prilaku portal yang terkekang | 11 |
| Gambar 2.5 | Kombinasi portal dengan dinding | 12 |
| Gambar 2.6 | Jenis pelat penahan gaya gravitasi | 16 |
| Gambar 2.7 | Sistem struktur penahan gaya lateral | 18 |
| Gambar 2.8 | Gaya-gaya yang bekerja pada dinding geser. | 19 |
| Gambar 2.9 | Geometri penempatan dinding geser. | 22 |
| Gambar 2.10 | Pola keruntuhan dinding geser | 25 |
| Gambar 2.11 | Bagian-bagian dinding geser | 29 |
| Gambar 2.12 | Penulangan dinding geser | 30 |
| Gambar 2.13 | Jenis-jenis pertemuan dua lempeng tektonik. | 31 |
| Gambar 2.14 | Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar s_b untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%). | 33 |
| Gambar 2.15 | Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar s_b untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%). | 34 |
| Gambar 2.16 | Bentuk tipikal respon spektra desain di permukaan tanah (SNI Gempa: 1726-2012). | 44 |
| Gambar 2.17 | Simpangan antar tingkat | 53 |
| Gambar 2.18 | Kontinuitas struktur bangunan | 55 |
| Gambar 2.19 | Dimensi balok dan kolom | 56 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir. | 57 |
| Gambar 3.2 | Respon spektrum SNI 1726-2012 daerah kota padang dengan jenis tanah sedang. | 65 |
| Gambar 3.3 | Denah struktur bangunan Lantai 1-4. | 66 |
| Gambar 3.4 | Denah struktur bangunan Lantai 4-7 | 67 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3.5 Tampak samping portal struktur bangunan. | 67 |
| Gambar 3.6 Bentuk tipikal struktur 3 dimensi | 68 |
| Gambar 4.1 perbandingan simpangan antar tingkay arah x | 88 |
| Gambar 4.2 perbandingan simpangan antar tingkay arah y | 89 |
| Gambar 4.3 Diagram perpindahan simpangan arah x akibat dari peta gempa 2017 dan 2012 | 89 |
| Gambar 4.4 Diagram perpindahan simpangan arah x akibat dari peta gempa 2017 dan 2012 | 90 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|-----------|---|
| C_d | Faktor amplikasi defleksi |
| C_s | Koefisien respon gempa, g |
| c | Jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral, yang dihitung untuk beban |
| d | Tinggi efektif komponen struktur, mm |
| e | Eksentrisitas, mm |
| F_a | Koefisien situs perioda pendek (pada perioda 0,2 detik) |
| F_i | Beban gempa nominal statik ekivalen yang menangkap pada pusat massa pada taraf lantai tingkat ke- i struktur atas gedung, kg |
| F_n | Pembebanan gempa statik untuk lantai paling atas, kg |
| F_{PGA} | Faktor amplikasi untuk PGA |
| F_v | Koefisien situs perioda panjang (pada perioda 1 detik) |
| f'_c | Kuat tekan beton, MPa |
| f_y | Kuat leleh tulangan, MPa |
| f_{yh} | Kuat leleh tulangan transversal, MPa |
| g | Percepatan gravitasi, mm/det ² |
| H | Tinggi gedung yang ditinjau, m |
| h | Tinggi komponen struktur, mm |
| h_c | Dimensi penampang inti kolom diukur dari sumbu ke sumbu tulangan pengekang, mm |
| h_i | Tinggi tingkat yang ditinjau, m |
| h_{sx} | Tinggi tingkat yang bersangkutan, m |
| h_w | Tinggi dinding keseluruhan atau segmen yang ditinjau, m |
| h_x | Spasi horizontal maksimum untuk kaki-kaki sengkang tertutup atau sengkang ikat pada semua muka kolom, mm |
| I | Faktor Keutamaan gedung, faktor pengali dari pengaruh Gempa Rencana pada berbagai kategori gedung, untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas dilampauinya pengaruh tersebut selama umur gedung itu dan menyesuaikan umur gedung itu |
| I_e | Faktor Keutamaan |
| k | Nilai eksponen distribusi |
| PGA | Percepatan muka tanah puncak MCE_G terpetta, g |
| PGA_M | Nilai percepatan puncak di permukaan tanah berdasarkan klasifikasi <i>site</i> |

| | |
|--------------------|---|
| P_u | Gaya aksial yang bekerja pada dinding geser, kN |
| R | Faktor reduksi gempa, Koefisien modifikasi respon |
| S_1 | Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda 1 detik, redaman 5 persen |
| S_a | Faktor respon gempa |
| S_B | Batuan dasar |
| S_{D1} | Parameter percepatan respons spektral spesifik situs pada perioda 1 detik, redaman 5 persen |
| S_{DS} | Parameter percepatan respons spektral spesifik situs pada perioda pendek, redaman 5 persen |
| S_{M1} | Parameter percepatan respon spektral MCE pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs |
| S_{MS} | Parameter percepatan respon spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs |
| S_{PGA} | Nilai PGA di batuan dasar (S_B) mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2012 |
| S_S | Parameter percepatan respon spectral MCE dari peta gempa pada perioda pendek, redaman 5 persen |
| s | spasi tulangan transversal diukur sepanjang sumbu longitudinal komponen struktur, mm |
| s_o | Spasi maksimum tulangan sengkang yang dipasang sepanjang l_o dari muka hubungan balok-kolom, mm |
| s_x | Spasi longitudinal tulangan transversal dalam rentang l_o , mm |
| T | Waktu getar alami struktur gedung dinyatakan dalam detik yang menentukan besarnya Faktor Respons Gempa struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana, detik |
| T_0 | $0,2 S_{D1}/S_{DS}$, detik |
| T_1 | Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan maupun tidak beraturan, detik |
| T_{1R} | Waktu getar alami yang diperoleh dari rumus Rayleigh, detik |
| $T_{a_{maksimum}}$ | Nilai maksimum perioda bangunan, detik |

DAFTAR SINGKATAN

| | |
|-------|---|
| PGA | <i>Peak Ground Acceleration</i> |
| SRPMM | Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah |
| SNI | Standar Nasional Indonesia |
| PPIUG | Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung |
| SRPMB | Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa |
| SRPMK | Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus |
| CQC | <i>Complete Quadratic Combination</i> |
| SRSS | <i>Square Root of the Sum of Squares</i> |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Ilmu pengetahuan dan penerapan teknologi dalam bidang pembangunan konstruksi teknik sipil mengalami perkembangan yang pesat, membuat kita dituntut untuk lebih produktif, kreatif dan inovatif, terutama dalam hal perancangan struktur. perancangan struktur di buat sebaik mungkin, sehingga menghasilkan suatu struktur yang stabil, cukup kuat, mampu layan, awet dan bahkan kemudahan dalam pelaksanaa. namun, yang perlu kita cermati dilihat dari geografinya, indonesia merupakan salah satu negara dengan aktivitas gempa yang tinggi. hal ini disebabkan lokasi indonesia yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik utama yaitu lempeng eurasia, indo-australia, pasifik, dan filipina. Pertemuan lempeng-lempeng tersebut mengakibatkan mekanisme tektonik dan kondisi geologi indonesia mengakibatkan seringnya terjadi gempa. (Budiono, 2011).

Pada tahun 2009 di kota Padang terjadi gempa bumi dengan kekuatan 7,9 skala rickter dengan korban jiwa 1.117 orang dan 135.448 rumah rusak berat, 65.380 rumah rusak sedang, dan 78.604 rumah rusak ringan, kota Padang termasuk zona gempa yang berbahaya sehingga penulis meninjau wilayah gempa Padang. Bangunan terdiri dari 2 kategori yaitu: bangunan beraturan dan bangunan tidak beraturan, Bangunan beraturan lebih disukai untuk perencanaan dari pada bangunan tidak beraturan namun tidak sedikit yang memilih bangunan yang tidak beraturan seperti yang sering kita perhatikan bangunan dengan tonjolan/loncatan atau dengan nama *set-back*. . Bangunan dengan *set-back* juga memiliki beberapa kelebihan dan kekurang-an, kelebihan dari bangunan ini adalah memiliki massa (lantai atas) yang relative lebih kecil dibandingkan dengan lantai dibawahnya, sehingga letak titik beratnya berada dibagian bawah bangunan sehingga menyebabkan bangunan menjadi lebih stabil. Bangunan ini juga memiliki beberapa kekurangan yaitu perubahan yang mendadak pada elevasi bangunan dapat menimbulkan konsentrasi aksi struktural dilantai tempat terjadinya perubahan ukuran denah. Besarnya aksi bangunan akan terus bertambah selama

bertambahnya respon dinamik pada bangunan tersebut. Untuk mengatasi kerusakan tersebut beberapa elemen dari sebuah struktur harus didesain sedemikian rupa sehingga mampu menahan gaya-gaya lateral (beban gempa) yang terjadi. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan antara lain :

- a. Pemasangan dinding geser (Shearwall) pada struktur.
- b. Perbesaran dimensi kolom dan balok.
- c. Penambahan pengakuan lateral (bracing) pada elemen struktur portal.

Salah satu solusi yang digunakan untuk meningkatkan kinerja struktur bangunan tingkat tinggi pada penelitian kali ini adalah dengan pemasangan dinding geser (Shearwall). Dinding geser adalah slab beton bertulang yang dipasang dalam posisi vertikal pada sisi gedung tertentu yang berfungsi menambah kekakuan struktur dan menyerap gaya geser yang besar seiring dengan semakin tingginya struktur. Fungsi dinding geser dalam suatu struktur bertingkat juga penting untuk menopang lantai pada struktur dan memastikannya tidak runtuh ketika terjadi gaya lateral akibat gempa.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Berapakah nilai gaya geser dari masing-masing peta gempa 2017 dan 2012?
2. Berapakah nilai simpangan pada struktur yang didapat dari model dinding geser pada gedung *setback* pada saat dianalisis dengan menggunakan peta gempa 2017 dan peta gempa 2012 ?

1.3 TUJUAN PENELITIAN.

Dari tugas akhir ini penulis ingin mendapatkan beberapa tujuan akhir, diantaranya:

1. Membandingkan penggunaan peta gempa 2017 dengan peta gempa 2012 terhadap posisi pemasangan *dinding geser* tersebut pada bangunan *set-back*.
2. Menunjukkan simpangan antar tingkat dari masing masing model yang menggunakan dinding geser.

1.4 BATASAN MASALAH

Untuk menghindari timbulnya penyimpangan permasalahan yang semakin meluas dalam Tugas Akhir ini, maka diperlukan ruang lingkup/pembatasan masalah yang diantaranya sebagai berikut:

1. Gedung yang direncanakan adalah bangunan *setback*, struktur beton bertulang 7 lantai yang difungsikan sebagai perkantoran yang terdapat di daerah Padang, dengan jenis tanah sedang.
2. Penelitian tidak memperhitungkan struktur bawah dan beban tangga.
3. Analisis struktur gedung terhadap beban gempa menggunakan metode *respon spectrum*, dengan menggunakan peta gempa 2017 dan peta gempa 2012.
4. Struktur gedung yang dianalisis merupakan struktur beton bertulang serta peraturan-peraturan yang digunakan dalam analisis adalah:
 - SNI 1726:2012. Standar Perencanaan Tahan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung
 - SNI 2847:2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
 - SNI 1727:2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain.
5. Perhitungan dan analisis struktur dilakukan dengan bantuan program analisis struktur ETABS v.16.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

1. Mahasiswa dapat mengetahui perbandingan perioda dari penggunaan peta gempa 2017 dan peta gempa 2012.
2. Mahasiswa dapat mengetahui simpangan antar tingkat dari masing masing model yang menggunakan dinding geser

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang permasalahan, identifikasi dan rumusan permasalahan, ruang lingkup pembahasan, tujuan dilakukannya penelitian dan manfaat penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori tentang jembatan, metode analisa yang akan digunakan serta ketentuan dalam desain yang harus dipenuhi sesuai syarat.

BAB 3 METODE PENELITIAN DAN PEMODELAN

Bab ini menjelaskan rencana atau prosedur yang dilakukan penulis memperoleh jawaban yang sesuai dengan kasus permasalahan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil pembahasan analisis desain dan kinerja struktur.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan sesuai dengan analisis terhadap studi literatur dan berisi saran untuk pengembangan lebih lanjut yang baik di masa yang akan datang.

BAB 2

STUDI PUSTAKA

2.1. Umum

Pada Bab ini akan dibahas mengenai teori-teori dasar dan syarat-syarat/ketentuan yang berhubungan dalam perencanaan struktur bangunan yang akan dianalisa, seperti konfigurasi bangunan, teori gempa, tata cara perencanaan bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2013 untuk Pers.yratan beton struktur bertulang pada gedung, dan teori-teori terkait lainnya yang berhubungan dengan perhitungan atau analisa data yang diperlukan dalam Tugas Akhir ini.

2.2. Beton Bertulang

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu *massa* mirip batuan. Terkadang, satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas dan waktu pengerasan (Mc Cormac, 2004).

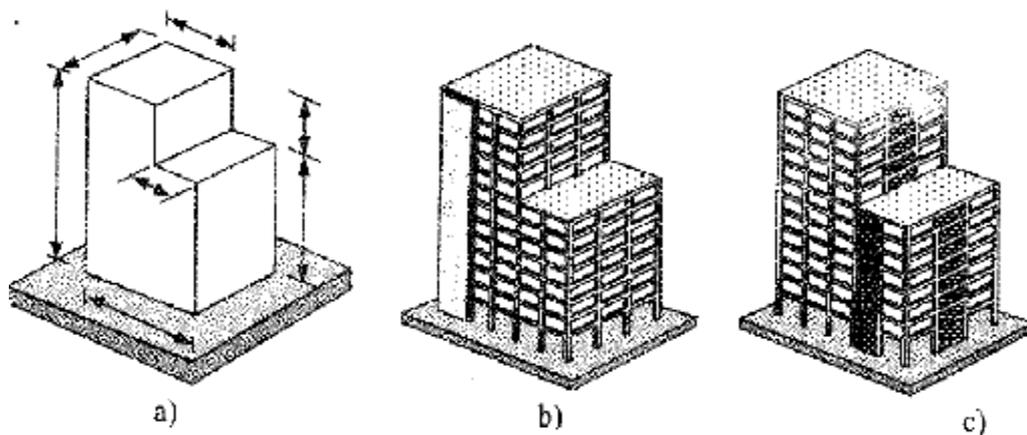
Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung (Dipohusodo, 1999).

Beton bertulang adalah merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan beton polos yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi kekuatan tarik yang rendah dan batang-batang baja yang ditanamkan didalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan (Wang, 1993). Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan

memberinya perkuatan penulangan yang terutama akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang bakal timbul didalam sistem.

2.3. Konfigurasi Bangunan

Konfigurasi bangunan pada hakekatnya adalah sesuatu yang berhubungan dengan bentuk, ukuran, macam dan penempatan struktur utama bangunan, serta macam dan penempatan bagian pengisi atau nonstruktural *element*, sebagaimana tampak pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Bangunan *setback* vertikal.

Bangunan tidak beraturan dengan *vertical setback* merupakan pilihan yang atraktif bagi arsitek karena memiliki nilai estetika yang lebih dibandingkan bangunan beraturan. Selain kelebihan tersebut, bangunan dengan *vertical setback* juga memiliki permasalahan tersendiri yaitu timbulnya konsentrasi tegangan pada lantai di mana terdapat loncatan bidang muka/tonjolan. Hal ini terjadi akibat adanya perbedaan kekakuan dan massa pada bangunan atas dan bawah.

Ketika terjadi gempa, bangunan tanpa *vertical setback* menghasilkan perpindahan lantai (Δ) sepanjang tingkat yang proporsional terhadap tinggi bangunan hal ini terjadi karena kekakuan dan massa dari tiap lantai yang relatif sama. Pada bangunan dengan *vertical setback*, perpindahan lantai pada bangunan bagian atas dan bawah tidaklah sama. Terjadi konsentrasi tegangan sebagai akibat dari *drift* yang besar pada lantai perbatasan tersebut, yang pada akhirnya memicu terjadinya kerusakan yang besar di bagian *vertical set-back*.

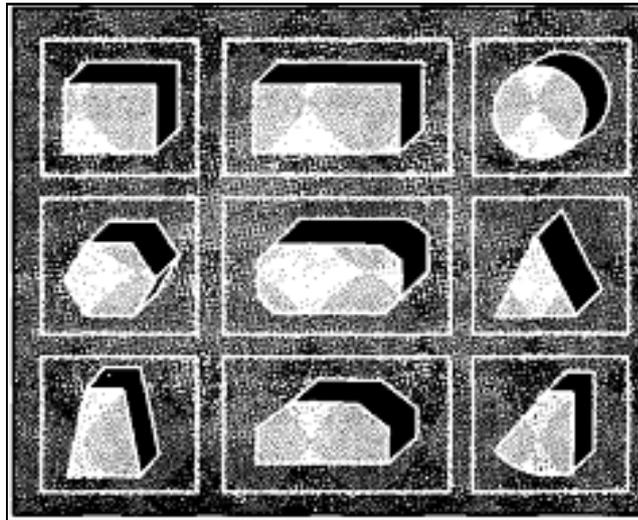
Berdasarkan SNI 1726-2013 pasal 4.2.1 bangunan dengan *vertical set-back* dikategorikan bangunan tidak beraturan jika ukurannya kurang dari 75% ukuran terbesar denah struktur bagian bawahnya. Karena termasuk bangunan tidak beraturan maka pengaruh gempa rencana harus ditentukan menggunakan analisis respons dinamik 3 dimensi, metode analisis ragam spektrum respons.

Secara rinci jenis konfigurasi bangunan yang berhubungan dengan bentuk/bangun, ukuran dan proporsi bangunan terdiri dari:

1. Berdasarkan bangun bangunannya, terdiri dari:
 - Bangunan beraturan (*regular building*)
 - Bangunan tidak beraturan (*irregular building*)
2. Berdasarkan ukuran bangunannya, terdiri dari:
 - Ukuran horizontal
 - Ukuran vertikal
3. Berdasarkan macam struktur utamanya, terdiri dari:
 - Portal/Rangka pemikul momen
 - Portal dengan *bracing*
 - Kombinasi portal dengan *structural wall*
 - *Structural walls*
 - *Tube building*
4. Berdasarkan bahan/material, terdiri dari
 - Bangunan beton bertulang
 - Bangunan baja

2.3.1. Bangunan Beraturan (*Regular Building*)

Menurut Pawirodikromo (2012), bangunan beraturan adalah bangunan yang umumnya hanya mempunyai satu massa/gatra dengan denah bangunan sederhana dan simetri baik simetri 1-arah maupun 2-arah. Simetri adalah apabila bagian-bagian gatra/blok yang berada di kiri dan kanan atau di atas dan di bawah sumbu-sumbu koordinat mempunyai bangunan, ukuran dan proporsi yang sama. Contoh bangunan beraturan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2: Denah bangunan sederhana dan simetri (Pawirodikromo, 2012).

Menurut kajian yang telah dilakukan sejak lama oleh para ahli menunjukkan bahwa konfigurasi yang simetri dan sederhana ternyata mempunyai perilaku/ketahanan yang lebih baik terhadap beban gempa.

Terdapat beberapa alasan mengapa perilaku bangunan *regular*/sederhana lebih baik daripada bangunan kompleks, antara lain sebagai berikut:

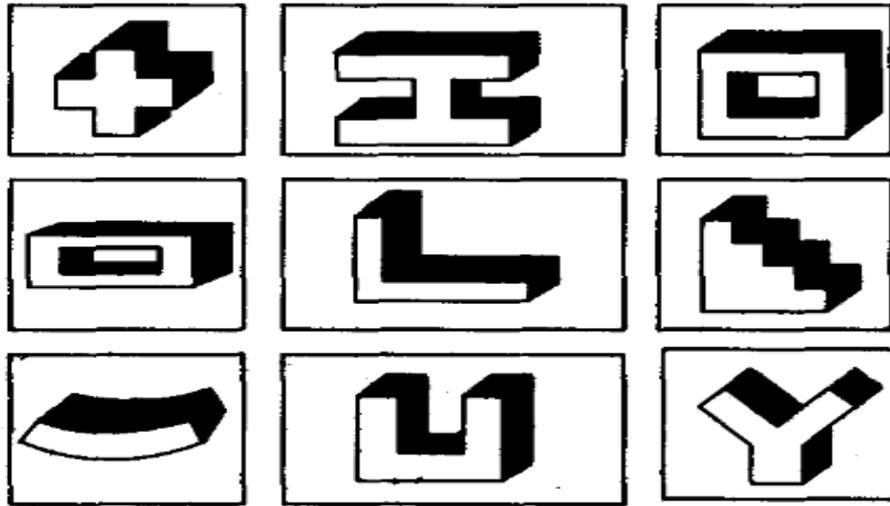
1. Jenis struktur utama cenderung sama/*regular*.
2. Jarak antar struktur utama cenderung sama/*regular*.
3. Kekakuan struktur cenderung terdistribusi secara merata.
4. Massa cenderung terdistribusi secara merata.
5. Respons struktur cenderung *regular*, karena tidak ada torsi.
6. Secara keseluruhan perilaku struktur cenderung sederhana, *regular* dan mudah untuk dimengerti.

2.3.1 Bangunan Tidak Beraturan (*Irregular Building*)

Bangunan tidak beraturan adalah bangunan yang umumnya mempunyai lebih dari 1-massa/gatra/blok dengan denah tidak sederhana walaupun masih simetri baik simetri 2-arah maupun 1-arah (Pawirodikromo, 2012).

Walaupun denah bangunan sederhana dan simetri telah diketahui mempunyai perilaku yang baik akibat beban gempa, tetapi pada kenyataannya masih banyak bangunan tidak *regular* yang tetap dibangun. Hal ini terjadi karena beberapa alasan misalnya karena tempat (misalnya dipojok jalan), alasan arsitektural, ataupun karena alasan yang belum dimengerti. Bangunan-bangunan yang kompleks

misalnya bangunan yang mempunyai denah huruf L, T, I, Z, H ataupun kombinasi dari diantaranya, berhubungan satu sama lain tanpa ada pemisah. Contoh bangunan tidak beraturan adalah seperti yang tampak pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3: Bangunan tidak beraturan (Pawirodikromo, 2012).

2.4. Sistem Struktur

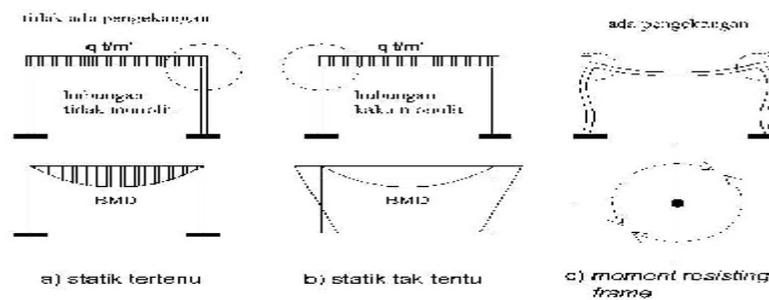
Sistem struktur utama bangunan adalah suatu portal rangka pokok dari bangunan itu sendiri. Sebagai kerangka pokok, maka struktur bangunan mempunyai fungsi utama meneruskan beban baik beban gravitasi maupun beban sementara ke sistem pendukung akhir yaitu tanah dasar. Struktur bangunan, baik beton, baja, maupun kayu sangat baik dalam menahan beban gravitasi, namun perlu di desain secara khusus kalau harus menahan beban yang arahnya horizontal. Beban horizontal yang dimaksud dapat diakibatkan oleh beban angin maupun beban gempa. Dibeberapa tempat terutama pada daerah gempa yang aktifitasnya tinggi, beban horizontal itu justru menentukan pada proses desain. Pada kondisi seperti itu struktur utama bangunan lebih banyak dimaksudkan untuk menahan beban horizontal dari pada hanya menahan beban gravitasi. Oleh karena itu struktur utama bangunan kadang-kadang juga disebut sistem struktur penahan beban horizontal atau *lateral load resisting system*.

Untuk bangunan-bangunan yang tinggi sudah banyak menggunakan sistem tabung/tube. Sebagaimana diketahui bahwa system struktur ini ingin meniru perilaku tabung yang sangat kuat terhadap puntir dan dapat direkayasa untuk kuat

terhadap momen. Ciri-cirinya adalah adanya struktur tepi yang rapat untuk mendekatkan pada sifat kaku seperti pada tabung. Untuk meningkatkan kekakuan dan kemampuannya terhadap momen, maka struktur tabung besar terdiri atas tabung-tabung penyusun kecil (Pawirodikromo, 2012).

2.4.1. Struktur Portal

Menurut (Pawirodikromo, 2012), struktur portal merupakan hubungan antara balok dan kolom saling sambung menyambung sedemikian rupa, sehingga membuat bangunan *grid-grid* atau membentuk suatu portal bertingkat. Suatu hal yang sangat penting yang harus diperhatikan pada struktur portal adalah titik kumpul atau titik *joint* yaitu sambungan antar balok-balok dan kolom-kolom harus kaku monolit, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.4 (b). Sebagaimana asumsi yang umum dipakai didalam elastik maupun inelastik analisis struktur bahwa titik *joint* tersebut dapat saja berotasi tetapi antara balok dan kolom tetap siku-siku. Hal ini mengandung pengertian bahwa *joint* harus tetap kaku, siku-siku dan tetap elastik artinya tidak boleh terjadi deformasi inelastik. Walaupun *joint* dapat berotasi tetapi karena *joint* sangat kaku maka akan dapat pengekangan atau perlawanan (*constrain*) pada *joint* seperti yang tampak pada Gambar 2.4 (c).



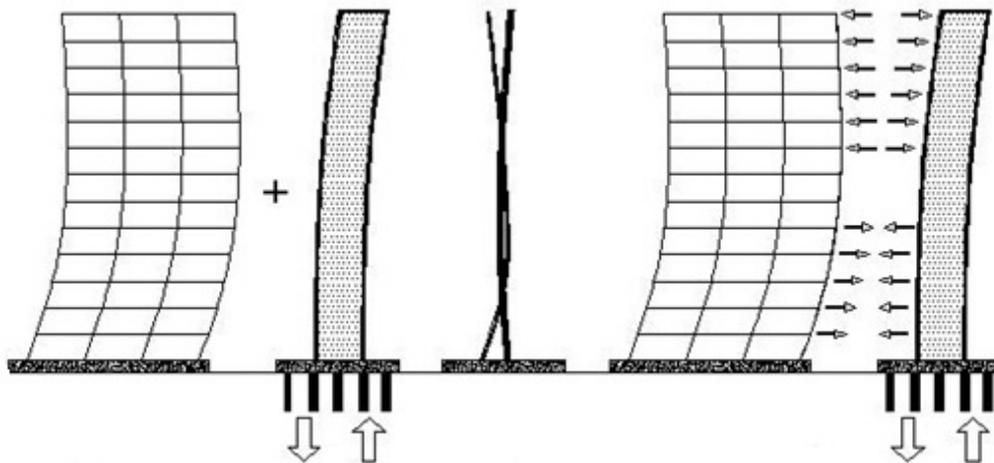
Gambar 2.4: Perilaku portal yang terkekang (Pawirodikromo 2012).

Oleh karena itu frame yang mempunyai joint penahan moment disebut *Momen Resisting Frame* (MRF). Adanya pengekangan adalah sifat-sifat dari struktur statis tak tentu. Dengan asumsi seperti itu maka rotasi *joint* hanya semata-mata karena beban luar atau goyangan akibat beban gempa dan bukan akibat deformasi inelastik pada *joint* itu sendiri. Struktur yang memenuhi dapat memenuhi sifat-

sifat itu (*joint kaku*) utamanya adalah struktur beton bertulang cor di tempat (*case in place*).

2.4.2. Kombinasi Portal Dengan Dinding (*Frame Wall*)

Selain struktur dinding maka kombinasi antara portal-portal dengan struktur dinding sebagai struktur utama bangunan banyak dipakai di banyak negara-negara maju. Gambar di bawah ini akan menampilkan suatu *deflected shape* yang paling umum akibat beban horizontal. Terlihat jelas bahwa simpangan antar tingkat pada tingkat-tingkat bawah cukup besar. Simpangan antar tingkat yang cukup besar selain akan mengakibatkan momen dan rotasi sendi plastis yang besar, juga akan merusak elemen non struktur. Oleh karena itu simpangan antar tingkat harus dibatasi agar kerusakan-kerusakan tersebut dapat dieliminasi.



Gambar 2.5: Kombinasi portal dengan dinding (Pawirodikromo, 2012).

Gambar diatas menunjukkan pola simpangan atau *deflected shape* untuk struktur dinding kantilever tunggal (*planer single wall*). Untuk dinding yang relative langsing umumnya akan berperilaku seperti batang kantilever yaitu berperilaku menurut bending/lentur. Pada bagian bawah hanya terjadi simpangan yang relative kecil, tetapi akan terjadi simpangan yang cukup besar pada bagian atas. Perbandingan pola simpangan antara portal dengan struktur dinding adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Tampak simpangan saling berlawanan, khususnya pada tingkat-tingkat bawah dan atas. Berdasarkan sifat dan

perilakunya maka struktur dinding sebagai struktur utama penahan gaya horizontal akan mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan.

Selanjutnya rasio antara lebar dan tinggi dinding juga perlu mendapatkan perhatian. Apabila rasio tersebut terlalu besar (lebar dinding *relative* kecil) maka struktur dinding kurang memiliki kekakuan yang cukup serta diperlukan baja tulangan yang cukup besar. Untuk memenuhi keseimbangan gaya desak maka luas beton desak yang diperlukan cukup besar. Akibatnya lengan momen antara gaya desak dan gaya tarik menjadi *relative* kecil. Karena lengan momen *relative* kecil maka kadang-kadang keseimbangan momen sulit diperoleh atau sehingga diperlukan kemampuan desak maupun tarik baja yang *relative* besar. Selain menyebabkan tegangan yang cukup besar juga diperlukan baja tulangan yang cukup besar.

Apabila rasio tersebut terlalu kecil (dinding cukup lebar) maka struktur dinding akan berperilaku secara dominan terhadap geser. Karena dinding lebar, maka lengan momen menjadi cukup besar sehingga keseimbangan momen (beban dan kemampuan) *relative* mudah dicapai. Umumnya dibutuhkan gaya desak yang *relative* kecil atau daerah beton desak yang *relative* kecil karena lengan momen cukup besar. Namun demikian akibatnya keseimbangan gaya-gaya desak akan sulit dicapai karena kemampuan desak yang dikerahkan oleh beton desak *relative* kecil.

Dengan mengingat kondisi-kondisi seperti itu maka rasio antara tinggi dan lebar dinding harus didesain sedemikian rupa sehingga keseimbangan momen dan keseimbangan beban aksial desak dapat dicapai *relative* lebih mudah. Pada kondisi seperti itu maka jumlah baja tulangan yang diperlukan juga tidak terlalu banyak. Sebaiknya rasio lebar dan tinggi dinding tidak lebih dari 7. Namun demikian berdasarkan hasil penelitian, menunjukkan bahwa untuk struktur dinding dengan tampang bebentuk seperti barbel (dinding dengan kolom-kolom pada ujungnya) rasio tersebut berkisar antara 8-9.

Beberapa kelebihan struktur dinding adalah sebagai berikut :

1. Struktur dinding pada umumnya mempunyai kekuatan yang cukup besar sehingga dapat menahan beban horizontal yang cukup besar.

2. Struktur dinding umumnya sangat kaku dibanding dengan kolom, sehingga struktur ini memberikan kekakuan tambahan terhadap struktur secara keseluruhan. Kekakuan yang cukup diharapkan dapat mengendalikan simpangan yang terjadi.
3. Kemampuannya dalam melindungi adanya tingkat yang *relative* lemah (*soft story*). *Soft story* yang sering dijumpai misalnya adanya tinggi tingkat yang melebihi tinggi tingkat tipikal. Pada kondisi seperti ini maka kekakuan tingkat menjadi relative kecil.
4. Berdasarkan bentuk *deflected shape* struktur dinding tunggal seperti Gambar 2.5 diatas, maka struktur dinding dapat berfungsi untuk mengeliminasi simpangan antar tingkat khususnya pada simpangan-simpangan bawah sampai tengah. Dengan perkataan lain pengendalian simpangan pada daerah ini akan dilakukan secara efektif oleh struktur dinding. Hal inilah yang menjadi salah satu fungsi utama struktur dinding.

Beberapa kelemahan struktur dinding adalah sebagai berikut:

1. Kehadiran struktur dinding akan memperbesar kekakuan struktur bangunan secara umum. Kekakuan yang besar akan menyebabkan periode getar T menjadi lebih kecil karena,

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\lambda \frac{K}{M}}} \quad (2.1)$$

Dengan k dalam kekakuan, m dalam massa dan λ adalah suatu koefisien. Dengan demikian semakin besar kekakuan struktur k , maka semakin kecil periode getar T . Semakin kecil periode getar T , maka akan semakin besar koefisien gempa dasar C . Semakin besar nilai C berarti semakin besar gaya geser dasar dan semakin besar gaya horizontal gempa yang bekerja pada tiap-tiap tingkat.

2. Adanya struktur dinding juga akan menyebabkan konsentrasi penahanan gaya horizontal akan terletak pada struktur-struktur dinding tersebut. Struktur dinding akan menahan gaya horizontal yang cukup besar. Sebagaimana disebutkan sebelumnya bahwa struktur dinding umumnya mempunyai kekakuan yang sangat besar. Dengan kondisi-kondisi seperti itu maka akan sulit sekali membuat struktur jepit pada dasar pondasi. Rotasi pondasi struktur

dinding sangat dominan dan hampir 8 kali lebih besar dibanding dengan rotasi pondasi kolom. Pondasi struktur dinding yang berotasi akan menyebabkan rotasi sendi plastis kolom dasar semakin besar.

3. Karena struktur dinding umumnya panjang, maka kadang-kadang secara arsitektural akan sedikit mengganggu terhadap penataan ruangan. Untuk itu penempatan struktur harus dibuat sedemikian sehingga dapat mengerahkan kekuatannya baik terhadap lentur puntir serta tidak mengganggu penataan ruangan (Pawirodikromo 2012).

2.5. Sistem Struktur Bangunan Tinggi

Pada dasarnya setiap sistem struktur pada suatu bangunan merupakan penggabungan berbagai elemen struktur secara tiga dimensi yang cukup rumit. Fungsi utama dari sistem struktur terutama untuk memikul secara aman dan efektif beban yang bekerja pada bangunan, serta menyalurkannya ke tanah melalui fondasi. Beban yang bekerja pada bangunan terdiri dari beban vertikal, horizontal, perbedaan temperatur, getaran, dan sebagainya.

Sistem struktur dalam proses perancangannya selalu dihadapi oleh beberapa kendala, diantaranya: Persyaratan arsitektural, sistem mekanikal dan elektrik, metode konstruksi dan aspek ekonomi. Dalam berbagai sistem struktur baik menggunakan bahan beton bertulang, baja maupun komposit, selalu ada komponen sub sistem yang dapat dikelompokkan dalam sistem yang digunakan untuk menahan gaya gravitasi dan sistem untuk menahan gaya lateral.

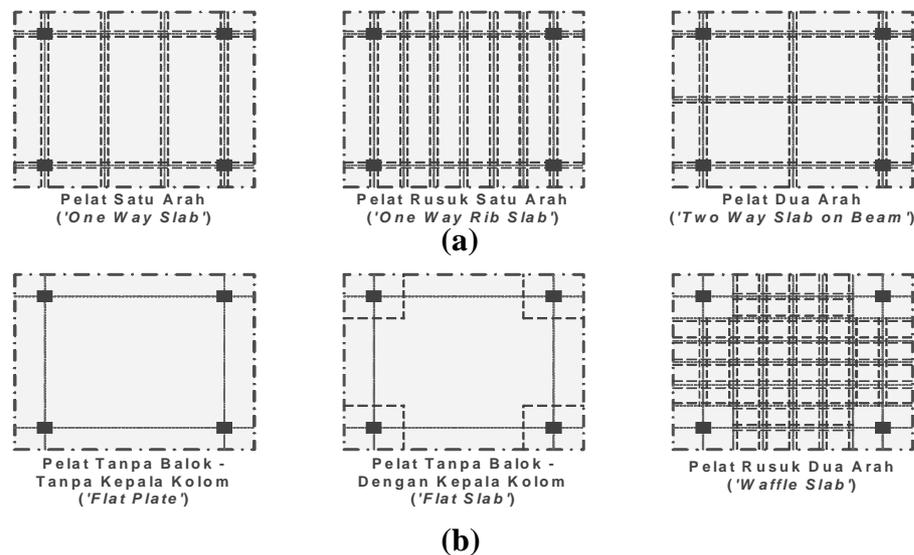
2.5.1. Sistem Penahan Gaya Gravitasi

Beban gravitasi merupakan beban yang berasal dari beban mati struktur dan beban hidup yang besarnya disesuaikan dengan fungsi bangunan. Struktur lantai yang merupakan bagian terbesar dari struktur bangunan, sehingga pemilihannya perlu dipertimbangkan secara seksama, diantaranya:

- a. Pertimbangan terhadap berat sendiri lantai, makin ringan beban lantai makin berkurang dimensi kolom dan fondasi serta makin dimungkinkan menggunakan bentang yang lebih besar.
- b. Kapasitas lantai untuk memikul beban pada saat pekerjaan konstruksi.

- c. Dapat menyediakan tempat/ruang bagi saluran utilitas yang diperlukan.
- d. Memenuhi Pers.yaratan bagi ketahanan terhadap api.
- e. Memungkinkan bagi kesinambungan pekerjaan konstruksi, jika pelaksanaan pembangunannya membutuhkan waktu yang panjang.
- f. Dapat mengurangi penggunaan alat bantu pekerjaan dalam pembuatan pelat lantai (perancah – *steiger*).

Sistem struktur lantai biasanya merupakan kombinasi dari pelat dengan balok induk (*girder*) atau anak balok (*beams*) atau rusuk (*ribs* atau *joists*), yang ketebalannya tergantung pada bentang, beban dan kondisi tumpuannya.



Gambar 2.6: Jenis pelat penahan gaya gravitasi (Marques, 2014).

Gambar 2.6.A: Pelat satu arah (*one way slab*) ditumpu oleh balok anak yang ditempatkan sejajar satu dengan lainnya, dan perhitungan pelat dapat dianggap sebagai balok tipis yang ditumpu oleh banyak tumpuan. Pelat rusuk satu arah (*one way rib/joist slab*) ditumpu oleh rusuk, anak balok yang jarak satu dengan lainnya sangat berdekatan, sehingga secara visual hampir sama dengan pelat satu arah. Pelat yang keempat sisinya ditumpu oleh balok dengan perbandingan, $I_x/I_y \leq 2$ disebut pelat dua arah, sehingga perhitungan pelat perlu dilakukan dengan menggunakan pendekatan dua arah, biasanya dengan menggunakan Tabel tertentu.

Gambar 2.6.B: Pelat dua arah yang tidak ditumpu oleh balok, tetapi langsung oleh kolom. Jenis pertama, pelat lantai ditumpu langsung oleh kolom tanpa penebalan di sekeliling kolom (*drop panel*) dan/atau kepala kolom (*column capita*'), sehingga beban vertikal langsung dipikul oleh kolom dari segala arah (*flat plate*). Sedang jenis kedua, pada puncak kolom terdapat penebalan pelat lantai dan/atau kepala kolom (*flat slab*), sehingga dapat memikul gaya geser atau momen lentur yang lebih besar.

Pelat wafel (*waffle slab*) adalah pelat dua arah yang ditumpu oleh rusuk dua arah. Pelat ini memberikan kekakuan yang cukup besar, sehingga dapat memikul beban vertikal atau dapat digunakan untuk bentang lantai yang besar (Marcelo Marques, 2014).

2.5.2. Sistem Penahan Gaya Lateral

Hal yang penting pada struktur bangunan tinggi adalah stabilitas dan kemampuannya untuk menahan gaya lateral, baik yang disebabkan oleh angin atau gempa bumi. Beban angin lebih terkait pada dimensi ketinggian bangunan, sedang beban gempa lebih terkait pada massa bangunan.

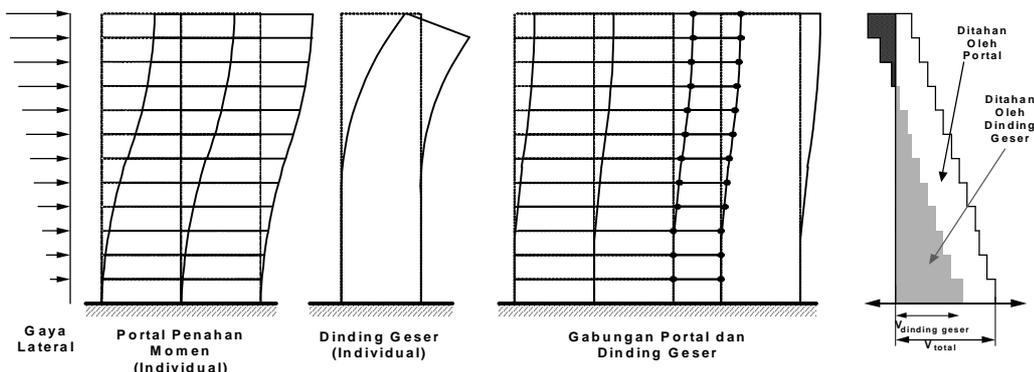
Kolom pada bangunan tinggi perlu diperkokoh dengan sistem pangaku untuk dapat menahan gaya lateral, agar deformasi yang terjadi akibat gaya horizontal tidak melampaui ketentuan yang disyaratkan (*P- Δ Effect*). Pengaku gaya lateral yang lazim digunakan adalah portal penahan momen, dinding geser atau rangka pengaku. Portal penahan momen terdiri dari komponen (sub-sistem) horizontal berupa balok dan komponen (sub-sistem) vertikal berupa kolom yang dihubungkan secara kaku (*rigid joints*). Kekakuan portal tergantung pada dimensi balok dan kolom, serta proporsional terhadap jarak lantai ke lantai dan jarak kolom ke kolom.

Rangka pengaku (*braced frame*) terdiri dari balok dan kolom yang ditambahkan pengaku diagonal. Adanya pengaku diagonal ini akan berpengaruh pada fleksibilitas perpanjangan/perpendekan lantai di mana pengaku tersebut ditempatkan. Rangka pengaku banyak digunakan pada bangunan tinggi yang menggunakan struktur baja. Jenis rangka pengaku yang sering digunakan,

diantaranya adalah pengaku diagonal tunggal/ganda, pengaku K (horizontal/vertikal), atau rangka pengaku eksentris.

Sedangkan dinding geser (*shearwall*) didefinisikan sebagai komponen struktur vertikal yang relatif sangat kaku. Dinding geser pada umumnya hanya boleh mempunyai bukaan sedikit (sekitar 5%) agar tidak mengurangi kekakuannya. Fungsi dinding geser berubah menjadi dinding penahan beban (*bearing wall*), jika dinding geser menerima beban tegak lurus dinding geser.

Pada bangunan tinggi sering digunakan gabungan antara portal penahan momen dengan dinding geser, terutama pada bangunan tinggi yang dibangun di daerah yang terkena pengaruh gempa bumi. Penggabungan antara portal dan dinding geser, terutama bagi bangunan tinggi dengan struktur beton. Hal ini dapat memberikan hasil yang baik untuk memperoleh kekenyalan/daktilitas (*ductility*) dan kekakuan sistem struktur.



Gambar 2.7: Sistem struktur penahan gaya lateral (Marques, 2014).

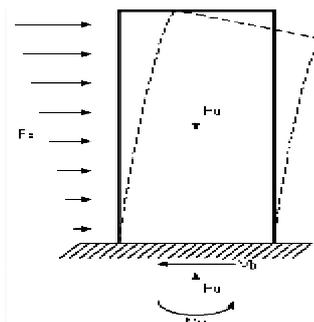
Dinding geser dapat menahan momen dan gaya lateral akibat gempa. Penempatan dinding geser dapat dilakukan pada sisi luar bangunan atau pada pusat bangunan. Dinding geser yang ditempatkan pada bagian dalam bangunan biasa disebut dengan inti struktural (*structural cored*).

2.5.2.1. Dinding Geser (*Shear Wall*)

Dinding geser merupakan dinding yang dirancang untuk menahan gaya geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Dinding geser juga merupakan elemen-elemen vertikal sebagai sistem penahan gaya horizontal. Dinding geser harus diletakkan

pada tiap tingkat struktur tanpa spasi (menerus). Dinding geser lebih efisien apabila bentuknya lurus vertikal dan didukung oleh pondasi dinding. Apabila dinding geser tidak lurus, maka bagian lain gedung akan membutuhkan penambahan kekuatan.

Dinding geser harus memberikan kekuatan lateral yang dibutuhkan untuk menahan gaya gempa horizontal. Apabila dinding geser cukup kuat, ia akan memindahkan gaya-gaya horizontal ini pada elemen berikutnya pada bagian muatan dibawahnya. Komponen-komponen lain boleh jadi selain dinding geser, lantai, pondasi tiang dan pelat. Dinding geser juga memberikan kekakuan lateral untuk mencegah atap dan lantai atas dari goyangan kesamping yang berlebihan. Jika dinding geser cukup kaku, ia akan mencegah lantai dan rangka atap dari gerakan pendukungnya.



Gambar 2.8: Gaya-gaya yang bekerja pada dinding geser.

2.5.2.2. Elemen Struktur Dinding Geser

Dalam perencanaan struktur tahan gempa, tiap element struktur di desain dengan berbagai ketentuan tertentu. Sama halnya terhadap dinding struktural yang merupakan sistem struktur atau bagian dari sistem yang memikul beban gempa seperti dinding geser. Struktur bangunan dengan dinding geser merupakan salah satu konsep solusi masalah gempa dalam bidang teknik sipil yaitu sebagai sub struktur yang menahan gaya geser akibat gempa.

Dinding geser biasanya dikategorikan berdasarkan geometrinya yaitu:

- a. *Flexural wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $hw/lw \geq 2$, dimana desain dikontrol oleh perilaku lentur. Dimana hw merupakan tinggi dinding geser dan lw lebar dinding geser.

- b. *Squat wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \leq 2$, dimana desain dikontrol oleh perilaku geser. Dimana l_w merupakan tinggi dinding geser dan l_w lebar dinding geser
- c. *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. Pada dinding geser berangkai terdapat balok penghubung yang disebut *Coupling beams*. Fungsi utama *coupling beams* tersebut adalah bukan memikul beban di atasnya, seperti sistem balok beton biasa, melainkan fungsinya adalah menyatukan dua dinding geser yang terletak sebidang sehingga diharapkan menjadi satu kesatuan. *Coupling beams* tersebut hanya ada pada konstruksi bangunan tinggi seperti pencakar langit, dan bekerjanya hanya terhadap beban lateral saja, seperti angin atau gempa. Pada kondisi bekerjanya, yaitu akibat beban lateral maka ada dua aksi yang terjadi yaitu lentur dan geser.

2.5.2.3. Fungsi Dinding Geser

Menurut (Yuliari dan Suhelda 2008) fungsi dinding geser ada 2, yaitu sebagai kekuatan dan kekakuan, artinya:

1. Kekuatan
 - Dinding geser harus memberikan kekuatan lateral yang dibutuhkan untuk menahan gaya gempa horizontal. Apabila dinding geser cukup kuat, dinding akan memindahkan gaya-gaya horizontal ini pada element berikutnya pada bagian muatan dibawahnya. Komponen-komponen lain pada muatan ini boleh jadi selain dinding geser, lantai, pondasi, dinding bata dan pelat.
2. Kekakuan
 - Dinding geser juga memberikan kekakuan lateral untuk mencegah atap dan lantai atas dari goyangan arah horizontal yang berlebihan. Jika dinding geser cukup kaku, dinding akan mencegah lantai dan rangka atap dari gerakan horizontal.

2.5.2.3.1. Cara Kerja Dinding Geser

Bangunan yang memiliki dinding geser, gaya-gaya horizontal akibat angin atau gempa akan ditahan oleh dinding geser. Selain menahan gaya horizontal, dinding geser juga menahan gaya normal (gaya vertikal). Dinding geser berperilaku sebagai balok lentur kantilever. Oleh karena itu dinding geser selain menahan geser juga menahan lentur.

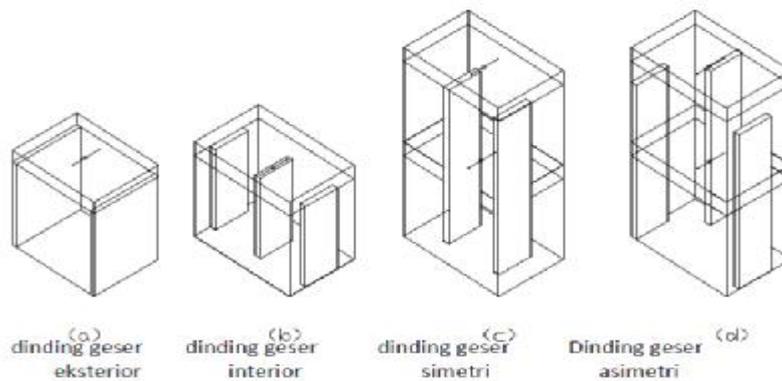
Dinding geser menahan dua tipe gaya yaitu gaya geser dan gaya angkat. Hubungan pada struktur itu dapat memindahkan gaya-gaya horizontal pada dinding geser. Pemindahan ini menimbulkan gaya geser disepanjang tinggi dinding antara puncak dan bawah penghubung dinding geser. Adanya gaya angkat pada dinding geser karena gaya arah horizontal terjadi pada puncak dinding. Gaya angkat ini mencoba mengangkat salah satu ujung dinding dan menekan pada bagian ujung lainnya.

2.5.2.3.2. Bentuk Geometri Dan Penempatan Dinding Geser

Untuk lebih aman dalam merespons gempa pada bangunan, disarankan bentuk-bentuk bangunan lebih sederhana dan simetrik. Bangunan sebaiknya simetrik dalam hal kekakuan, kekuatan, dan pembagian komposisi massa. Hindari konfigurasi massa bangunan yang sulit, hal ini disebabkan gempa akan menyerang bagian-bagian dari bangunan yang lemah dari segi struktur.

Perilaku bangunan secara keseluruhan terhadap gempa akan jauh lebih besar apabila bentuk massa bangunan dan strukturnya rumit jika dibandingkan dengan bentuk-bentuk yang lebih sederhana dan geometrik sempurna. Selain dari pada itu pekerjaan detail-detail pada bangunanyang lebih sederhana jauh lebih baik dan mudah jika dibandingkan dengan sistem struktur yang lebih rumit atau dengan bentuk-bentuk yang tidak beraturan.

Bentuk-bentuk yang tidak simetris sebaiknya dihindarkan karena menimbulkan momen-momen puntir horizontal akibat adanya eksentrisitas antara titik berat massa dengan titik berat/pusat kekakuan. Berikut adalah bentuk-bentuk geometri dinding geser yang direkomendasikan untuk dapat dipakai dan dikembangkan.



Gambar 2.9: Geometri penempatan dinding geser.

Gambar 2.9 memperlihatkan dinding geser sebagai dinding luar atau dalam, ataupun berupa inti yang memuat ruang lift atau tangga. Susunan geometri sistem dinding geser tidak terbatas, bentuk-bentuk dasar yang umum diperlihatkan pada lingkaran pusat. Bentuk segitiga, Persegi panjang, sudut, kanal dan flens lebar adalah contoh-contoh bentuk yang dikenal dalam bahasa arsitektur. Sistem dinding geser pada dasarnya dapat dibagi menjadi sistem terbuka dan tertutup. Sistem terbuka terdiri dari unsur linear tunggal atau gabungan unsur yang tidak lengkap melingkupi ruang geometris, seperti bentuk: L, X, V, Y, T, H. Sebaliknya sistem tertutup melingkupi ruang geometris seperti bentuk: bujur sangkar, segitiga, Persegi panjang dan bulat.

Sebuah bangunan tinggi dapat didefinisikan sebagai bangunan yang sistem strukturnya harus dimodifikasikan sedemikian rupa sehingga dapat menahan gaya-gaya lateral yang disebabkan oleh gempa atau angin di dalam kriteria terhadap kekuatan, simpangan dan kenyamanannya. Pada bangunan berlantai banyak, dinding geser adalah salah satu bentuk struktur yang dapat menahan gaya lateral yang disebabkan oleh gempa atau angin. Stabilitas bangunan lantai banyak diterima oleh dinding geser.

Dinding geser sebagai elemen penahan gaya lateral memiliki keuntungan utama karena menyediakan kontinuitas vertikal pada sistem lateral struktur gedung. 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:

- a. *Flexural behavior* (perilaku lentur), dimana respon yang terjadi pada dinding akibat gaya luar dibentuk oleh mekanisme kelelahan pada tulangan yang menahan lentur. Keruntuhan jenis ini biasanya bersifat daktail.
- b. *Flexural-shear behavior* (perilaku lentur-geser), dimana kelelahan yang terjadi pada tulangan yang menahan lentur diikuti dengan kegagalan geser.
- c. *Shear behavior* (perilaku geser), dimana dinding runtuh akibat geser tanpa adanya kelelahan pada tulangan yang menahan lentur. Perilaku batas ini bisa dibagi lagi menjadi *diagonal tension shear failure* (yang dapat bersifat daktail, karena keruntuhan terjadi terlebih dahulu pada baja tulangan) dan *diagonal compression shear failure* (yang umumnya bersifat rapuh).

Untuk dinding geser yang tergolong *flexural shear* dimana rasio $h_w/l_w \geq 2$, kegagalan lain yang sering terjadi adalah berupa *fracture* (patah/putus) pada tulangan yang menahan tarik. 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.

Pada dinding geser yang tergolong *squat wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \leq 2$, dimana desain dikontrol oleh perilaku geser. terdapat 3 model kegagalan yang biasanya terjadi yaitu:

1. *Diagonal tension*

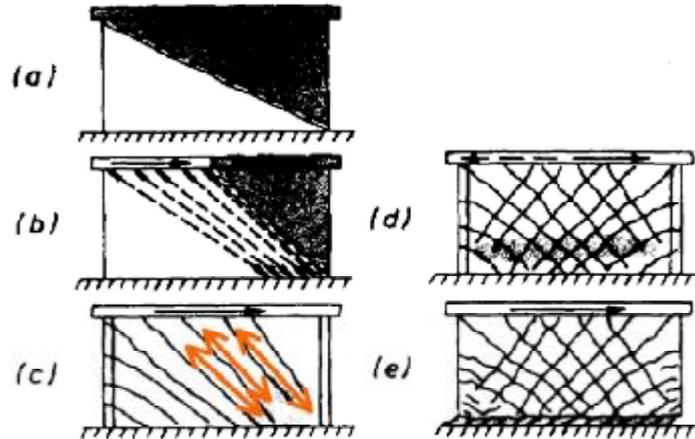
Retak sudut ke sudut yang terjadi pada *diagonal tension failure* merupakan kondisi yang paling kritis tetapi kemungkinannya kecil untuk terjadi. Retak sudut yang kemungkinan besar terjadi dapat dilihat pada Gambar 2.9 (b) dimana retak terbentuk pada sudut yang lebih curam terhadap horizontal.

2. *Diagonal compression*

Saat tegangan geser yang terjadi pada dinding sangat besar dan tulangan horizontal yang didesain untuk menahan tarik arah vertikal mengalami kegagalan, beton dapat mengalami keruntuhan tekan pada bidang diagonal. Jika terjadi pembebanan siklik bolak-balik retak diagonal geser yang terjadi.

3. *Sliding shear*

Di bawah pembebanan siklik bolak balik, retak geser bisa terjadi dimana *flexural cracks* terjadi terbuka dan tertutup dan tulangan vertikal leleh bergantian saat tarik dan tekan terjadi.



Gambar 2.10: Pola keruntuhan dinding geser (Irawan, 2014).

2.5.2.3.3. Persyaratan Dinding Geser

Pada dinding geser yang tinggi, serta gabungan dinding-dinding seperti pada dinding *core*, yang paling menentukan adalah beban aksial dan lentur, seperti yang berlaku pada kolom. Oleh karena itu, prosedur desain dan perhitungan-perhitungan pada kolom juga secara umum juga dapat diaplikasikan. Detail penulangan untuk dinding berbeda dari penulangan kolom. Elemen-elemen pembatas mungkin dapat diletakan pada akhir atau sudut bidang dinding untuk meningkatkan ketahanan momen-nya. Struktur dinding beton berlaku untuk dinding yang menahan beban aksial, dengan atau tanpa lentur. Dinding harus direncanakan terhadap beban eksentris dan setiap beban lateral atau beban lain yang bekerja padanya. Panjang horizontal dinding yang dapat dianggap efektif untuk setiap beban terpusat tidak boleh melebihi jarak pusat ke pusat antar beban, ataupun melebihi lebar daerah pembebanan ditambah 4 kali tebal dinding. Dinding harus diangkurkan pada komponen-komponen struktur yang berpotongan dengannya misalnya lantai dan atap, atau pada kolom, pilaster, sirip penyangga, dan dinding lain yang bersilangan, dan pada fondasi telapak.

Hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dinding geser yaitu bahwa dinding geser tidak boleh runtuh akibat gaya geser. Hal ini disebabkan oleh fungsi

utama dinding geser yaitu sebagai penahan gaya geser yang besar akibat gempa, sehingga apabila dinding geser runtuh akibat gaya geser itu sendiri maka otomatis keseluruhan struktur akan runtuh karena sudah tidak ada lagi yang menahan gaya geser tersebut. Dinding geser hanya boleh runtuh akibat adanya momen plastis yang menyebabkan timbulnya sendi plastis pada bagian dasar dinding.

Berdasarkan SNI 2847:2013, suatu dinding dikategorikan kedalam dinding geser jika gaya geser rencana melebihi $(1/12 \cdot A_{CV} \cdot \sqrt{F_c'})$. Jika kurang dari nilai tersebut maka dinding tersebut dianggap hanya sebagai dinding penumpu (memikul beban gravitasi). Rasio penulangan pada dinding geser yaitu ρ_v (penulangan arah vertikal) dan ρ_n (penulangan arah horizontal) tidak boleh kurang dari 0,0025. Selain dari itu dicek apakah dibutuhkan *boundary element* yaitu apabila $f_{max} > 0,2 f_c'$. Dengan

$$f_{Max} = \frac{Pu}{A_g} + \frac{M_u l_w / 2}{I} \quad (2.2)$$

Dimana : $A_g = l_w \cdot t_w$ (2.3)

$$I = 1/12 t_w \cdot l_w^3 \quad (2.4)$$

Berbeda dengan dinding geser biasa yang memikul beban vertikal dan gaya geser pada panel dinding, maka pada dinding geser dengan komponen batas, semua beban vertikal dipikul oleh komponen batas (*boundary element*), sedangkan gaya gesernya dipikul oleh bagian dindingnya. *Boundary element* pada dinding geser harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- *Boundary element* harus memikul semua beban vertikal
- *Boundary element* harus dikekang seperti kolom
- Tulangan transversal dinding geser harus diteruskan sampai dengan ke *boundary element*.

Rasio minimum untuk luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton haruslah:

- 0,0012 untuk batang ulir yang tidak lebih besar daripada D16 dengan tegangan leleh yang disyaratkan tidak kurang daripada 400 MPa
- 0,0015 untuk batang ulir lainnya
- 0,0012 untuk jaring kawat baja las (polos atau ulir) yang tidak lebih besar daripada P16 atau D16.

Pada dinding dengan ketebalan ≥ 250 mm, kecuali dinding ruang bawah tanah, harus dipasang dua lapis tulangan di masing-masing arah yang sejajar dengan bidang muka dinding dengan pengaturan sebagai berikut:

1) Satu lapis tulangan, yang terdiri dari tidak kurang dari pada setengah dan tidak lebih dari pada dua pertiga jumlah total tulangan yang dibutuhkan pada masing-masing arah, harus ditempatkan pada bidang yang berjarak tidak kurang dari pada 50 mm dan tidak lebih daripada sepertiga ketebalan dinding dari permukaan luar dinding.

2) Lapisan lainnya, yang terdiri dari sisa tulangan dalam arah tersebut di atas, harus ditempatkan pada bidang yang berjarak tidak kurang dari 20 mm dan tidak lebih dari sepertiga tebal dinding dari permukaan dalam dinding. Jarak antara tulangan-tulangan vertikal dan antara tulangan-tulangan horizontal tidak boleh lebih besar daripada tiga kali ketebalan dinding dan tidak pula lebih besar daripada 500 mm.

Tulangan vertikal tidak perlu diberi tulangan pengikat lateral bila luas tulangan vertikal tidak lebih besar daripada 0,01 kali luas bruto penampang beton, atau bila tulangan vertikal tidak dibutuhkan sebagai tulangan tekan. Di samping adanya ketentuan mengenai tulangan minimum, di sekeliling semua bukaan jendela dan pintu harus dipasang minimal dua tulangan D16. Batang tulangan ini harus lebih panjang dari sisi-sisi bukaan. Terhadap sudut-sudut bukaan, batang tulangan harus diperpanjang sejauh jarak yang diperlukan untuk mengembangkan kemampuannya tetapi tidak kurang dari 600 mm.

Perhitungan desain tulangan dinding geser adalah sebagai berikut :

- a. Suatu dinding dikategorikan ke dalam dinding geser jika gaya geser rencana (V_u) melebihi Pers. 2.5:

$$V_u > \frac{1}{12} A_{CV} \cdot \sqrt{F_c} \quad (2.5)$$

Dimana : A_{CV} = luas penampang dinding structural, mm^2

F_c = kuat tekan beton yang diisyaratkan, MPa

Jika kurang dari nilai tersebut maka dinding tersebut dianggap hanya sebagai dinding penumpu (memikul beban gravitasi)

- b. Paling sedikit dua lapis tulangan yang dipasang pada dinding geser bidang terfaktor yang dibebankan ke dinding, dengan syarat pada Pers. 2.6:

$$Vu > \frac{1}{6} \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'c'} \quad (2.6)$$

- c. Untuk rasio penulangan pada dinding geser yaitu ρ_v (penulangan arah vertikal) dan ρ_n (penulangan arah horizontal) tidak boleh kurang dari 0.0025
- d. Semua tulangan menerus pada dinding struktural harus diangkur atau disambung

A. Gaya-gaya rencana

Gayageser rencana Vu , harus diperoleh dari analisis beban lateral sesuai dengan kombinasi beban terfaktor.

- Kuat geser

- a. Kuat geser nominal (Vn) dinding struktural tidak diperkenankan lebih dari Pers. 2.7:

$$Vn \geq A_{cv} (\alpha_c \cdot \sqrt{f'c'} + \rho_n \cdot fy) \quad (2.7)$$

Dimana :

A_{cv} = penampang total dinding struktural ,mm²

α_c = 1/4 untuk $h_w/l_w \leq 1,5$

α_c = 1/6 untuk $h_w/l_w \geq 2,0$

l_w = panjang keseluruhan dinding atau segmen dinding yang ditinjau dalam arah gaya geser.

h_w = tinggi dinding keseluruhan atau segmen dinding yang ditinjau.

fy = kuat leleh tulangan yang diisyaratkan, MPa

$f'c$ = kuat tekan beton yang diisyaratkan, MPa

dan dapat diinterpolasi linier untuk nilai-nilai diantaranya.

- b. Nilai rasio (h_w/l_w) yang dipakai untuk menentukan Vn untuk segmen-segmen dinding harus merupakan nilai terbesar dari rasio untuk dinding keseluruhan dan segmen dinding tersebut.
- c. Dinding harus mempunyai tulangan geser tersebar yang memberikan tahanan dalam dua arah orthogonal pada bidang dinding. Apabila rasio (h_w/l_w) tidak melebihi 2, rasio penulangan ρ_v tidak boleh kurang dari rasio penulangan ρ_n .

- d. Kuat geser nominal system dinding structural yang secara bersama-sama memikul beban lateral tidak boleh diambil melebihi $\frac{2}{3}A_{CV}\sqrt{f'c}$, dimana A_{CV} = luas penampang dinding struktural.

Kuat geser nominal tiap dinding individual tidak boleh diambil melebihi

$$\frac{5}{6}.A_{cp}.\sqrt{f'c} \quad (2.8)$$

Dimana: A_{cp} = luas penampang dinding yang ditinjau

- e. Tahanan geser nominal segmen-segmen dinding horizontal tidak boleh diambil melebihi $\frac{5}{6} A_{cp} \cdot \sqrt{f'c}$

Ü Komponen batas (*boundary element*) untuk dinding structural.

- a. Komponen batas khusus di tepi-tepi dinding structural harus dievaluasi berdasarkan ketentuan-ketentuan. Selain dari itu dicek apakah dibutuhkan *boundary element* yaitu apabila $f_{max} > 0,2 f'c$. Nilai f_{max} dapat ditentukan dengan Pers. 2.9 berikut:

$$f_{Max} = \frac{Pu}{Ag} + \frac{Mu l_w / 2}{I} \quad (2.9)$$

$$\text{Dimana : } Ag = l_w \cdot t_w \quad (2.10)$$

$$I = 1/12 t_w \cdot l_w^3 \quad (2.11)$$

P_u = Gaya aksial yang bekerja pada *shear wall*

M_u = Momen ultimet yang bekerja di dasar dinding

l_w = panjang keseluruhan dinding atau segmen dinding yang ditinjau dalam arah gaya geser.

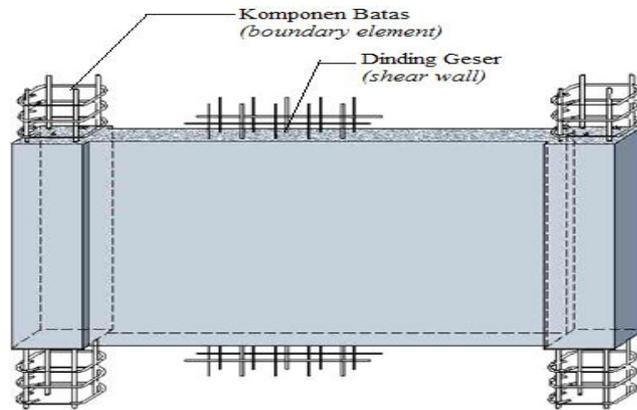
h_w = tinggi dinding keseluruhan atau segmen dinding yang ditinjau.

- b. Untuk 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, dimana diperlukan atau tidak komponen batas khusus (*boundary element*).

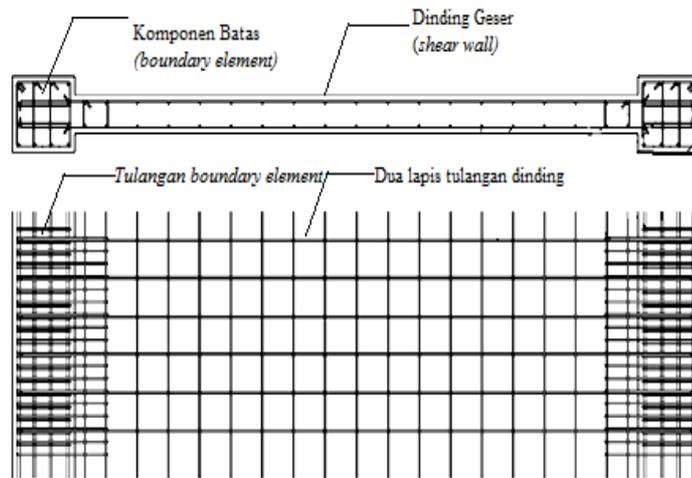
- a. Pada daerah tekan, harus memenuhi syarat pada Pers. 2.12:

$$c > \frac{l_w}{600 (\delta_u / h_w)} \quad (2.12)$$

Dimana : c = jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral, yang dihitung untuk beban aksial terfaktor dan kuat nominal, konsisten dengan perpindahan rencana yang menghasilkan sumbu netral terbesar.



Gambar 2.11: Bagian-bagian dinding geser (Ridwan H Pakpahan, 2009).



Gambar 2.12: Penulangan dinding geser (Ridwan, 2009).

2.6. Teori Gempa

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi (permukaan tanah). Menurut Budiono dan Supriatna (2011), secara garis besar gempa bumi dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu:

1. Gempa Bumi Vulkanik

Gempa bumi ini terjadi akibat adanya aktivitas magma yang biasa terjadi sebelum gunung api meletus. Apabila keaktifan gunung api semakin tinggi maka akan menyebabkan timbulnya ledakan dan juga terjadinya gempa bumi.

2. Gempa Bumi Tektonik

Gempa bumi ini disebabkan oleh adanya aktivitas pergerakan lempeng pelat tektonik, yaitu pergeseran lempeng-lempeng tektonik yang terjadi secara tiba-tiba sehingga menyebabkan gelombang-gelombang seismik yang menyebar dan merambat melalui lapisan kulit bumi atau kerak bumi yang dapat menimbulkan kerusakan dahsyat dan bencana lainnya seperti tsunami.

3. Gempa bumi runtuh

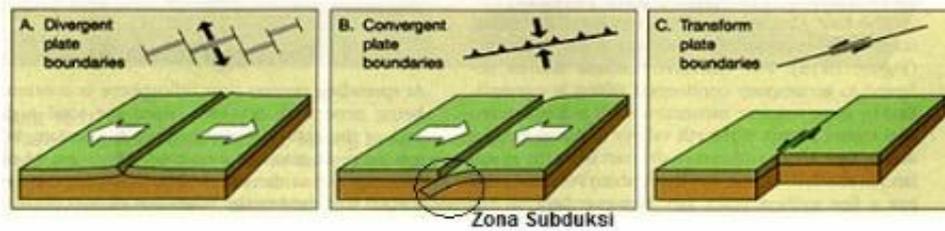
Gempa bumi yang disebabkan oleh keruntuhan baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Gempa ini biasanya terjadi pada daerah kapur ataupun pada daerah pertambangan. Gempa bumi ini jarang terjadi dan bersifat lokal.

4. Gempa Bumi Buatan

Gempa bumi buatan adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti peledakan dinamit, bom, dan nuklir.

2.6.1. Mekanisme Gempa Bumi

Gempa bumi tektonik lebih sering terjadi dibandingkan semua jenis gempa lainnya. Gempa bumi ini disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi (kerak bumi). Walaupun kelihatannya diam, akan tetapi lapisan-lapisan pada bagian permukaan bumi (*litosfer*) yang materialnya bersifat padat, keras dan dingin selalu bergerak. Ini diakibatkan oleh sejumlah energi yang menekan dan menarik lapisan tersebut sebagai hasil dari proses konveksi yang terjadi pada lapisan di bawahnya (*astenosfer*) yang sifat materialnya lebih cair, lemah dan jauh lebih panas. Lapisan terluar bumi ini bergerak melalui lempeng-lempengnya, sehingga menimbulkan tekanan, tarikan dan geseran pada lempeng-lempeng itu sendiri. Artinya lempeng-lempeng itu dapat saling bertubrukan (*konvergen*), saling menjauh (*divergen*), dan saling bergeser horizontal (*transform*) seperti yang diilustrasikan Gambar 2.12 (Faisal, 2013).



Gambar 2.13: Jenis-jenis pertemuan dua lempeng tektonik, a) pertemuan *divergen*; b) pertemuan *konvergen*; c) pertemuan saling bergeser horizontal (Faisal, 2013).

Secara geologis, Indonesia terletak di antara tiga lempeng utama dunia yaitu Australia, Eurasia, dan Pasifik sehingga menyebabkan Indonesia menjadi salah satu Negara yang rawan gempa bumi. Selain itu, gempa bumi tektonik biasanya jauh lebih kuat getarannya dibandingkan dengan gempa bumi vulkanik, gempa bumi runtuhan, maupun gempa bumi buatan. Oleh karena itu, getaran gempa bumi tektonik merupakan gempa yang paling banyak menimbulkan kerusakan terhadap benda atau bangunan di permukaan bumi dan mengakibatkan banyaknya korban jiwa.

2.7. Gempa Rencana

Menurut (Budiono dan Supriatna, 2011), akibat pengaruh gempa rencana, struktur gedung secara keseluruhan masih harus berdiri walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Berdasarkan SNI 1726:2012, zona peta gempa menggunakan peta gempa untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun atau memiliki periode ulang 2500 tahun.

2.7.1. Arah Pembebanan Gempa

Gempa menyebabkan guncangan pada tanah. Tingkat keparahan beban gempa tergantung pada lokasi (sesuai dengan peraturan mengenai standar bangunan). Guncangan tanah dapat menambah beban pada unsur-unsur bangunan, guncangan tanah yang lebih kuat atau unsur-unsur bangunan yang lebih besar dapat menambah beban pada gedung itu sendiri.

Beban gempa cenderung horizontal (walaupun tetap ada komponen vertikal arah beban) dan dapat menyerang dari arah manapun. Beban gempa akan datang bersiklus. Beban gempa dapat disimulasikan seperti jika anda berdiri diatas sebuah truk yang tiba-tiba bergerak cepat, mengerem mendadak, dan bergerak lagi berulang kali. Akan sangat sulit untuk tetap berdiri.

Menurut (Budiono dan Supriatna, 2011), dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa sehingga memberikan 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 30%.

2.7.2. Wilayah Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 14, wilayah gempa Indonesia ditetapkan berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S_1 (percepatan batuan tanah dasar pada periode 1 detik).



Gambar 2.14: Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar s_b untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%). Kementerian pu tahun 2012.



Gambar 2.15: Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar s_b untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%). Kementerian pu tahun 2012.

2.7.3. Konsep Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Pada konsep perencanaan struktur bangunan bertingkat tinggi harus di perhitungkan kemampuannya dalam memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, di antaranya adalah beban gravitasi, beban hidup, beban angin dan yang tidak kalah pentingnya adalah beban gempa.

Menurut (Budiono dan Supriatna, 2011), filosofi dan konsep dasar perencanaan bangunan tahan gempa adalah:

1. Pada saat terjadi gempa ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan harus dapat tetap berjalan sehingga struktur harus kuat dan tidak ada kerusakan baik pada elemen struktural dan elemen non struktural bangunan.
2. Pada saat terjadi gempa moderat dan medium, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen yang bukan struktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural.
3. Pada saat terjadi gempa besar, diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural dan nonstruktural, namun tidak boleh sampai menyebabkan bangunan runtuh sehingga tidak ada korban jiwa atau dapat meminimalkan jumlah korban jiwa.

Berdasarkan hal tersebut, perencanaan struktur dapat di rencanakan dengan mengetahui skenario keruntuhan dari struktur tersebut dalam menahan beban maksimum yang bekerja. Bangunan tahan gempa didesain berdasarkan peraturan gempa yang berlaku, jenis tanah, bentuk bangunanya, faktor kegunaan bangunannya, dan lain-lain. Seluruh elemen struktur di rencanakan dengan tahanan yang sesuai untuk menahan perpindahan yang terjadidengan memperhatikan respon *inelastic* struktur, faktor redundan, kuat lebih dan daktilitas struktur.

Analisis dinamik merupakan cara yang saat ini paling tepat untuk mengetahui kondisi struktur yang sebenarnya ketika terjadi gempa. Dengan analisis *respon spectrum* dapat diketahui respons struktur akibat gempa seperti simpangan, kecepatan dan percepatan.

2.8. Kriteria Design Perencanaan Struktur Gedung Tahan Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.3.2 ketidakberaturan struktur bangunan dapat dibedakan menjadi ketidak beraturan horizontal dan vertikal.

Tabel 2.1: Ketidakberaturan horizontal pada struktur berdasarkan SNI 1726:2012.

| No | Tipe dan penjelasan ketidak beraturan | Penerapan kategori desain seismic |
|----|---|--|
| 1a | Ketidakberaturan torsi di definisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Pers.yaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal refrensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku. | D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F |
| | Ketidakberaturan torsi berlebihan di definesikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. | E dan F D B, C, dan d C dan D |

Tabel 2.1: *Lanjutan.*

| No | Tipe dan penjelasan ketidak beraturan | Penerapan kategori desain seismic |
|----|--|---|
| 1b | Pers.yaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku | C dan D D B, C, dan D |
| 2 | Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan | D, E, dan F D, E, dan F |
| 3 | Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma di definisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ketinggian selanjutnya. | D, E, dan F D, E, dan F |
| 4 | Ketidakberaturan gesekan melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti geseran melintang terhadap bidang elemen vertical | B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F |
| 5 | Ketidak beraturan sistem non paralel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya leteral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa | C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F |

Tabel 2.2: Ketidakberaturan vertikal pada struktur berdasarkan SNI Gempa 1726-2012.

| | | |
|----|---|-------------|
| 1a | Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan leteral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% Pers.en kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. | D, E, dan F |
|----|---|-------------|

Tabel 2.2 : *Lanjutan.*

| No. | Tipe dan penjelasan ketidak beraturan | Penerapan kategori desain seismic |
|-----|--|---|
| 1b | ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan di definisikan ada jika terdapa suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. | E dan F D, E, dan F |
| 2 | Ketidakberaturan berat (massa) di definisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringgan dari lantai di bawahnya tidak perlu di tinjau | D, E, dan F |
| 3 | Ketidakberaturan geometri vertikal di definisikan ada jika dimensi horizontal sistem penahan gaya seismic di semua tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem penahanan gaya seismic tingkat di dekatnya. | D, E, dan F |
| 4 | Diskontinuitas arah bidang dalam ketidak beraturan elemen gaya lateral vertikal di definisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya. | B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F |
| 5a | Diskontruksi dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat di definisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateralnya tingkat di atasnya kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismic yang berbagi geser tingkat untuk arah yang di tinjau. | E dan F D, E, dan F |
| 5b | Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan di definisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemem penahan seismic yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau. | D, E, dan F B dan C D, E, dan F |

2.8.1. Faktor Keutamaan (I_e) Dan Katagori Risiko Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI Gempa 1762-2012 Pasal 4.1.2, tentang faktor keutamaan dan ketegori resiko struktur bangunan dimana untuk kategori resiko dijelaskan sesuai Tabel 1 SNI 1726:2012, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e sesuai Tabel 2 SNI 1726:2012:

Tabel 2.3: Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012.

| Jenis pemanfaatan | Kategori resiko |
|--|-----------------|
| Gedung dan struktur lainnya yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none">- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan- Fasilitas sementara- Gedung penyimpanan- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya | I |
| Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam katagori resiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none">- Perumahan- Rumah toko dan rumah kantor- Pasar- Gedung perkantoran- Gedung apartemen/rumah susun- Pusat perbelanjaan/Mall- Bangunan industry- Pabrik | II |

Tabel 2.3: *Lanjutan.*

| Jenis pemanfaatan | Kategori Resiko |
|---|-----------------|
| <p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion | <p>III</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan struktur lainnya, tidak termasuk kedalam katagori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/gangguan missal terhadap kehidupsn masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan struktur lainnya yang tidak termasuk dalam katagori risiko IV (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p> | |

Tael 2.3:lanjutan.

| Jenis pemanfaatan | Kategori Resiko |
|--|-----------------|
| <p>Gedung dan struktur lainnya yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran ,ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan gempa bumi, angin badai dan tempat perlindungan lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan beroperasi pada saat keadaan darurat. <p>Gedung dan struktur lainnya yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam katagori resiko IV.</p> | <p>IV</p> |

Tabel 2.4: Faktor keutamaan (*Ie*), berdasarkan SNI 1726:2012.

| Kategori resiko | Faktor keutamaan gempa, <i>Ie</i> |
|-----------------|-----------------------------------|
| I atau II | 1,0 |
| III | 1,25 |
| IV | 1,5 |

2.8.2. Klasifikasi Situs Tanah Untuk Desain Seismik

Percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai Tabel 3 SNI Gempa 1726:2012, berdasarkan profil tanah lapisan 30 meter paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 meter, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat. Penetapan kelas situs SA, dan SB tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 meter lapisan tanah antara dasar telapak, atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar.

Tabel 2.5: Klasifikasi situs didasarkan atas korelasi penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium berdasarkan SNI Gempa 1726:2012.

| Klasifikasi situs | \bar{v}_s (m/dt) | \bar{N} atau \bar{N}_{ch} | \bar{s}_u (kPa) |
|--|--|-------------------------------|---------------------------|
| SA (Batuan Keras) | $\bar{v}_s > 1500$ | N/A | N/A |
| SB (Batuan) | $750 < \bar{v}_s < 1500$ | N/A | N/A |
| SC (Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak) | $350 < \bar{v}_s \leq 750$ | $\bar{N} > 50$ | $\bar{s}_u \geq 100$ |
| SD (Tanah Sedang) | $175 < \bar{v}_s \leq 350$ | $15 \leq \bar{N} < 50$ | $50 \leq \bar{s}_u < 100$ |
| SE (Tanah Lunak) | $\bar{v}_s < 175$ | $\bar{N} < 15$ | $\bar{s}_u < 50$ |
| | Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas $PI > 20$, 2. Kadar air (w) $> 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{s}_u < 25$ kPa | | |

Tabel 2.5: *Lanjutan.*

| Klasifikasi situs | \bar{v}_s (m/dt) | \bar{N} atau \bar{N}_{ch} | \bar{s}_u (kPa) |
|---|---|-------------------------------|-------------------|
| SF (Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon spesifik (<i>Site-Specific Response Analysis</i>)) | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan > 3m) - Plastisitas tinggi (ketebalan H > 7.5m dengan PI > 75) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan H > 35m dengan $S_u < 50$ Kpa | | |

2.8.3. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa

Respon spektra merupakan konsep pendekatan yang digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan. Definisi respons spektra adalah respons maksimum dari suatu sistem struktur *Single Degree of Freedom* (SDOF) baik percepatan (a), kecepatan (v), perpindahan (d) dengan struktur tersebut di bebani oleh gaya luar tertentu. Absis dari respons *spectra* adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respons spektra adalah respons maksimum. Kurva respons spektra akan memperlihatkan simpangan relatif maksimum (S_d) (Budiono dan Supriatna, 2011).

Untuk penentuan parameter respon spektra percepatan di permukaan tanah. Di perlukan faktor amplifikasi terkait spectra percepatan untuk perioda pendek (F_a) dan periode 1,0 detik (F_v). selanjutnya parameter respon spectra percepatan di permukaan tanah dapat diperoleh dengan cara mengalikan koefisien F_a dan F_v dengan spektra percepatan untuk perioda pendek (S_s) dan periode 1,0 detik (S_1) di batuan dasar yang di peroleh dari peta gempa Indonesia SNI 1726:2012 sesuai dengan Pers. 2.13 dan 2.14.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2.13)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2.14)$$

Dimana:

S_s = Nilai spektra percepatan untuk periode pendek 0.2 detik di batuan dasar (S_B) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2012 (Gambar 2.13)

S_1 = Nilai spektra percepatan untuk periode 1.0 detik di batuan dasar (S_B) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2012 (Gambar 2.14).

F_a = Koefisien periode pendek 0,2 detik

F_v = Koefisien periode 1.0 detik

Tabel 2.6: Koefisien periode pendek, F_a berdasarkan SNI 1726:2012.

| Kelas situs | Parameter respons spectral MCE_R terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s | | | | |
|---|---|-------------|--------------|-------------|-----------------|
| | $S_s \leq 0.25$ | $S_s = 0.5$ | $S_s = 0.75$ | $S_s = 1.0$ | $S_s \geq 1.25$ |
| Batuan Keras (S_A) | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| Batuan (S_B) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak (S_C) | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |
| Tanah Sedang (S_D) | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| Tanah Lunak (S_E) | 2.5 | 1.7 | 1.2 | 0.9 | 0.9 |
| Tanah Khusus (S_F) | SS^b | | | | |

Tabel 2.7: Koefisien periode 1.0 detik, F_v berdasarkan SNI 1726-2012.

| Klasifikasi Site (Sesuai Tabel 2.10) | Parameter respons spectral MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1 | | | | |
|---|---|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | $S_1 \leq 0.1$ | $S_1 = 0.2$ | $S_1 = 0.3$ | $S_1 = 0.4$ | $S_1 \geq 0.5$ |
| Batuan Keras (S_A) | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| Batuan (S_B) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak (S_C) | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |
| Tanah Sedang (S_D) | 2.4 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.5 |
| Tanah Lunak (S_E) | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.4 | 2.4 |
| Tanah Khusus (S_F) | SS^b | | | | |

Selanjutnya, untuk mendapatkan parameter respon spektra desain, spektra percepatan desain untuk periode pendek, S_{DS} dan periode 1.0 detik, S_{D1} dapat diperoleh melalui Pers. 2.15 dan 2.16 berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.15)$$

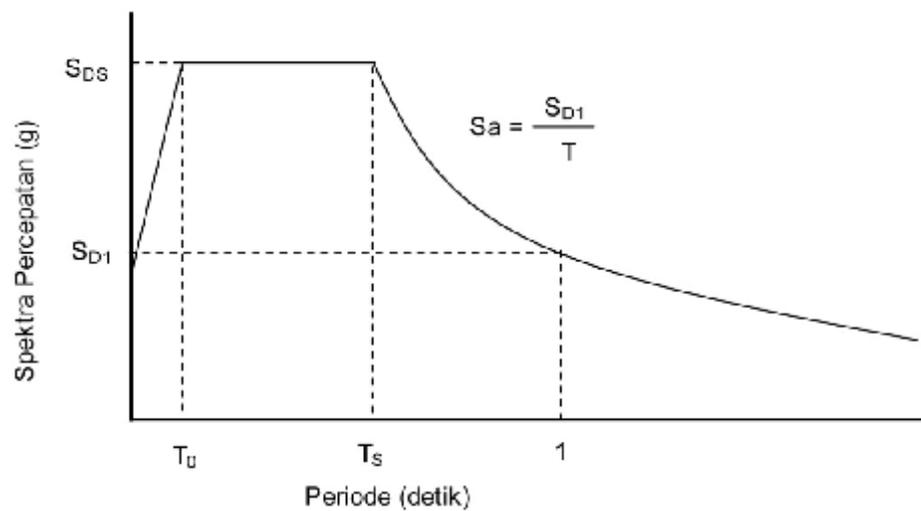
$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.16)$$

dimana:

S_{DS} = parameter respon spektra percepatan desain pada perioda pendek.

S_{D1} = parameter respon spektra percepatan desain pada perioda 1.0 detik.

Selanjutnya respon spektra desain di permukaan tanah yang dapat ditetapkan sesuai dengan Gambar 2.15:



Gambar 2.16: Bentuk tipikal respon spektra desain di permukaan tanah (SNI Gempa: 1726-2012).

dimana:

1. Untuk periode lebih kecil dari T_0 , respon spektra percepatan desain, S_a harus diambil dari Pers. 2.17 berikut:

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.17)$$

2. Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 , dan lebih kecil atau sama dengan T_s , respon spektra percepatan, S_a adalah sama dengan S_{DS} .
3. Untuk periode lebih besar dari T_s , respon spektra percepatan, S_a didapatkan dari Pers. 2.18 berikut:

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T} \quad (2.18)$$

Untuk nilai T_0 dan T_s dapat ditentukan dengan Pers. 2.19 dan 2.20 di bawah ini:

$$T_0 = 0.2 T_s \quad (2.19)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.20)$$

Keterangan:

T adalah periode getar fundamental struktur.

2.8.4. Katagori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu katagori desain seismik mengikuti pada Tabel 2.8 dan 2.9. Struktur dengan katagori risiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan katagori desain seismik E berikut pengertian dari tiap-tiap kategori desain seismik.

2.8.4.1. Kategori Desain Seismik A

Bangunan gedung dan non gedung dengan kategori desain seismik elemen nonstruktural dalam kategori desain seismik A dibebaskan dari ketentuan-ketentuan seismik.

2.8.4.2. Kategori Desain Seismik B

Untuk bangunan yang dirancang dengan kategori desain seismik B, gaya gempa desain diijinkan untuk diterapkan secara terpisah dalam masing-masing arah dari dua arah orthogonal dan pengaruh interaksi orthogonal diijinkan untuk diabaikan.

2.8.4.3. Kategori desain seismik C

Pembebanan yang diterapkan pada struktur bangunan yang dirancang untuk kategori desain seismik C harus minimum sesuai dengan arah masing-masing

orthogonal. Struktur yang mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal harus menggunakan salah satu prosedur berikut:

1. Prosedur kombinasi orthogonal

Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur analisis gaya lateral ekuivalen, prosedur analisis respon spektrum, atau prosedur riwayat respon linear, dengan pembebanan yang diterapkan secara terpisah dalam semua arah orthogonal. Pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya gempa pada struktur dianggap terpenuhi jika komponen dan fondasinya didesain untuk memikul kombinasi beban-beban yang ditetapkan.

2. Penerapan serentak gerak tanah orthogonal

Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur riwayat respons linear atau prosedur riwayat respons non linear dengan pasangan orthogonal percepatan gerak tanah yang diterapkan secara serentak.

2.8.4.4. Kategori desain seismik D sampai F

Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, dan F harus minimum sesuai dengan Pers.yaratan ketegori desain seismik C. Sebagai tambahan, semua kolom atau dinding yang berbentuk bagian dari dua atau lebih sistem penahan gaya gempa yang bekerja sepanjang baik sumbu denah utama sama atau melebihi 20 Pers.en kuat desain aksial kolom atau dinding harus didesain untuk pengaruh beban paling kritis akibat penerapan gaya gempa kesemua arah.

Tabel 2.8: Ketegori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek berdasarkan SNI 1726:2012.

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

Tabel 2.9: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik berdasarkan SNI 1726:2012.

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

2.8.5. Faktor Reduksi Gempa (R)

Berdasarkan SNI Gempa03-1726-2012 Pasal 7.2 Tabel 9, sistem struktur memiliki penahan gaya seismik yang ditentukan oleh parameter-parameter berikut ini:

Tabel 2.10: Faktor koefisien modifikasi respons, faktor kuat lebih sistem, faktor pembesaran defleksi, dan batasan tinggi sistem struktur berdasarkan SNI Gempa 1726-2012.

| No | Sistem penahan gaya seismic | Koefisien modifikasi respons, R^a | Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^g | Faktor pembesaran defleksi, C_d^b | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m) ^c | | | | |
|----|---|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|----|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | Kategori desain seismik | | | | |
| | | | | | B | C | D ^d | E ^d | F ^e |
| 1 | Sistem rangka pemikul momen : Rangka beton bertulang pemikul momen menengah | 5 | 3 | 4,5 | TB | TB | TI | TI | TI |
| 2 | Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 | 5,5 | 2,5 | 4,5 | TB | TB | 48 | 30 | 30 |

2.8.6. Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1, gaya geser dasar (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Pers. 2.21 berikut ini:

$$V = C_s \cdot W \quad (2.21)$$

dimana :

C_s = koefisien respons seismik

W = berat total gedung

Untuk nilai C_s menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1, Pers.- Pers. yang digunakan untuk menentukan koefisien C_s adalah

- Koefisien respon seismik, C_s

Untuk koefisien respon seismik C_s ditentukan berdasarkan rumus berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.22)$$

dimana :

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

R = faktor modifikasi respon berdasarkan Tabel 2.10

I = faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.4

Nilai C_s diatas tidak perlu melebihi C_s hitungan berdasarkan rumus berikut:

$$C_s = \frac{S_{DI}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.23)$$

C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.24)$$

dimana :

S_{DI} = parameter percepatan respons spektrum desain pada periode 1 detik

T = periode getar struktur (detik)

S_I = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan

Sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6g maka C_s harus tidak kurang dari Pers. 2.25:

$$C_s = \frac{0,5 S_I}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.25)$$

2.8.6 Periode Fundamental

(Budiono dan Supriatna2011), menyatakan bahwa periode struktur fundamental (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode struktur fundamental memiliki nilai batas minimum dan nilai batas maksimum. Nilai batas tersebut adalah :

1. Periode fundamental pendekatan minimum (T_a minimum).

$$T_{a \text{ minimum}} = C_r \cdot h_n^x \quad (2.26)$$

dimana :

$T_{a \text{ minimum}}$ = Nilai batas bawah periode bangunan

h_n = Ketinggian struktur dalam m diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

C_r = Ditentukan dari Tabel 2.11

x = Ditentukan dari Tabel 2.11

2. Periode fundamental pendekatan maksimum (T_a maksimum).

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u \cdot T_{a \text{ minimum}} \quad (2.27)$$

dimana :

$T_{a \text{ maksimum}}$ = Nilai batas atas periode bangunan

C_u = Ditentukan dari Tabel 2.12.

Tabel 2.11: Nilai parameter periode pendekatan C_r , dan x berdasarkan SNI Gempa 1726 :2012.

| Tipe Struktur | C_r | x |
|--|---------------------|------|
| Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% seismik yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenaigaya gempa : | | |
| Rangka baja pemikul momen | 0,0724 ^a | 0,8 |
| Rangka beton pemikul momen | 0,0466 ^a | 0,9 |
| Rangka baja dengan bresing eksentris | 0,0731 ^a | 0,75 |
| Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk | 0,0731 ^a | 0,75 |
| Semua sistem struktur lainnya | 0,0488 ^a | 0,75 |

Tabel 2.12: Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2012.

| Parameter Percepatan Respons Spektra Desain pada 1 Detik S_{DI} | Koefisien (C_u) |
|---|---------------------|
| > 0,4 | 1,4 |
| 0,3 | 1,4 |
| 0,2 | 1,5 |
| 0,15 | 1,6 |
| < 0,1 | 1,7 |

2.8.7 Parameter Respon Terkombinasi

Menurut (Budiono dan Supriatna 2011), respons masing-masing ragam yang ditentukan melalui spektrum respons rencana gempa merupakan respons maksimum. Pada umumnya, respons masing-masing ragam mencapai nilai maksimum pada saat yang berbeda sehingga respon maksimum ragam-ragam tersebut tidak dapat dijumlahkan begitu saja. Terdapat dua cara metode superposisi, yaitu metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) dan Kombinasi Kuadrat Lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*).

Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan ragam respons menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa

dalam menghasilkan respons total harus sekurang-kurangnya 90%. Untuk penjumlahan respons ragam yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode yang telah disebutkan sebelumnya yaitu Kombinasi Kuadrat Lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan apabila selisihnya kurang dari 15%. Untuk struktur yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respon ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode yang dikenal dengan metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*).

2.9 Design Kriteria Struktur Utama

Menurut (Pawirodikromo 2012), struktur utama bangunan adalah seperti portal/rangka yang dapat berdiri secara tegak dan mampu menahan semua jenis beban yang mungkin terjadi. Mengingat bangunan gedung dapat bervariasi menurut banyaknya tingkat, jenis-jenis beban yang bekerja, jenis bahan yang dipakai dan tempat dimana bangunan akan dibangun (daerah-daerah gempa) maka terdapat beberapa hal yang akan mempengaruhi pemakaian jenis struktur utama bangunan diantaranya:

1. Banyaknya tingkat
2. Jenis bahan yang dipakai
3. Jenis-jenis beban yang bekerja
4. Tempat dimana bangunan akan dibangun (jenis tanah dan daerah gempa).

2.9.6 Kekuatan (*Strength*)

Sudah sangat jelas bangunan harus mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan semua jenis kombinasi beban (beban mati, beban hidup, beban gempa, beban angin) di dalam masa layan bangunan. Untuk struktur yang relatif kaku, kriteria kekuatan ditandai oleh tegangan bahan yang terjadi, sementara lendutan/simpangannya relatif kecil (karena struktur kaku). Tegangan bahan yang terjadi menjadi penentu (*stress govern*) terhadap performa bangunan.

Pada level beban layan (*service loads*), tegangan yang terjadi harus masih dalam batas elastik dengan angka keamanan tertentu. Angka keamanan yang dimaksud salah satunya dapat diakomodasi melalui pemakaian faktor beban.

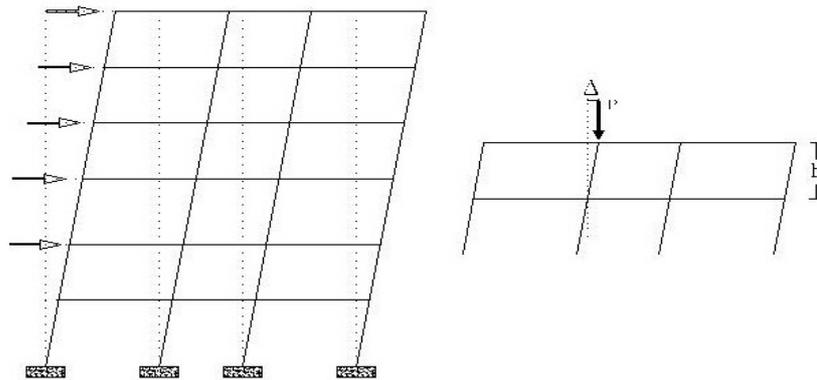
Dengan faktor beban (nilainya > 1) maka bahan akan mencapai tegangan leleh hanya apabila intensitas beban gravitasi, beban hidup dan beban sementara masing-masing naik sebesar faktor bebannya. Nilai-nilai tegangan elastik berikut faktor beban sudah diatur di dalam peraturan. Kesetabilan struktur akan mulai terganggu pada saat tegangan memasuki paska *inelastic* (Pawirodikromo, 2012).

2.9.7 Kekakuan (*stiffness*)

Struktur bangunan harus diberikan kekakuan secukupnya, sehingga gaya inersia ($F = m.a$) yang terjadi tidak besar dan lendutan atau simpangan (*deviasi/sway-drift*) antar tingkat bangunan/lantai bangunan masih terletak pada batas yang diizinkan.

Apabila kekakuan bangunan sangat kecil, maka pada saat tanah bergerak akibat gempa bangunan praktis tidak mengalami percepatan atau tidak terbawa untuk bergerak, bangunan lebih terasa mengayun secara fleksibel atau dengan istilah bangunan lebih elastis. Bangunan yang demikian dikatakan memiliki respons yang kecil terhadap gempa. Apabila kekakuan bangunan sangat besar, maka massa bangunan akan dipaksa untuk mengikuti sepenuhnya pergerakan tanah, sehingga percepatan yang dialami bangunan akan Pers.is sama percepatan tanah. Bangunan yang demikian dikatakan mempunyai respons yang besar terhadap gempa. Optimasi yang ideal adalah gabungan komposisi kedua prinsip diatas dalam batas yang diizinkan dengan tidak terlalu kaku dan tidak terlalu lentur. Dalam hal ini material struktur, sistem sambungan struktur sangat berpengaruh terhadap pergerakan massa bangunan.

Menurut (Pawirodikromo, 2012), kriteria desain tidak cukup hanya kekuatan bangunan, tetapi ada kemungkinan kriteria lain harus dipenuhi. Sebagaimana disampaikan sebelumnya, pada struktur yang relatife kaku maka yang menjadi kriteria penentu sudah akan berbalik menjadi *displacement govern*, yaitu nilai lendutan/simpangan yang terjadi. Pada kondisi seperti itu tegangan bahan mungkin masih dalam katagori elastik, tetapi lendutan sudah cukup besar sehinggann sudah tidak nyaman untuk ditempati.



Gambar 2.17: Simpangan antar tingkat (Pawirodikromo, 2012).

Untuk bangunan bertingkat *displacement govern* dapat terjadi pada balok biasa atau balok kantilever yang bentangnya panjang serta pada bangunan gedung yang jumlah tingkatnya sangat banyak (*high rise building*). Lendutan balok umumnya diproporsikan terhadap bentang, sedangkan simpangan tingkat biasanya diproporsikan terhadap tinggi tingkat dalam istilah *drift ratio*. *Drift ratio* adalah rasio antara simpangan antar tingkat dengan tinggi tingkat, seperti ditunjukkan pada Pers. 2.28 di bawah ini.

$$Drift\ ratio = \frac{\Delta}{hn} \quad (2.28)$$

Yang mana Δ adalah simpangan antar tingkat dan h adalah tinggi tingkat. apabila simpangan antar tingkat (Δ) terlalu besar maka akan timbul efek P- Δ . Efek P- Δ pada umumnya akan sangat membahayakan kesetabilan struktur, karena akan menimbulkan momen kolom yang sangat besar (akibat P yang umumnya sangat besar). Selain pembatasan lendutan dan simpangan yang terjadi sebagai bentuk dari design kriteria, maka struktur bangunan hendaknya jangan terlalu fleksibel. System pengaku dapat dipakai untuk mengurangi/mengendalikan lendutan/simpangan (Pawirodikromo, 2012).

2.9.7.1 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.6. simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja, yaitu kinerja batas ultimit. Penentuan simpangan antar lantai

tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat masa teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat masa tidak terletak segaris, dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi didasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa di atasnya.

Bagi struktur yang dirancang untuk katagori desain seismik C,D,E, atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1a atau 1b pada table 2.1, simpangan antar lantai desain (Δ) harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik diatas dan dibawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris vertikal disepanjang salah satu bagian struktur.

Simpangan antar lantai, nilainya harus diperbesar dengan menggunakan Pers. 2.29:

$$\frac{cd \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.29)$$

Dimana :

Δ_i = Simpangan antar tingkat

Cd = Faktor pembesaran defleksi

I_e = Faktor keutamaan gedung

Dari nilai simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin (Δ_a), sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012, bahwa struktur gedung harus berada dalam simpangan yang diizinkan.

Tabel 2.13: Simpangan antarlantai izin berdasarkan SNI 1726:2012.

| Struktur | Kategori resiko | | |
|---|------------------|----------------|----------------|
| | I atau II | III | IV |
| Struktur, selain struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat. | $0,025 h_{sx}^c$ | $0,020 h_{sx}$ | $0,015 h_{sx}$ |
| Struktur dinding geser batu bata lainnya | $0,007 h_{sx}$ | $0,007 h_{sx}$ | $0,007 h_{sx}$ |

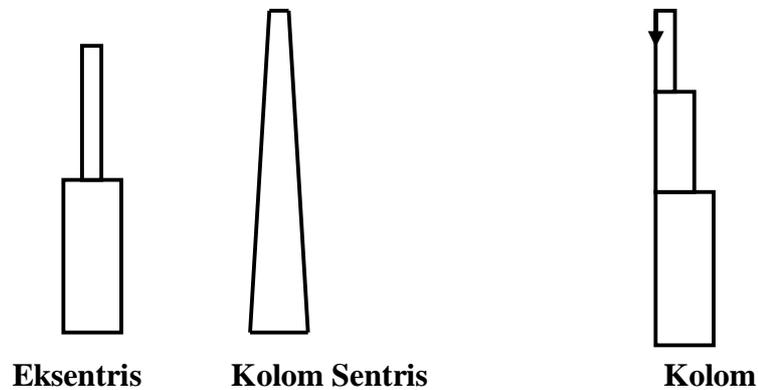
Catatan: h_{sx} = Tinggi tingkat yang bersangkutan

2.9.8 Kontinuitas Struktur Gedung

Dalam sistem struktur harus diberikan kesinambungan (kontinuitas) kekakuan dan kekuatan yang merata pada massa bangunan. Hindari tonjolan-tonjolan, lekukan-lekukan, atau *setback* pada massa bangunan yang dirancang.

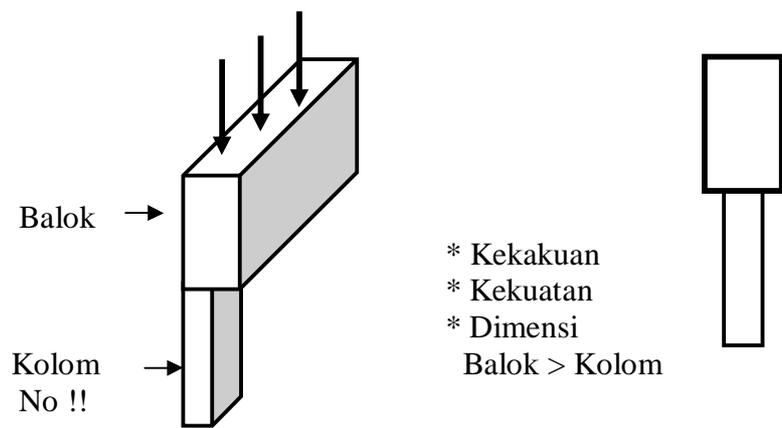
Pada pasal ini butir pokok yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut :

1. Unsur pemikul beban kolom dan dinding harus tersebar merata, modular dan beraturan dan seragam.
2. Semua kolom dan dinding harus menerus (kontinu) dan sentris dari atap hingga ke pondasi serta hindari eksentrisitas dalam pembebanan.



Gambar 2.18: Kontinuitas struktur bangunan (Ismanto 2009).

3. Kolom dan balok struktur diletakkan sebidang (sentris) pada sumbu-sumbu modul bangunan yang dirancang sehingga bidang-bidang masif dapat berfungsi sebagai pengisi dan pengaku sistem rangka.
4. Harus dihindarkan adanya balok struktur yang lebih besar dari dimensi kolom. Hal ini untuk menghindari terjadinya penyaluran beban yang tidak menyeluruh. Dimensi, kekuatan dan kekakuan balok lebih besar dari kolom harus dihindarkan karena sendi plastis dapat terjadi pada kolom.



Gambar 2.19: Dimensi balok dan kolom (Ismanto 2009).

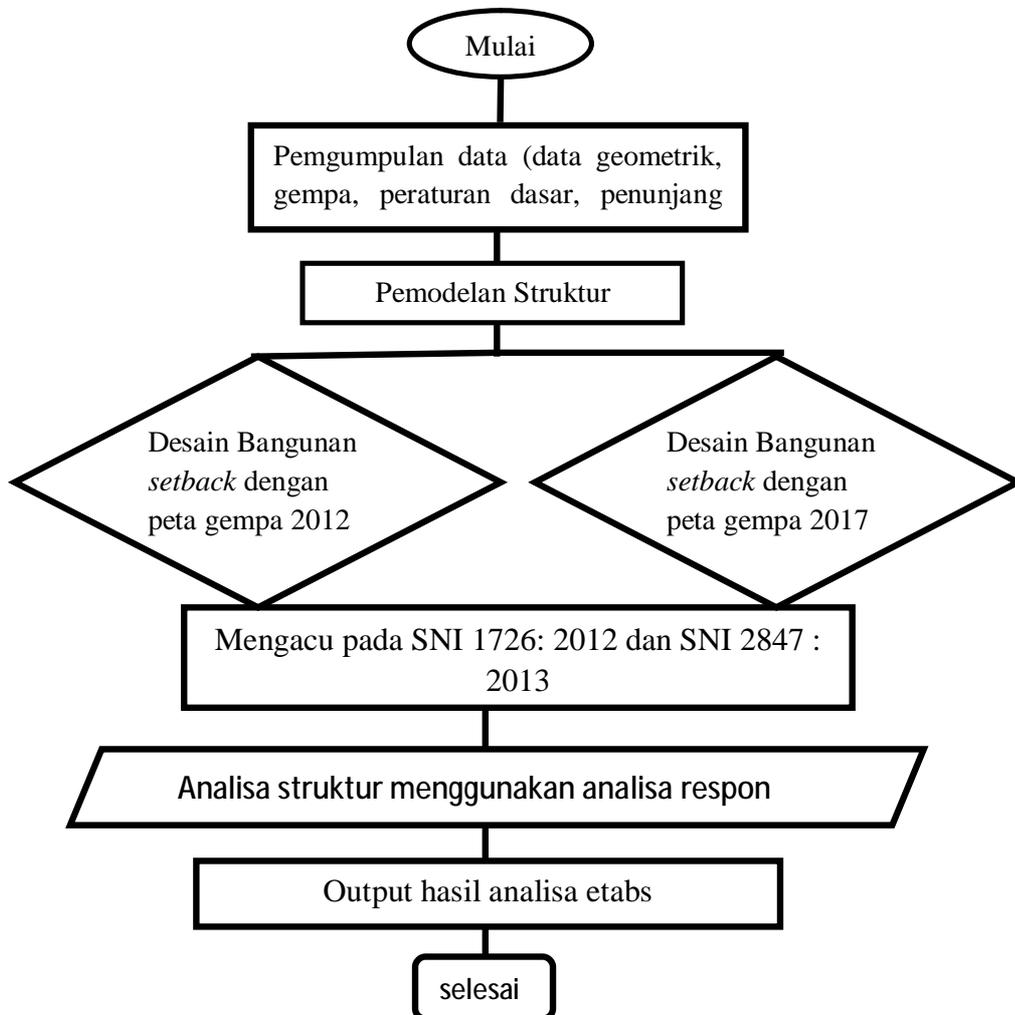
5. Unsur-unsur atau elemen-elemen pokok struktur tidak berubah penampang secara mendadak. Hal ini dapat menimbulkan efek rantai lemah *soft storey*.
6. Unsur-unsur penahan beban lateral harus diletakkan atau sedekat mungkin pada batas keliling bangunan. Hal ini untuk merespons beban/gaya lateral pada sisi kulit atau perimeter bangunan sehingga komponen struktur yang ada ditengah massa bangunan tidak terlalu dibebani.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

Bab ini berisi tentang pemodelan struktur yang direncanakan. Struktur dianalisis menggunakan *software* bantuan, yaitu ETABS versi 16. Secara umum, metode penelitian dalam Tugas Akhir ini dibuat dalam suatu diagram alir seperti yang tampak pada Gambar 3.1



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.

Berdasarkan Gambar 3.1, dapat dijelaskan bahwa dalam Tugas Akhir ini analisis dilakukan terhadap 1 model bangunan dengan struktur gedung *setback* dan di desain dengan 7 lantai. Dan Model Struktur tersebut menggunakan Sistem Dinding Geser. Bangunan gedung akan difungsikan sebagai gedung perkantoran, dengan kategori resiko II berdasarkan SNI 1726:2012 sesuai jenis pemanfaatan struktur gedung pada Tabel 2.3. Model perencanaan bangunan tersebut dianalisis secara Linear Elastis dengan menggunakan Metode Analisis Respon Spektrum (*Response Spectrum Analysis*) dengan peta gempa 2017 dan peta gempa 2012 dengan menggunakan Etabs versi 16. untuk mendapatkan nilai simpangan yang ada ketika bangunan telah menerima beban gempa.

3.2. Desain Spektra Gempa

3.2.1. Desain Respon Spektrum Dengan Peta Gempa 2017

Rencananya berdirinya bangunan dalam Pemodelan struktur gedung *Setback* ini di kota Padang yang dinilai sebagai daerah rawan gempa di Indonesia dengan nilai p_g (*Peak Ground Acceleration*) $S_s = 1,5$ g dan $S_1 = 0,6$ g pada tanah lunak. Berdasarkan SNI 1726:2012, respon spektrum gempa rencana harus dianalisis terlebih dahulu. Pada peta Hazard gempa indonesia 2017 atau dapat dilihat pada Gambar 2.14 dan 2.15. Adapun tahapan yang perlu dilakukan untuk membuat spektrum respon gempa desain dapat dilakukan sebagai berikut.

a. Penentuan koefisien F_a dan F_v

- Koefisien F_a

Koefisien F_a ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai $S_s = 1,5$ yang terdapat pada Tabel 2.6 dan berdasarkan jenis tanah sedang. Maka diperoleh nilai F_a di bawah ini.

$$F_a = 1$$

- Koefisien F_v
- Koefisien F_v ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai $S_1 = 0,6$ yang terdapat pada Tabel 2.7 dan berdasarkan jenis tanah sedang. Maka diperoleh nilai F_v di bawah ini.

$$F_v = 1,5$$

a. Penentuan nilai S_{MS} dan S_{MI}

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s$$

$$S_{MS} = 1 \cdot 1,5$$

$$S_{MS} = 1,5$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I$$

$$S_{MI} = 1,5 \cdot 0,6$$

$$S_{MI} = 0,9$$

b. Penentuan nilai S_{DS} dan S_{DI}

$$\text{Nilai } \mu = 2/3$$

$$S_{DS} = \mu \cdot S_{MS}$$

$$S_{DS} = (2/3) \cdot 1,5$$

$$S_{DS} = 0,932$$

$$S_{DI} = \mu \cdot S_{MI}$$

$$S_{DI} = (2/3) \cdot 0,9$$

$$S_{DI} = 0,6$$

c. Penentuan nilai T_s dan T_0

$$T_s = \frac{S_{DI}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{0,6}{0,932}$$

$$T_s = 0,6437$$

$$T_0 = 0,2 \cdot T_s$$

$$T_0 = 0,2 \cdot 0,6437$$

$$T_0 = 0,128$$

d. Penentuan nilai S_a

- Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respon percepatan desain (S_a) harus diambil dari persamaan:

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

- Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respon desain S_a sama dengan S_{DS} .
- Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respon percepatan desain S_a diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T}$$

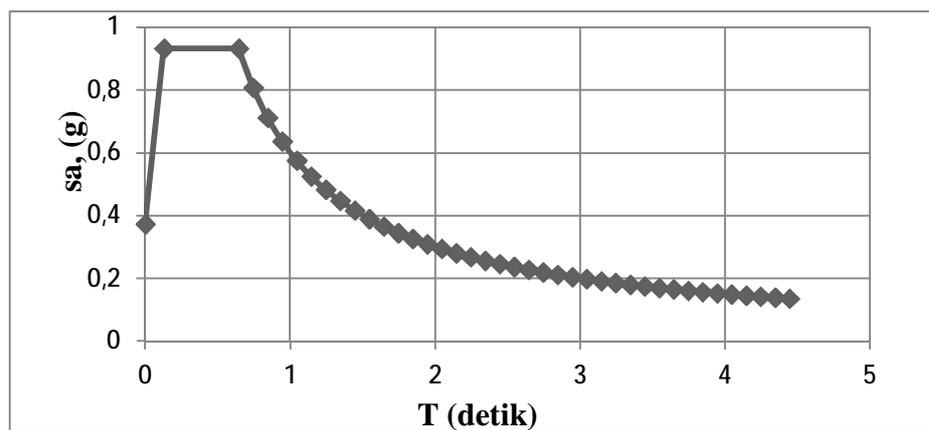
Spektrum respon percepatan disajikan dalam Tabel 3.1 dan grafik spektrum respon pada Gambar 3.2:

Tabel 3.1: Respon Spektrum SNI 1726:2012 daerah, kota padang dengan peta gempa 2017 dan jenis tanah sedang.

| Respon Spektrum Tanah Lunak | |
|-----------------------------|-----------|
| Data yang diperoleh | |
| SA (g) | T(detik) |
| 0,3728 | 0 |
| 0,9320 | 0,1287554 |
| 0,9320 | 0,6437768 |
| 0,79035 | 0,7437768 |
| 0,68607 | 0,8437768 |
| 0,6061 | 0,9437768 |
| 0,54283 | 1,0437768 |
| 0,49152 | 1,1437768 |
| 0,44907 | 1,2437768 |
| 0,41337 | 1,3437768 |
| 0,38293 | 1,4437768 |
| 0,35667 | 1,5437768 |
| 0,33377 | 1,6437768 |
| 0,31364 | 1,7437768 |
| 0,2958 | 1,8437768 |
| 0,27988 | 1,9437768 |
| 0,26559 | 2,0437768 |
| 0,25268 | 2,1437768 |
| 0,24097 | 2,2437768 |
| 0,2303 | 2,3437768 |
| 0,22053 | 2,4437768 |
| 0,21156 | 2,5437768 |
| 0,20329 | 2,6437768 |
| 0,19564 | 2,7437768 |
| 0,18855 | 2,8437768 |
| 0,18195 | 2,9437768 |

Tabel 3.1: *Lanjutan.*

| Respon Spektrum Tanah Lunak | |
|-----------------------------|-----------|
| Data yang diperoleh | |
| SA (g) | T(detik) |
| 0,1758 | 3,0437768 |
| 0,17005 | 3,1437768 |
| 0,16466 | 3,2437768 |
| 0,15961 | 3,3437768 |
| 0,15486 | 3,4437768 |
| 0,15038 | 3,5437768 |
| 0,14615 | 3,6437768 |
| 0,14216 | 3,7437768 |
| 0,13837 | 3,8437768 |
| 0,13479 | 3,9437768 |
| 0,13138 | 4,0437768 |
| 0,12814 | 4,1437768 |
| 0,12506 | 4,2437768 |
| 0,12212 | 4,3437768 |
| 0,11932 | 4,4437768 |



Gambar 3.1: Respon spektrum desain gempa berdasarkan peta gempa 2017 Kota Padang dengan jenis tanah sedang.

Dapat dilihat pada Gambar 3.2, bahwa respon spektrum gempa rencana yang dihasilkan berdasarkan standar kegempaan SNI 1726:2012 mempunyai nilai 0,128 untuk percepatan respons spektrum desain pada periode pendek, dan 0,932 untuk parameter percepatan desain pada periode 1 detik.

3.2.2. Desain Respon Spektrum Dengan Peta Gempa 2012

Rencananya berdirinya bangunan dalam Pemodelan struktur gedung Setback ini di kota Padang yang dinilai sebagai daerah rawan gempa di Indonesia dengan nilai p_g (*Peak Ground Acceleration*) $S_s = 1,25$ g dan $S_1 = 0,5$ g pada tanah lunak. Berdasarkan SNI 1726:2012, respon spektrum gempa rencana harus dianalisis terlebih dahulu. Pada peta Hazard gempa 2012 atau dapat dilihat pada Gambar 2.14 dan 2.15. Adapun tahapan yang perlu dilakukan untuk membuat spektrum respon gempa desain dapat dilakukan sebagai berikut.

a. Penentuan koefisien F_a dan F_v

- Koefisien F_a

Koefisien F_a ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai $S_s = 1,25$ yang terdapat pada Tabel 2.6 dan berdasarkan jenis tanah sedang. Maka diperoleh nilai F_a di bawah ini.

$$F_a = 1$$

- Koefisien F_v

Koefisien F_v ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai $S_1 = 0,5$ yang terdapat pada Tabel 2.7 dan berdasarkan jenis tanah sedang. Maka diperoleh nilai F_v di bawah ini.

$$F_v = 1,5$$

b. Penentuan nilai S_{MS} dan S_{MI}

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s$$

$$S_{MS} = 1 \cdot 1,25$$

$$S_{MS} = 1,25$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_1$$

$$S_{MI} = 1,5 \cdot 0,5$$

$$S_{MI} = 0,75$$

c. Penentuan nilai S_{DS} dan S_{DI}

Nilai $\mu = 2/3$

$$S_{DS} = \mu \cdot S_{MS}$$

$$S_{DS} = (2/3) \cdot 1,25$$

$$S_{DS} = 0,833$$

$$S_{DI} = \mu \cdot S_{MI}$$

$$S_{DI} = (2/3) \cdot 0,75$$

$$S_{DI} = 0,5$$

d. Penentuan nilai T_s dan T_0

$$T_s = \frac{S_{DI}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{0,5}{0,833}$$

$$T_s = 0,6$$

$$T_0 = 0,2 \cdot T_s$$

$$T_0 = 0,2 \cdot 0,6$$

$$T_0 = 0,12$$

e. Penentuan nilai S_a

- Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respon percepatan desain (S_a) harus diambil dari persamaan:

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

- Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respon desain S_a sama dengan S_{DS} .
- Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respon percepatan desain S_a diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T}$$

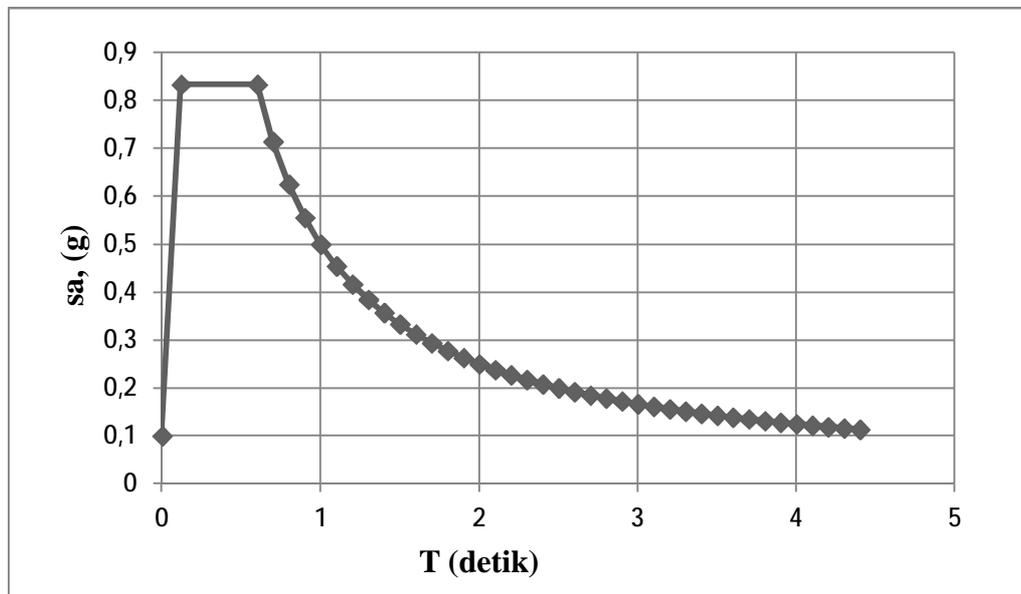
Spektrum respon percepatan disajikan dalam Tabel 3.2 dan grafik spektrum respon pada Gambar 3.2:

Tabel 3.2: Respon Spektrum SNI 1726:2012 daerah, kota padang dengan peta gempa 2012 dan jenis tanah sedang.

| Respon Spektrum Tanah Lunak | |
|-----------------------------|-----------|
| Data yang diperoleh | |
| T(detik) | SA(g) |
| 0 | 0,1 |
| 0,12 | 0,8333 |
| 0,6 | 0,8333 |
| 0,7 | 0,7142857 |
| 0,8 | 0,625 |
| 0,9 | 0,5555556 |
| 1 | 0,5 |
| 1,1 | 0,4545455 |
| 1,2 | 0,4166667 |
| 1,3 | 0,3846154 |
| 1,4 | 0,3571429 |
| 1,5 | 0,3333333 |
| 1,6 | 0,3125 |
| 1,7 | 0,2941176 |
| 1,8 | 0,2777778 |
| 1,9 | 0,2631579 |
| 2 | 0,25 |
| 2,1 | 0,2380952 |
| 2,2 | 0,2272727 |
| 2,3 | 0,2173913 |
| 2,4 | 0,2083333 |
| 2,5 | 0,2 |
| 2,6 | 0,1923077 |
| 2,7 | 0,1851852 |
| 2,8 | 0,1785714 |
| 2,9 | 0,1724138 |
| 3 | 0,1666667 |
| 3,1 | 0,1612903 |
| 3,2 | 0,15625 |
| 3,3 | 0,1515152 |
| 3,4 | 0,1470588 |
| 3,5 | 0,1428571 |
| 3,6 | 0,1388889 |
| 3,7 | 0,1351351 |

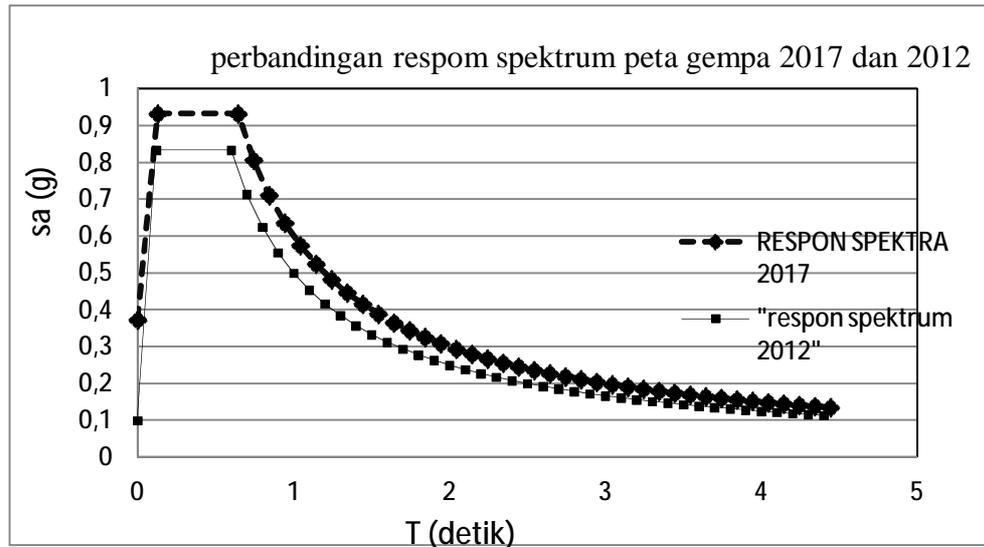
Tabel 3.2: *Lanjutan.*

| Respon Spektrum Tanah Lunak | |
|-----------------------------|-----------|
| Data yang diperoleh | |
| T(detik) | SA(g) |
| 3,8 | 0,1315789 |
| 3,9 | 0,1282051 |
| 4 | 0,125 |
| 4,1 | 0,1219512 |
| 4,2 | 0,1190476 |
| 4,3 | 0,1162791 |
| 4,4 | 0,1136364 |



Gambar 3.2: Respon spektrum desain gempa berdasarkan peta gempa 2012 Kota Padang dengan jenis tanah sedang.

Dapat dilihat pada Gambar 3.2, bahwa respon spektrum gempa rencana yang dihasilkan berdasarkan standar kegempaan SNI 1726:2012 mempunyai nilai 0,12 untuk percepatan respons spektrum desain pada periode pendek, dan 0,833 untuk parameter percepatan desain pada perioda 1 detik. Dan pada gambar 3.3 ditunjukkan perbandingan grafik respon spektrum dari peta gempa 2017 dan 2012



Gambar 3.3: perbandingan respon spektrum peta gempa 2017 dan peta gempa 2012

Dari gambar peta gempa diatas dapat disimpulkan bahwa nilai percepatan respon spektra akibat gempa 2017 lebih tinggi dibandingkan nilai percepatan respon spektra akibat peta gempa 2012.

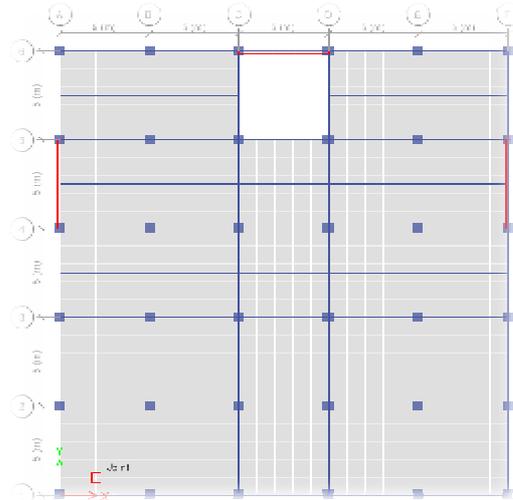
3.3. Pemodelan Struktur

3.3.1. Data Perencanaan Struktur

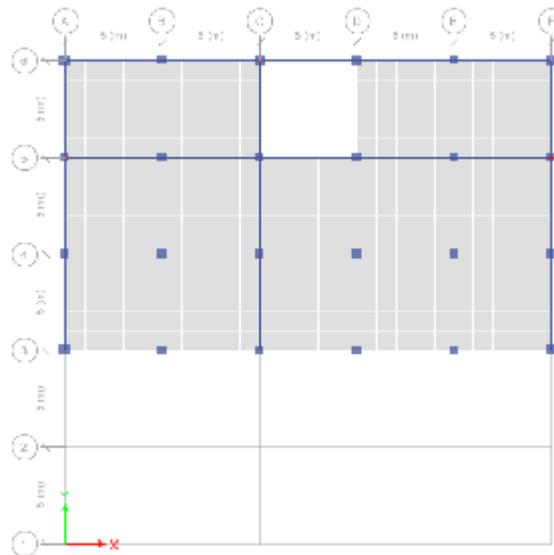
Pada tugas akhir ini terdapat Pemodelan struktur gedung *Setback*, dimana Model struktur menggunakan dinding geser. Bangunan gedung akan difungsikan sebagai gedung perkantoran, dengan kategori resiko II berdasarkan SNI 1726:2012 dengan perbandingan peta gempa 2017 dan peta gempa 2012,sesuai jenis pemanfaatan struktur gedung pada Tabel 2.3. Struktur gedung di desain 7 lantai.

1. Jenis pemanfaatan gedung kantor
2. Gedung terletak di kota Padang, Provinsi Sumatera Barat
3. Klasifikasi situs tanah sedang (SD)
4. Sistem struktur yang digunakan adalah dinding geser
5. Jenis portal struktur gedung adalah beton bertulang
6. Kuat tekan beton ($f'c$) yang digunakan:

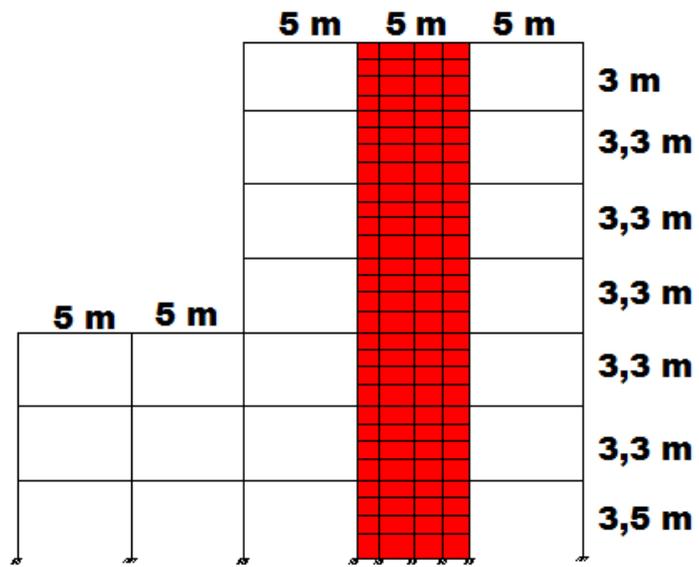
- Kolom dan dinding struktur : 30 MPa
 - Balok dan slab : 25 MPa
7. Mutu baja tulangan yang digunakan adalah BJTS37:
- Kuat leleh minimum (f_y) : 240 MPa
 - Kuat tarik minimum (f_u) : 370 Mpa



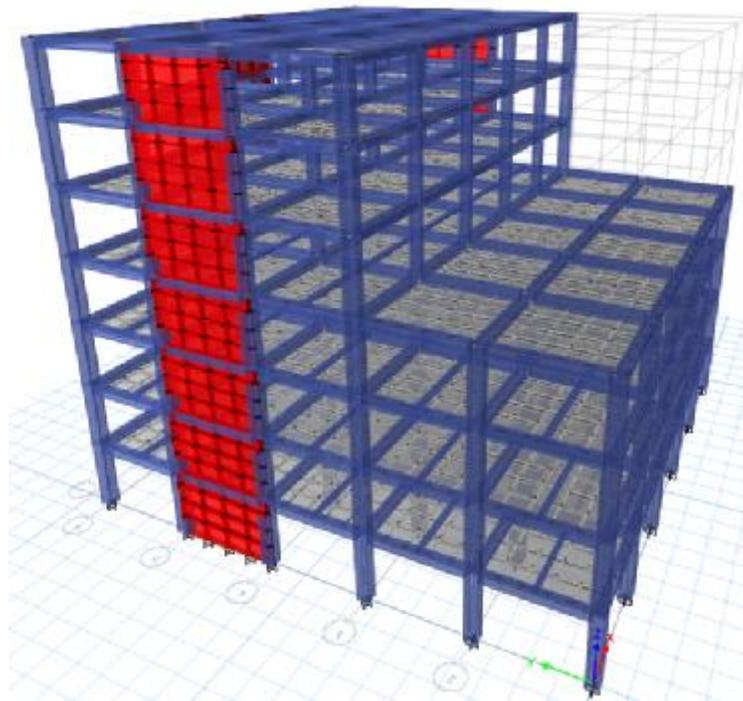
Gambar 3.3: Denah struktur bangunan lantai 1-4.



Gambar 3.4: Denah struktur bangunan lantai 5-7.



Gambar 3.5: Tampak samping portal struktur bangunan.



Gambar 3.6: Bentuk struktur 3 dimensi

3.3.2 Dimensi Kolom-Balok

Bangunan yang direncanakan adalah struktur tidak beraturan, Struktur gedung direncanakan dengan dimensi penampang yang berbeda.

- a. Balok utama = 375 x 450
- b. Balok anak = 250 x 300
- c. Kolom 1 (untuk lantai 1-3) = 550 x 550
- d. Kolom 2 (untuk lantai 4-7) = 450 x 450
- e. Tebal dinding geser = 300

3.3.3 Penentuan Tebal Pelat Lantai Dan Tebal Dinding Geser

1. Tebal Pelat Lantai

Penentuan tebal pelat lantai menggunakan rumus dari SNI 2847-2002 ayat 11 butir 5 sub butir 3 adalah sebagai berikut:

$$h_{maks} = \frac{ln \cdot (0,8 + \frac{fy}{1500})}{36}$$

$$h_{min} = \frac{ln \cdot (0,8 + \frac{fy}{1500})}{36 + 9b}$$

dimana :

h = ketebalan pelat lantai (mm)

fy = mutu baja (MPa)

$ln = \frac{ly}{lx}$ (mm)

ly = Panjang arah sumbu y

lx = Panjang arah sumbu x.

$Ly = 5000$ mm

$Lx = 5000$ mm

$$h_{min} = \frac{5000 \times (0,8 + \frac{390}{1500})}{36 + 9 \times (\frac{5000}{5000})} = 118,51mm$$

$$h_{maks} = \frac{5000 \times (0,8 + \frac{390}{1500})}{36} = 148,15 \text{ mm}$$

Jadi, dipakai tebal pelat lantai 140 mm karena tebal pelat perhitungan terlalu tebal maka pada Pemodelan dimodelkan dengan penggunaan balok anak pada tengah bentang sehingga ukuran Lx dan Ly menjadi 3200 mm sehingga digunakan tebal pelat atap 120 mm.

2. Tebal Dinding Geser

Menurut (Budiono dan Supriatna 2011), ketebalan dinding geser minimum dapat digunakan metode *empiris*, yaitu :

$$\text{Tebal shear wall} \geq \frac{1}{25} l_w$$

$$\text{Tebal shear wall} \geq \frac{1}{25} \cdot 5000 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal shear wall} \geq 200 \text{ mm}$$

Dimana, L_w = Panjang bagian dinding.

3.4 Faktor Keutamaan Struktur (I_e)

Berdasarkan SNI 1726:2012, digunakan untuk nilai faktor keutamaan berdasarkan kategori resiko yang sesuai bab 2 dengan fungsi gedung perkantoran pada kategori resiko II, berdasarkan ketentuan itu didapat nilai faktor keutamaan (I_e) = II,

3.5 Faktor Reduksi Gempa

Untuk semua desain gedung direncanakan sebagai sistem ganda dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMK) mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan, dimana menggunakan faktor reduksi gempa yang berdasarkan SNI 1726:2012 dapat dilihat pada Tabel 3.2:

Tabel 3.3: Faktor reduksi gempa pada gedung, pada zona gempa tanah sedang berdasarkan SNI 1726:2012.

| Arah | Sistem Gaya Penahan Seismik | R |
|------|-------------------------------------|-----|
| X | dinding geser beton bertulang biasa | 5,5 |
| Y | dinding geser beton bertulang biasa | 5,5 |

3.6 Analisis Struktur

3.6.1 Analisis Dinamik Struktur Linear

Analisis ini menggunakan Metode Respon Spektrum. Pada analisis ini, alat bantu *software* yang digunakan adalah ETABS versi 16.

3.6.2. Pembebanan

Beban gravitasi yang bekerja pada struktur bangunan diambil dari PPPURG (1987) dan SNI 1727:2013 yang telah disesuaikan dengan jenis dan fungsi bangunan. Beban-beban tersebut adalah beban hidup dan beban mati yang berhubungan dengan komponen material bangunan. Nilai beban hidup dan beban mati yang digunakan dalam perencanaan dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.

Tabel 3.4: Berat material konstruksi berdasarkan PPPURG 1987.

| Beban Mati | Besarnya Beban |
|-----------------------------|------------------------|
| Beton bertulang | 2400 kg/m ³ |
| Plafon dan penggantung | 18 kg/m ² |
| Adukan /cm dari semen | 21 kg/m ² |
| M & E | 40 kg/m ² |
| Penutup lantai dari keramik | 24 kg/m ² |

Tabel 3.5: Beban hidup pada lantai dan atap struktur berdasarkan SNI 1727:2013.

| Beban Hidup | Besarnya Beban |
|--|-----------------------|
| Lantai sekolah, perkantoran, apartemen, hotel, asrama, pasar, rumahsakit | 240 kg/m ² |
| Beban hidup pada atap gedung | 100 kg/m ² |

Selanjutnya nilai-nilai tersebut dihitung dan diakumulasikan sesuai dengan luas bangunan pada masing-masing tingkat/lantai yang kemudian digunakan sebagai *input* dalam pemodelan ETABS versi 16.

3.6.3. Kombinasi Pembebanan

Seluruh beban mati, beban hidup dan beban gempa tersebut diperhitungkan dengan faktor pembesaran dan kombinasi (*loads combinations*) yang diinput ke dalam program ETABS berdasarkan SNI 1726:2012. Untuk Pemodelan ini dengan menggunakan nilai $\rho = 1,3$ yang diperoleh dari desain seismik D dan nilai $S_{DS} = 0,932$ diperoleh dari sub bab 3.2, maka kombinasi pembebanannya dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.6: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai $\rho = 1,3$ dan $S_{DS} = 0,932$.

| Kombinasi | Koefisien | | Koefisien | | Koefisien | | Koefisien | |
|--------------|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|----|
| Kombinasi 1 | 1,4 | DL | 0 | LL | 0 | EX | 0 | EY |
| Kombinasi 2 | 1,2 | DL | 1,6 | LL | 0 | EX | 0 | EY |
| Kombinasi 3 | 1,44 | DL | 1 | LL | 0,39 | EX | 1,3 | EY |
| Kombinasi 4 | 0,96 | DL | 1 | LL | -0,39 | EX | -1,3 | EY |
| Kombinasi 5 | 1,07 | DL | 1 | LL | 0,39 | EX | -1,3 | EY |
| Kombinasi 6 | 1,33 | DL | 1 | LL | -0,39 | EX | 1,3 | EY |
| Kombinasi 7 | 1,44 | DL | 1 | LL | 1,3 | EX | 0,39 | EY |
| Kombinasi 8 | 0,96 | DL | 1 | LL | -1,3 | EX | -0,39 | EY |
| Kombinasi 9 | 1,33 | DL | 1 | LL | 1,3 | EX | -0,39 | EY |
| Kombinasi 10 | 1,07 | DL | 1 | LL | -1,3 | EX | 0,39 | EY |
| Kombinasi 11 | 1,14 | DL | 0 | LL | 0,39 | EX | 1,3 | EY |
| Kombinasi 12 | 0,66 | DL | 0 | LL | -0,39 | EX | -1,3 | EY |
| Kombinasi 13 | 0,77 | DL | 0 | LL | 0,39 | EX | -1,3 | EY |
| Kombinasi 14 | 1,03 | DL | 0 | LL | -0,39 | EX | 1,3 | EY |
| Kombinasi 15 | 1,14 | DL | 0 | LL | 1,3 | EX | 0,39 | EY |

Tabel 3.6: *Lanjutan.*

| Kombinasi | Koefisien | | Koefisien | | Koefisien | | Koefisien | |
|--------------|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|----|
| | | | | | | | | |
| Kombinasi 16 | 0,66 | DL | 0 | LL | -1,3 | EX | -0,39 | EY |
| Kombinasi 17 | 1,03 | DL | 0 | LL | 1,3 | EX | -0,39 | EY |
| Kombinasi 18 | 0,77 | DL | 0 | LL | -1,3 | EX | 0,39 | EY |

Keterangan:

DL : *Dead load* (Beban mati)

E : *Earthquake* (Beban gempa)

LL : *Live load* (Beban hidup)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Pada Bab ini akan membahas beberapa nilai perbandingan hasil analisa oleh Program Analisis Struktur diantaranya, perioda getar, nilai simpangan dan gaya-gaya dalam struktur gedung, berdasarkan keempat jenis pemodelan struktur, Semua masukan pembebanan serta kombinasi, zona gempa dan konfigurasi bangunan adalah sama. Serta perbandingan metode analisa pada tiap pemodelan, yaitu analisa respon spektrum ragam.

4.2. Hasil Analisa Dengan Peta Gempa 2017

4.2.1. Analisa Respon Spektrum Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2012, analisa harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisa harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Berdasarkan SNI 1726:2012, nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau untuk berbagai ragam, telah dikombinasikan menggunakan metode akar kuadrat dan jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) atau metode kombinasi kuadrat lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Metode akar kuadrat jumlah kuadrat diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang lebih dari 15%, sementara metode kombinasi kuadrat lengkap diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang kurang dari 15% . Data modal partisipasi massa dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Data perioda hasil programProgram Analisis Struktur.

| <i>Modal Participating Mass Ratios</i> | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mode | Period | UX | UY | SumUX | SumUY |
| 1 | 0,66 | 0,659 | ` | 0,659 | 0 |
| 2 | 0,476 | 0 | 0,6513 | 0,659 | 0,6513 |
| 3 | 0,346 | 0,0073 | 0 | 0,6663 | 0,6513 |

Tabel 4.1: *lanjutan.*

| <i>Modal Participating Mass Ratios</i> | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mode | Period | UX | UY | SumUX | SumUY |
| 4 | 0,182 | 0,2091 | 0 | 0,8755 | 0,6513 |
| 5 | 0,116 | 0 | 0,2396 | 0,8755 | 0,8909 |
| 6 | 0,086 | 0,0126 | 0 | 0,888 | 0,8909 |
| 7 | 0,08 | 0,0731 | 0 | 0,9611 | 0,8909 |
| 8 | 0,053 | 0,0153 | 0 | 0,9764 | 0,8909 |
| 9 | 0,052 | 0 | 0,074 | 0,9764 | 0,9649 |
| 10 | 0,043 | 0,0115 | 0 | 0,988 | 0,9649 |
| 11 | 0,037 | 0,0002 | 0 | 0,9881 | 0,9649 |
| 12 | 0,036 | 0,009 | 0 | 0,9972 | 0,9649 |

Dapat dilihat persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan *CQC (Complete Quadratic Combination/CQC)*. atau *SRSS(Square Root of the Sum of Squares/SRSS)* Metode akar kuadrat jumlah kuadrat diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang lebih dari 15%, sementara metode kombinasi kuadrat lengkap diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang kurang dari 15%.

Tabel 4.2: Hasil selisih persentase nilai perioda.

| <i>Mode</i> | Persentase (%) | <i>CQC < 15%</i> | <i>SRSS > 15%</i> |
|-------------|----------------|---------------------|----------------------|
| T1-T2 | 28% | N.OK | OK |
| T2-T3 | 27% | N.OK | OK |
| T3-T4 | 47% | N.OK | OK |
| T4-T5 | 36% | N.OK | OK |
| T5-T6 | 26% | N.OK | OK |
| T6-T7 | 7% | OK | N.OK |
| T7-T8 | 34% | N.OK | OK |
| T8-T9 | 2% | OK | N.OK |
| T9-T10 | 17% | OK | N.OK |
| T10-T12 | 14% | N.OK | OK |
| T11-T12 | 3% | OK | N.OK |

Berdasarkan pada Tabel 4.2, analisis yang digunakan adalah Metode (*SRS*), karena nilai perioda rata-rata yang didapat memiliki waktu getar yang berdekatan yaitu selisihnya lebih besar dari 15% dari selisih nilai perioda.

4.2.2. Berat Struktur

Berat struktur didapat dari hasil pemodelan dengan menggunakan program analisis struktur. Peneliti tidak melakukan perhitungan manual dikarenakan program analisis struktur melakukan perhitungan untuk menghitung berat struktur secara otomatis. Berat bangunan arah x (mass x), berat bangunan arah y (mass y). Sedangkan *ycm* adalah titik berat arah y dan *xcm* adalah titik berat arah x. Pada tabel 4.3 menunjukkan besarnya massa, pusat massa serta pusat kekakuan tiap lantai yang diperhitungkan dalam analisis dinamik respon spektrum dengan menggunakan program analisis struktur.

Tabel 4.3: Massa struktur, pusat massa dan pusat kekakuan dengan peta gempa 2017.

| Lantai | Mass X | Mass Y | XCM | YCM | XCCM | YCCM |
|-------------|-----------|----------|------|---------|------|---------|
| | Kg | Kg | m | M | M | M |
| lantai 1 | 430610,4 | 430610,4 | 12,5 | 12,6682 | 12,5 | 12,6682 |
| lantai 2 | 427186,8 | 427186,8 | 12,5 | 12,6585 | 12,5 | 12,6585 |
| lantai 3 | 427186,8 | 427186,8 | 12,5 | 12,6585 | 12,5 | 12,6585 |
| lantai 4 | 401484 | 401484 | 12,5 | 13,0312 | 12,5 | 13,0312 |
| lantai 5 | 253698 | 253698 | 12,5 | 17,4661 | 12,5 | 17,4661 |
| lantai 6 | 250517,4 | 250517,4 | 12,5 | 17,4594 | 12,5 | 17,4594 |
| lantai 7 | 198730,8 | 198730,8 | 12,5 | 17,3931 | 12,5 | 17,3931 |
| jumlah = | 2389414,2 | | | | | |

Pada Tabel 4.3 menunjukkan hasil massa struktur bangunan per lantai, dimana nilai pusat massa sama dengan nilai pusat kekakuan.

4.2.3. Gaya geser dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, kombinasi respon untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V_1) menggunakan prosedur gaya lateral ekivalen, maka gaya dan simpangan antar lantai harus dikalikan dengan faktor skala yaitu:

$$0,85 \frac{V_1}{V_t} \geq 1 \quad (4.1)$$

dimana:

V_1 = Gaya geser dasar nominal statik ekivalen

V_t = Gaya geser dasar kombinasi ragam

Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen dan respon spektrum tertera pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen.

| Arah Gempa | V_1 (Kg) |
|------------|---------------|
| Gempa X | 3920,1073 |
| Gempa Y | 3920,1073 |

Tabel 4.5: Nilai gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum dengan peta gempa 2017 *output* program analisis struktur.

| <i>Base Reaction</i> | | | | |
|----------------------|--------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <i>Output Case</i> | <i>Case Type</i> | <i>Step Type</i> | <i>Global F_X</i> | <i>Global F_Y</i> |
| <i>Text</i> | <i>Text</i> | <i>Text</i> | kN | kN |
| Gempa X | <i>LinRespSpec</i> | <i>Max</i> | 1901,296 | 575,2062 |
| Gempa Y | <i>LinRespSpec</i> | <i>Max</i> | 566,5087 | 1930,487 |

Berdasarkan SNI 1726:2012, nilai akhir dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 85% nilai respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser V_t , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut.

Periksa:

- Arah X

$V_t < 0,85 V_l$, gunakan faktor skala.

1901,296 KN < 0,85. 3920,1073 KN

1901,296 KN < 3332,091239 KN (gunakan faktor skala)

- Arah Y

$V_t < 0,85 V_l$, gunakan faktor skala.

1454,5 KN < 0,85. 3920,1073 KN

1930,487 KN < 3332,091239 KN (gunakan faktor skala)

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa nilai gaya geser dasar ragam (V_t) lebih kecil dari 85 persen gaya geser dasar yang dihitung menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen (V_1) untuk arah x, sehingagaya gempa rencana yang diinput pada program analisis struktur harus dikalikan dengan faktor skala yang melebihi 1,00 sesuai arahnya. Berikut ini merupakan nilai faktor skala yang akan dikalikan dengan gaya gempa rencana.

$$\text{Faktor skala} : 0,85 \frac{V_1}{V_t} > 1$$

$$\text{Gempa X} : 0,85 \frac{3920,1073}{1901,296} > 1$$

$$1,7525 > 1$$

$$\text{Gempa Y} : 0,85 \frac{3920,1073}{1930,487} > 17$$

$$1,7260 > 1$$

Tabel 4.6: Perbandingan gaya geser dasar statik dan dinamik serta faktor skala arah x.

| V_t (CQC) | V_t (CQC) | $0,85 \cdot C_s W$ (ELF) | $0,85 \cdot C_s W$ (ELF) | Faktor Skala |
|----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------|
| (X-Dir) – (kN) | (Y-Dir) – (kN) | (X-Dir) – (kN) | (Y-Dir) – (kN) | Arah X |
| 1901,296 | 1930,487 | 1449,610 | 2020,045 | 1,7525 |

Tabel 4.7: Perbandingan gaya geser dasar statik dan dinamik serta faktor skala arah Y.

| V_1 (X-Dir) | V_1 (Y-Dir) | V_t (X-Dir) | V_t (Y-Dir) | Faktor Skala |
|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| kN | kN | kN | kN | Arah Y |
| 3920,107 | 3920,107 | 1901,296 | 1930,487 | 1,726 |

4.2.4. Koreksi Faktor Redundansi

Untuk struktur yang dirancang kategori desain seismik D, redundansi (ρ) harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, dimana redundansi (ρ) diijinkan diambil 1,0. Salah satu kondisi untuk menentukan yaitu masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau, maka redundansi (ρ) diijinkan diambil 1,0. Apabila kondisi tersebut

tidak terpenuhi, maka redundansi (ρ) 1,0 harus diganti dengan redundansi (ρ) 1,3. Sebagaimana tertera pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8: Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* redundansi (ρ) 1,0.

| Lantai | V _x (kN) | V _y kN | 35 % V _x Base Shear | 35 % V _y Base Shear | Kontrol | Kontrol |
|--------|------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------|---------|
| Lt 7 | 121,746 | 237,0394 | 665,453705 | 675,6703 | Not Ok | Not Ok |
| Lt 6 | 508,0603 | 663,0792 | 665,453705 | 675,6703 | Not Ok | Not Ok |
| Lt 5 | 759,5415 | 918,0855 | 665,453705 | 675,6703 | Ok | Ok |
| Lt 4 | 1357,3409 | 1415,862 | 665,453705 | 675,6703 | Ok | Ok |
| Lt 3 | 1631,3312 | 1675,3979 | 665,453705 | 675,6703 | Ok | Ok |
| Lt 2 | 1816,7347 | 1849,9059 | 665,453705 | 675,6703 | Ok | Ok |
| Lt 1 | 1901,2963 | 1930,4866 | 665,453705 | 675,6703 | Ok | Ok |
| Base | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Dari Tabel 4.8, gaya geser pada lantai 5 sampai 7 dengan redundansi 1,0 tidak memenuhi syarat lebih besar dari 35 persen gaya geser dasar, maka nilai redundansi (ρ) pada pemodelan struktur menggunakan dengan nilai redundansi 1,3.

4.2.5. Gaya Geser Lantai

Gaya geser lantai merupakan distribusi dari gaya geser dasar yang dibagi pada setiap lantai untuk masing-masing arah gempa. Nilai gaya geser setiap lantai didapat dari hasil pemodelan struktur dengan menggunakan program analisis struktur yang dapat disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9: Nilai gaya geser pada setiap lantai yang telah diskalakan..

| Tingkat | Tinggi (m) | Lokasi | V _x (kN) | V _y (kN) |
|---------|---------------|--------|------------------------|------------------------|
| 7 | 23 | Top | 658,6942 | 710,8709 |
| | | Bottom | 213,3643 | 409,1388 |
| 6 | 20 | Top | 1306,5642 | 1395,2337 |
| | | Bottom | 890,3942 | 1144,4992 |
| 5 | 16,7 | Top | 1781,3728 | 1883,7037 |
| | | Bottom | 1331,1242 | 1584,6495 |
| 4 | 13,4 | Top | 2378,7895 | 2443,8302 |
| | | Bottom | 2378,7895 | 2443,8302 |
| 3 | 10,1 | Top | 2858,9675 | 2891,7987 |
| | | Bottom | 2858,9675 | 2891,7987 |
| 2 | 6,8 | Top | 3183,8939 | 3193,0060 |

Tabel 4.9: Lanjutan.

| Tingkat | Tinggi (m) | Lokasi | V _x (kN) | V _y (kN) |
|---------|------------|--------|---------------------|---------------------|
| 2 | 6,8 | | | |
| | | Bottom | 3183,8939 | 3193,0060 |
| 1 | 3,5 | Top | 3332,0837 | 3332,0845 |
| | | Bottom | 3332,0912 | 3332,0912 |
| 0 | 0 | Top | 0 | 0 |
| | | Bottom | 0 | 0 |

Pada Tabel 4.9, menunjukkan gaya geser maksimum dari masing-masing arah saja. Untuk gaya geser dasar lantai untuk setiap arah gempa dapat dilihat pada Tabel lampiran.

4.2.6. Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai merupakan selisih nilai defleksi pada pusat massa gedung antara lantai teratas dan lantai dibawahnya. Berdasarkan SNI 1726:2012, simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Pada Tabel 4.10 menunjukkan hasil nilai perpindahan maksimum dan simpangan antar lantai pada setiap lantai pada tabel 4.11.

Tabel 4.10: Nilai simpangan antar lantai maximum (gempa x & y) berdasarkan SNI 1726:2012.

| Lantai | h (m) | Perpindahan Elastis (δ_e) | | Perpindahan Total ($\delta_e * C_d$)/ I_e | | Simpangan Antar Lantai (Δ) | | Syarat 0,020hs x | Cek X | Cek Y |
|--------|-------|------------------------------------|-------|---|-------|-------------------------------------|-------|------------------------|----------|----------|
| | | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | | | |
| 7 | 3 | 0,018 | 0,010 | 0,083 | 0,047 | 0,013 | 0,008 | 0,460 | OK | OK |
| 6 | 3,3 | 0,016 | 0,009 | 0,070 | 0,039 | 0,015 | 0,009 | 0,400 | OK | OK |
| 5 | 3,3 | 0,012 | 0,007 | 0,055 | 0,030 | 0,011 | 0,008 | 0,334 | OK | OK |
| 4 | 3,3 | 0,010 | 0,005 | 0,044 | 0,022 | 0,015 | 0,008 | 0,268 | OK | OK |
| 3 | 3,3 | 0,007 | 0,003 | 0,030 | 0,014 | 0,014 | 0,007 | 0,202 | OK | OK |
| 2 | 3,3 | 0,004 | 0,002 | 0,016 | 0,008 | 0,011 | 0,005 | 0,136 | OK | OK |
| 1 | 3,5 | 0,001 | 0,001 | 0,006 | 0,003 | 0,006 | 0,003 | 0,070 | OK | OK |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

Tabel 4.11: Nilai simpangan antar lantai yang telah diskalakan berdasarkan SNI 1726:2012.

| lt | h (m) | perpindahan elastis (δ_e) | | perpindahan total ($\delta_e \cdot c_d$)/ie | | simpangan antar lantai (δ) | | syarat | Cek | |
|----|----------|------------------------------------|----------|---|----------|-------------------------------------|----------|--------------|-----|-----|
| | | X (m) | Y (m) | X (m) | y (m) | x (m) | y (m) | 0,020hs x | x | Y |
| 7 | 3 | 0,032 | 0,018 | 0,146 | 0,081 | 0,023 | 0,013 | 0,460 | oke | Oke |
| 6 | 3,3 | 0,027 | 0,015 | 0,122 | 0,067 | 0,026 | 0,015 | 0,400 | oke | Oke |
| 5 | 3,3 | 0,021 | 0,012 | 0,096 | 0,052 | 0,019 | 0,014 | 0,334 | oke | Oke |
| 4 | 3,3 | 0,017 | 0,008 | 0,078 | 0,038 | 0,026 | 0,013 | 0,268 | oke | Oke |
| 3 | 3,3 | 0,012 | 0,005 | 0,052 | 0,024 | 0,024 | 0,012 | 0,202 | oke | Oke |
| 2 | 3,3 | 0,006 | 0,003 | 0,028 | 0,013 | 0,018 | 0,009 | 0,136 | oke | Oke |
| 1 | 3,5 | 0,002 | 0,001 | 0,010 | 0,004 | 0,010 | 0,004 | 0,070 | oke | Oke |
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |

4.2.7. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (*Soft Story*)

Berdasarkan SNI 1726:2012, kekakuan tingkat lunak (*soft story*) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Pemeriksaan ketidakberaturan tingkat lunak dilakukan dengan cara menghitung kekakuan lateral tiap lantai. Perhitungan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x dan y untuk Model 1 dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan 4.12.

Tabel 4.12: Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada gempa arah x.

| S | Load Case | Stiffness | R1 | R2 | Soft Story | | Extreme Soft Story | |
|------|-----------|------------|--------|--------|------------|-----------|--------------------|-----------|
| | | kN/m | (%) | (%) | R1 < 70 % | R2 < 80 % | R1 < 60 % | R2 < 70 % |
| Lt 7 | gempa x | 41778,42 | - | - | - | - | - | - |
| Lt 6 | gempa x | 152610,008 | 365,28 | 365,28 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 5 | gempa x | 235824,674 | 154,53 | 154,53 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 4 | gempa x | 416156,818 | 176,47 | 214,27 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 3 | gempa x | 574076,366 | 137,95 | 214,05 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 2 | gempa x | 772130,995 | 134,50 | 224,02 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 1 | gempa x | 1536759,81 | 199,03 | 307,63 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |

Tabel 4.12: Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada gempa arah y.

| S | Load Case | Stiffness | R1 | R2 | Soft Story | Extreme Soft Story | | |
|------|-----------|-------------|--------|--------|------------|--------------------|-------|-------|
| | | | | | | kN/m | (%) | (%) |
| Lt 7 | gempa x | 135906,68 | - | - | - | - | - | - |
| Lt 6 | gempa x | 344613,483 | 365,28 | 365,28 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 5 | gempa x | 501918,957 | 154,53 | 154,53 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 4 | gempa x | 860288,846 | 176,47 | 214,27 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 3 | gempa x | 1236942,314 | 137,95 | 214,05 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 2 | gempa x | 1659491,313 | 134,50 | 224,02 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 1 | gempa x | 3411978,904 | 199,03 | 307,63 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |

4.2.8. Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012, efek P-Delta dapat diabaikan jika nilai stability ratio lebih kecil dari 0,1. Kontrol pengaruh P-Delta untuk arah x dan y tertera pada Tabel 4.13 dan 4.14.

Tabel 4.13: Kontrol P-Delta pada arah x.

| Lantai | Tinggi (m) | Story Drift (Δ) (m) | Gaya Geser Seismik, V_x (kN) | Beban Vertikal Total (kN) | Beban Vertikal Kumulatif (kN) | Stability Ratio (θ_x) | Cek <0,1 |
|--------|------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------|
| 7 | 23 | 0,0132 | 121,7 | 4190,7 | 4190,7 | 0,00439 | tidak |
| 6 | 20 | 0,0150 | 508,1 | 4224,3 | 8415,0 | 0,00275 | tidak |
| 5 | 16,7 | 0,0106 | 759,5 | 4190,7 | 12605,7 | 0,00234 | tidak |
| 4 | 13,4 | 0,0146 | 1357,3 | 3938,6 | 16544,3 | 0,00295 | tidak |
| 3 | 10,1 | 0,0135 | 1631,3 | 2488,8 | 19033,0 | 0,00347 | tidak |
| 2 | 6,8 | 0,0105 | 1816,7 | 2457,6 | 21490,6 | 0,00408 | tidak |
| 1 | 3,5 | 0,0056 | 1901,3 | 1949,5 | 23440,2 | 0,00440 | tidak |
| 0 | 0 | 0,0000 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00000 | tidak |

Tabel 4.14: Kontrol P-Delta pada arah y.

| Lantai | Tinggi (m) | Story Drift (m) | Gaya Geser Seismik, V_x (kN) | Beban Vertikal Total (kN) | Beban Vertikal Kumulatif (kN) | Stability Ratio (θ_x) | Cek |
|--------|------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|
| 7 | 23 | 0,0078 | 237,0 | 4190,7 | 4190,7 | 0,0013 | tidak |
| 6 | 20 | 0,0087 | 663,1 | 4224,3 | 8415,0 | 0,0012 | tidak |

Tabel 4.14: *Lanjutan.*

| | | | | | | | |
|---|------|--------|--------|--------|---------|--------|-------|
| 5 | 16,7 | 0,0084 | 918,1 | 4190,7 | 12605,7 | 0,0015 | tidak |
| 4 | 13,4 | 0,0077 | 1415,9 | 3938,6 | 16544,3 | 0,0015 | tidak |
| 2 | 6,8 | 0,0050 | 1849,9 | 2457,6 | 21490,6 | 0,0019 | tidak |
| 1 | 3,5 | 0,0025 | 1930,5 | 1949,5 | 23440,2 | 0,0020 | tidak |
| 0 | 0 | 0,0000 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0000 | tidak |

4.3. Hasil Analisa dengan peta gempa 2012

4.3.1 Analisa Respon Spektrum Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2012, analisa harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisa harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Data modal partisipasi massa dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15: Data perioda hasil Program Analisis Struktur.

| Mode | Period | UX | UY | SumUX | SumUY |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 0,66 | 0,659 | 0 | 0,659 | 0 |
| 2 | 0,476 | 0 | 0,6513 | 0,659 | 0,6513 |
| 3 | 0,346 | 0,0073 | 0 | 0,6663 | 0,6513 |
| 4 | 0,182 | 0,2091 | 0 | 0,8755 | 0,6513 |
| 5 | 0,116 | 0 | 0,2396 | 0,8755 | 0,8909 |
| 6 | 0,086 | 0,0126 | 0 | 0,888 | 0,8909 |
| 7 | 0,08 | 0,0731 | 0 | 0,9611 | 0,8909 |
| 8 | 0,053 | 0,0153 | 0 | 0,9764 | 0,8909 |
| 9 | 0,052 | 0 | 0,074 | 0,9764 | 0,9649 |
| 10 | 0,043 | 0,0115 | 0 | 0,988 | 0,9649 |
| 11 | 0,037 | 0,0002 | 0 | 0,9881 | 0,9649 |
| 12 | 0,036 | 0,009 | 0 | 0,9972 | 0,9649 |

Dapat dilihat pada Tabel 4.16 persentase nilai periode yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC atau SRSS.

Tabel 4.16: Hasil selisih persentase nilai perioda.

| <i>Mode</i> | Persentase (%) | CQC < 15% | SRSS > 15% |
|-------------|----------------|-----------|------------|
| T1-T2 | 28% | N.OK | OK |
| T2-T3 | 27% | N.OK | OK |
| T3-T4 | 47% | N.OK | OK |
| T4-T5 | 36% | N.OK | OK |
| T5-T6 | 26% | N.OK | OK |
| T6-T7 | 7% | OK | N.OK |
| T7-T8 | 34% | N.OK | OK |
| T8-T9 | 2% | OK | N.OK |
| T9-T10 | 17% | OK | N.OK |
| T10-T12 | 14% | N.OK | OK |
| T11-T12 | 3% | OK | N.OK |

Analisa menggunakan Metode Kombinasi Kuadrat Lengkap SRSS tertera pada Tabel 4.2, karena nilai perioda rata-rata yang didapat memiliki waktu getar yang berdekatan yaitu selisihnya lebih kecil dari 15%.

4.3.2 Berat Struktur

Berat struktur didapat dari hasil pemodelan dengan menggunakan program analisis struktur. Peneliti tidak melakukan perhitungan manual dikarenakan program analisis struktur melakukan perhitungan untuk menghitung berat struktur secara otomatis. Tabel 4.3 menunjukkan besarnya massa, pusat massa serta pusat kekakuan tiap lantai yang diperhitungkan dalam analisis dinamik respon spektrum dengan menggunakan program analisis struktur.

Tabel 4.17: Massa struktur, pusat massa dan pusat kekakuan.

| Diaphragm | Mass X | Mass Y | XCM | YCM | XCCM | YCCM |
|-----------|-----------|----------|------|---------|------|---------|
| | Kg | Kg | M | M | M | M |
| Lantai 1 | 430610,4 | 430610,4 | 12,5 | 12,6682 | 12,5 | 12,6682 |
| Lantai 2 | 427186,8 | 427186,8 | 12,5 | 12,6585 | 12,5 | 12,6585 |
| Lantai 3 | 427186,8 | 427186,8 | 12,5 | 12,6585 | 12,5 | 12,6585 |
| Lantai 4 | 401484 | 401484 | 12,5 | 13,0312 | 12,5 | 13,0312 |
| Lantai 5 | 253698 | 253698 | 12,5 | 17,4661 | 12,5 | 17,4661 |
| Lantai 6 | 250517,4 | 250517,4 | 12,5 | 17,4594 | 12,5 | 17,4594 |
| Lantai 7 | 198730,8 | 198730,8 | 12,5 | 17,3931 | 12,5 | 17,3931 |
| Jumlah = | 2389414,2 | | | | | |

4.3.3 Koreksi Gempa Dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, kombinasi respon untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V_1) menggunakan prosedur gaya lateral ekivalen, maka gaya dan simpangan antar lantai harus dikalikan dengan faktor skala yaitu:

$$0,85 \frac{V_1}{V_t} \geq 1 \quad (4.1)$$

dimana:

V_1 = Gaya geser dasar nominal statik ekivalen

V_t = Gaya geser dasar kombinasi ragam

Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekivalen dan respon spektrum tertera pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.18: Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekivalen.

| Arah Gempa | V_1 (KN) |
|------------|------------|
| Gempa X | 3920,1073 |
| Gempa Y | 3920,1073 |

Tabel 4.19: Nilai gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum dengan peta gempa 2012 *output* program analisis struktur.

| <i>Base Reaction</i> | | | | |
|----------------------|--------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <i>Output Case</i> | <i>Case Type</i> | <i>Step Type</i> | <i>Global F_x</i> | <i>Global F_y</i> |
| <i>Text</i> | <i>Text</i> | <i>Text</i> | kN | kN |
| Gempa X | <i>LinRespSpec</i> | <i>Max</i> | 2085,6586 | 623,3467 |
| Gempa Y | <i>LinRespSpec</i> | <i>Max</i> | 621,4426 | 2092,059 |

Periksa:

- Arah X

$V_i < 0,85 V_l$, gunakan faktor skala.

2085,6635 KN < 0,85. KN

2085,6635 KN < 3332,091239 KN (gunakan faktor skala)

- Arah Y

$V_t < 0,85 V_l$, gunakan faktor skala.

$$2092,059 \text{ KN} < 0,85 \cdot 3920,1073 \text{ KN}$$

$$2092,059 \text{ KN} < 3332,091239 \text{ KN} \text{ (gunakan faktor skala)}$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa nilai gaya geser dasar ragam (V_t) lebih kecil dari 85 persen gaya geser dasar yang dihitung menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen (V_l) untuk arah x, sehingagaya gempa rencana yang diinput pada program analisis struktur harus dikalikan dengan faktor skala yang melebihi 1,00 sesuai arahnya. Berikut ini merupakan nilai faktor skala yang akan dikalikan dengan gaya gempa rencana.

$$\text{Faktor skala} : 0,85 \frac{V_l}{V_t} > 1$$

$$\begin{aligned} \text{Gempa X} & : 0,85 \frac{3920,1073}{2085,6635} > 1 \\ & 1,5976 < 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gempa Y} & : 0,85 \frac{3920,1073}{2092,059} > 1 \\ & 1,5927 > 1 \end{aligned}$$

Tabel 4.20: Perbandingan gaya geser dasar statik dan dinamik serta faktor skala.

| Vt (CQC) (X-Dir) - (kN) | Vt (CQC) (Y-Dir) - (kN) | 0,85*Cs W (ELF) | 0,85*Cs W (ELF) | Faktor Skala | |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------|--------|
| | | (X-Dir) - (kN) | (Y-Dir) - (kN) | Arah X | Arah Y |
| 1901,296 | 1930,487 | 1449,610 | 2020,045 | 0,5976 | 1,5927 |

4.3.4 Koreksi Faktor Redundansi

Untuk struktur yang dirancang kategori desain seismik D, redundansi (ρ) harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, dimana redundansi (ρ) diijinkan diambil 1,0. Salah satu kondisi untuk menentukan yaitu masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau, maka redundansi (ρ) diijinkan diambil 1,0. Apabila kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka redundansi (ρ) 1,0 harus diganti dengan redundansi (ρ) 1,3. Sebagaimana tertera pada Tabel 4.19.

Tabel 4.21: Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* redundansi (ρ) 1,0.

| Lantai | V _x | V _y | 35 % V _x | 35 % V _y | Kontrol | Kontrol |
|--------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|---------|---------|
| | (kN) | kN | Base Shear | BaseShear | | |
| Lt 7 | 136,7319 | 40,7405 | 729,9822 | 732,2207 | Not Ok | Not Ok |
| Lt 6 | 555,5535 | 165,5323 | 729,9822 | 732,2207 | Not Ok | Not Ok |
| Lt 5 | 832,859 | 248,158 | 729,9822 | 732,2207 | Ok | Ok |
| Lt 4 | 1490,2305 | 444,0279 | 729,9822 | 732,2207 | Ok | Ok |
| Lt 3 | 1788,8112 | 532,9927 | 729,9822 | 732,2207 | Ok | Ok |
| Lt 2 | 1990,7048 | 593,1488 | 729,9822 | 732,2207 | Ok | Ok |
| Lt 1 | 2085,6635 | 621,4426 | 729,9822 | 732,2207 | Ok | Ok |
| Base | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

4.3.5. Gaya Geser Lantai

Gaya geser lantai merupakan distribusi dari gaya geser dasar yang dibagi pada setiap lantai untuk masing-masing arah gempa. Nilai gaya geser setiap lantai maksimum untuk arah x dan y didapat dari hasil pemodelan struktur dengan menggunakan program analisis struktur yang dapat disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.22: Nilai gaya geser pada setiap lantai.

| Tingkat | Tinggi (m) | Lokasi | V _x (kN) | V _y (kN) |
|---------|------------|--------|---------------------|---------------------|
| 7 | 23 | Top | 659,6423 | 720,3184 |
| | | Bottom | 218,4452 | 427,8116 |
| 6 | 20 | Top | 1303,7196 | 1395,3161 |
| 6 | 20 | Bottom | 887,5617 | 1147,5098 |
| 5 | 16,7 | Top | 1780,39 | 1870,7126 |
| | | Bottom | 1330,5896 | 1574,4511 |
| 4 | 13,4 | Top | 2380,8174 | 2427,6462 |
| | | Bottom | 2380,8174 | 2427,6462 |
| 3 | 10,1 | Top | 2857,8350 | 2872,2052 |
| | | Bottom | 2857,8350 | 2872,2052 |
| 2 | 6,8 | Top | 3180,3836 | 3177,3936 |
| | | Bottom | 3180,3836 | 3177,3936 |
| 1 | 3,5 | Top | 3332,0834 | 3332,0834 |

4.3.6. Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai merupakan selisih nilai defleksi pada pusat massa gedung antara lantai teratas dan lantai dibawahnya. Berdasarkan SNI 1726:2012, simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Pada Tabel 4.21 menunjukkan hasil nilai perpindahan dan simpangan antar lantai pada setiap lantai.

Tabel 4.23: Nilai simpangan antar lantai maximum (gempa x & y) berdasarkan SNI1726:2012.

| Tingkat | h (m) | Perpindahan Elastis (δ_e) | | Perpindahan Total ($\delta_e * C_d$)/ I_e | | Simpangan Antar Lantai (Δ) | | Syarat | Cek | |
|---------|-------|------------------------------------|-------|---|-------|-------------------------------------|-------|--------|----------------|----|
| | | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | | 0,020 h_{sx} | X |
| 7 | 3 | 0,020 | 0,011 | 0,091 | 0,050 | 0,014 | 0,008 | 0,460 | OK | OK |
| 6 | 3,3 | 0,017 | 0,009 | 0,077 | 0,042 | 0,016 | 0,009 | 0,400 | OK | OK |
| 5 | 3,3 | 0,013 | 0,007 | 0,060 | 0,032 | 0,012 | 0,009 | 0,334 | OK | OK |
| 4 | 3,3 | 0,011 | 0,005 | 0,049 | 0,023 | 0,016 | 0,008 | 0,268 | OK | OK |
| 3 | 3,3 | 0,007 | 0,003 | 0,033 | 0,015 | 0,015 | 0,007 | 0,202 | OK | OK |
| 2 | 3,3 | 0,004 | 0,002 | 0,018 | 0,008 | 0,012 | 0,005 | 0,136 | OK | OK |
| 1 | 3,5 | 0,001 | 0,001 | 0,006 | 0,003 | 0,006 | 0,003 | 0,070 | OK | OK |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

Tabel 4.24: Nilai simpangan antar lantai yang telah dikalikan faktor skala berdasarkan SNI 1726:2012.

| Lt | h (m) | Perpindahan Elastis (δ_e) | | Perpindahan Total ($\delta_e * C_d$)/ I_e | | Simpangan Antar Lantai (Δ) | | Syarat | Cek | |
|----|-------|------------------------------------|-------|---|-------|-------------------------------------|-------|--------|----------------|-----|
| | | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | | 0,020 h_{sx} | X |
| 7 | 3 | 0,032 | 0,018 | 0,146 | 0,080 | 0,023 | 0,013 | 0,460 | OKE | OKE |
| 6 | 3,3 | 0,027 | 0,015 | 0,122 | 0,067 | 0,026 | 0,015 | 0,400 | OKE | OKE |
| 5 | 3,3 | 0,021 | 0,011 | 0,096 | 0,052 | 0,019 | 0,014 | 0,334 | OKE | OKE |
| 4 | 3,3 | 0,017 | 0,008 | 0,078 | 0,037 | 0,026 | 0,013 | 0,268 | OKE | OKE |
| 3 | 3,3 | 0,012 | 0,005 | 0,052 | 0,024 | 0,024 | 0,011 | 0,202 | OKE | OKE |
| 2 | 3,3 | 0,006 | 0,003 | 0,028 | 0,013 | 0,018 | 0,009 | 0,136 | OKE | OKE |
| 1 | 3,5 | 0,002 | 0,001 | 0,010 | 0,004 | 0,010 | 0,004 | 0,070 | OKE | OKE |
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 | | |

4.3.7. Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (*Soft Story*)

Berdasarkan SNI 1726:2012, bangunan gedung dengan kekakuan vertikal yang tidak baik adalah bangunan yang dalam tingkat yang lemah atau *soft story*. Hasil kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x dan y .

Tabel 4.25: Nilai kekakuan antar lantai arah x berdasarkan SNI 1726:2012.

| S | Load Case | Stiffness kN/m | R1 (%) | R2 (%) | Soft Story | Extreme Soft Story | | |
|------|-----------|----------------|--------|--------|------------|--------------------|-----------|-----------|
| | | | | | R1 < 70 % | R2 < 80 % | R1 < 60 % | R2 < 70 % |
| Lt 7 | gempa x | 42801,519 | - | - | - | - | - | - |
| Lt 6 | gempa x | 152220,505 | 355,64 | 355,64 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 5 | gempa x | 235851,94 | 154,94 | 154,94 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 4 | gempa x | 416684,849 | 176,67 | 214,75 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 3 | gempa x | 574080,615 | 137,77 | 214,01 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 2 | gempa x | 771719,854 | 134,43 | 223,88 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 1 | gempa x | 1537944,899 | 199,29 | 307,84 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |

Tabel 4.26: Nilai kekakuan antar lantai arah y berdasarkan SNI 1726:2012.

| S | Load Case | Stiffness kN/m | R1 (%) | R2 (%) | Soft Story | Extreme Soft Story | | |
|------|-----------|----------------|--------|--------|------------|--------------------|-----------|-----------|
| | | | | | R1 < 70 % | R2 < 80 % | R1 < 60 % | R2 < 70 % |
| Lt 7 | gempa y | 143414,37 | - | - | - | - | - | - |
| Lt 6 | gempa y | 348717,932 | 355,64 | 355,64 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 5 | gempa y | 503433,648 | 154,94 | 154,94 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 4 | gempa y | 862828,728 | 176,67 | 214,75 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 3 | gempa y | 1240213,897 | 137,77 | 214,01 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 2 | gempa y | 1667020,813 | 134,43 | 223,88 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 1 | gempa y | 3436414,939 | 199,29 | 307,84 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |

4.3.8. Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012, efek P-Delta dapat diabaikan jika nilai stability ratio lebih kecil dari 0,1. Kontrol pengaruh P-Delta untuk arah x dan y tertera pada Tabel 4.27 dan 4.28.

Tabel 4.27: kontrol P-delta arah x.

| Lantai | h (m) | Story Drift (Δ) (m) | Gaya Geser Seismik, V_x (kN) | Beban Vertikal Total (kN) | Beban Vertikal Kumulatif (kN) | Stability Ratio (θ_x) | Cek |
|--------|-------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|
| 7 | 23 | 0,0145 | 121,7 | 4224,3 | 4224,3 | 0,00436 | tidak |
| 6 | 20 | 0,0164 | 508,1 | 4190,7 | 8415,0 | 0,00272 | tidak |
| 5 | 16,7 | 0,0116 | 759,5 | 4190,7 | 12605,7 | 0,00231 | tidak |
| 4 | 13,4 | 0,0160 | 1357,3 | 3938,6 | 16544,3 | 0,00292 | tidak |
| 3 | 10,1 | 0,0148 | 1631,3 | 2488,8 | 19033,0 | 0,00343 | tidak |
| 2 | 6,8 | 0,0116 | 1816,7 | 2457,6 | 21490,6 | 0,00402 | tidak |
| 1 | 3,5 | 0,0062 | 1901,3 | 1949,5 | 23440,2 | 0,00434 | tidak |
| 0 | 0 | 0,0000 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00000 | tidak |

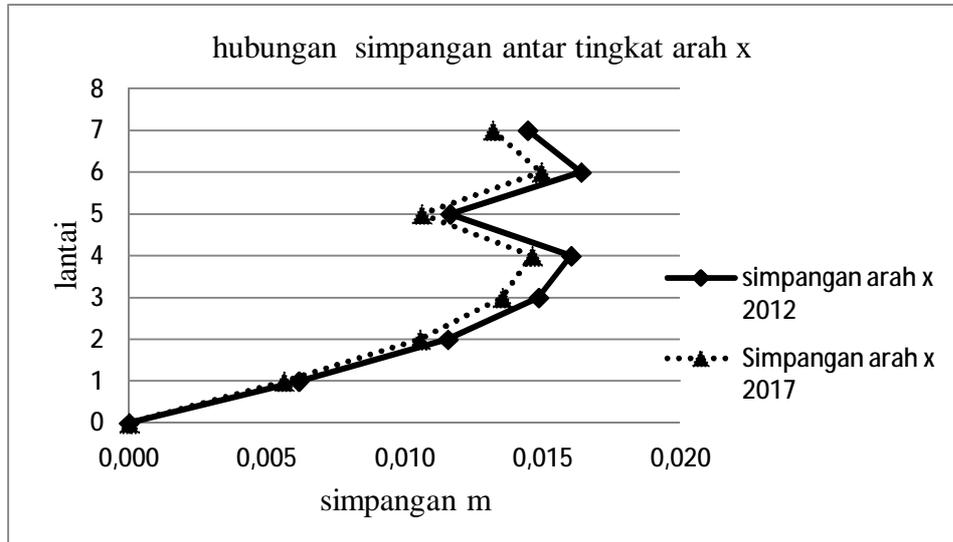
Tabel 4.28: kontrol P-delta arah y.

| Lantai | H (m) | Story Drift (m) | Gaya Geser Seismik, V_x (kN) | Beban Vertikal Total (kN) | Beban Vertikal Kumulatif (kN) | Stability Ratio (θ_x) | Cek |
|--------|-------|-----------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|
| 7 | 23 | 0,0083 | 237,0 | 4224,3 | 4224,3 | 0,0013 | tidak |
| 6 | 20 | 0,0093 | 663,1 | 4190,7 | 8415,0 | 0,0012 | tidak |
| 5 | 16,7 | 0,0090 | 918,1 | 4190,7 | 12605,7 | 0,0015 | tidak |
| 4 | 13,4 | 0,0083 | 1415,9 | 3938,6 | 16544,3 | 0,0014 | tidak |
| 3 | 10,1 | 0,0072 | 1675,4 | 2488,8 | 19033,0 | 0,0016 | tidak |
| 2 | 6,8 | 0,0053 | 1849,9 | 2457,6 | 21490,6 | 0,0018 | tidak |
| 1 | 3,5 | 0,0027 | 1930,5 | 1949,5 | 23440,2 | 0,0019 | tidak |
| 0 | 0 | 0,0000 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0000 | tidak |

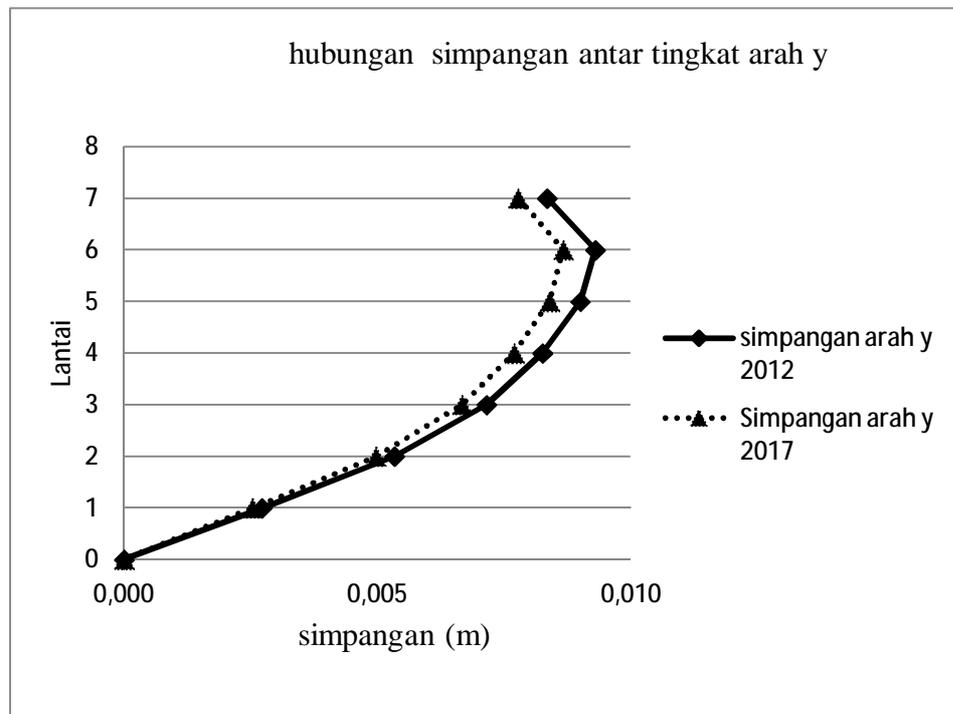
4.3.9. Perbandingan Simpangan Antar tingkat Untuk Peta Gempa 2017 Dan Peta Gempa 2012

Berikut ini akan dijelaskan perbandingan simpangan antar lantai (*story drift*) yang terjadi pada bangunan akibat pengaruh dari peta gempa 2017 dan dan peta gempa 2012 pada diagram, sesuai dengan tabel 4.11 untuk peta gempa 2017 dan tabel 4.22 untuk peta gempa 2012, dimana perbandingan dilakukan dengan arah yang sama, Gambar 4.13 menjelaskan perbandingan simpangan arah X dan Gambar 4.14 menjelaskan perbandingan simpangan arah Y yang telah dikalikan faktor skala. Dan selanjutnya dijelaskan diagram perpindahan (*total drift*)

maksimum terhadap tingkat pada struktur gedung dengan peta gempa 2017 yang ditunjukkan dengan tabel 4.10. dan peta gempa 2012 yang ditunjukkan dengan tabel 4.11. Berdasarkan SNI:1726:2012, pada arah yang sama.

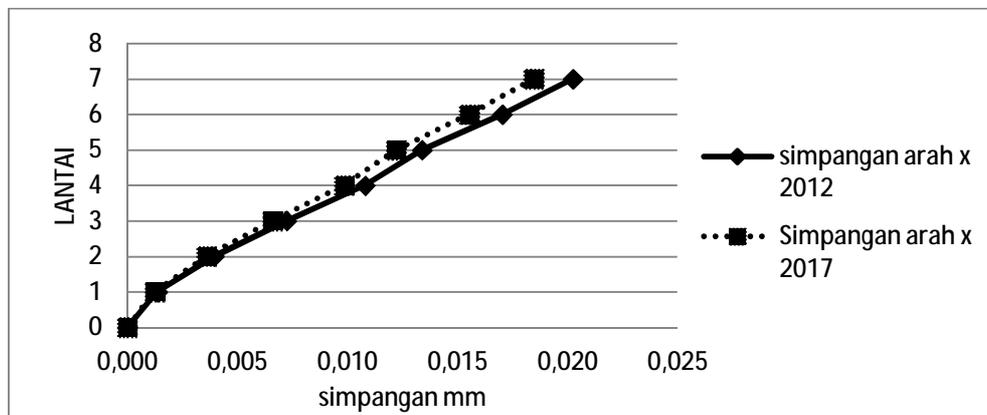


Gambar 4.1: Perbandingan simpangan antar tingkat arah x.

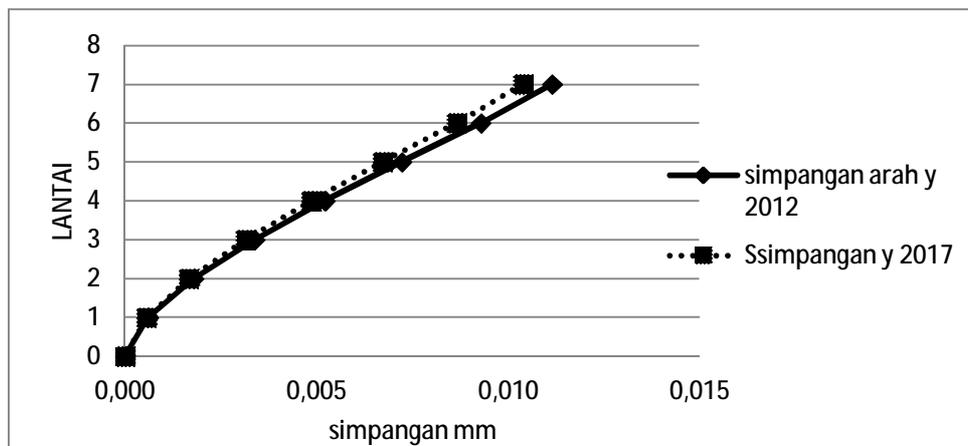


Gambar 4.2: Perbandingan simpangan antar tingkat arah y.

Dari perbandingan diagram perpindahan *story drift* diatas dapat disimpulkan bahwa simpangan antar tingkat untuk arah X tidak begitu besar dikatenakan adanya penambahan dinding geser, dimana hasil simpangan arah x pada peta gempa 2017 sebesar 0,013 m dan untuk simpangan arah x pada gempa 2012 sebesar 0,014 m. Sedangkan simpangan arah y dengan peta gempa 2017 sebesar 0,008 m dan untuk simpangan arah y dengan peta gempa 2012 adalah sebesar 0,008 m. Dan selanjutnya pada gambar 4.3 dan tabel 4.4 akan ditunjukkan besarnya perpindahan (*total drift*) yang diakibatkan oleh gempa arah x dan gempa arah y, dipengaruhi peta gempa 2017 berdasarkan tabel 4.10 nilai simpangan antar lantai maximum dan yang dipengaruhi peta gempa 2012 berdasarkan tabel 4.23 .



Gambar 4.3: Diagram perbandingan nilai perpindahan(*total drift*) arah y akibat dari peta gempa 2017 dan peta gempa 2012.



Gambar 4.4: Diagram perbandingan nilai perpindahan(*total drift*) arah y akibat dari peta gempa 2017 dan peta gempa 2012.

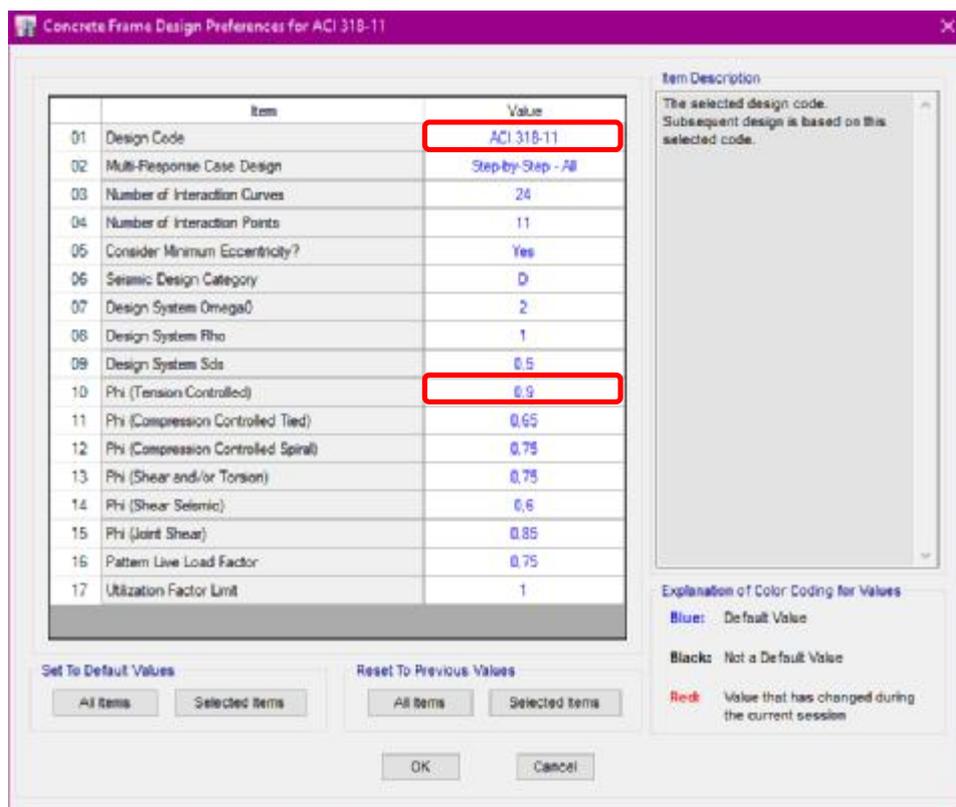
4.4. Perhitungan Struktur Dengan ETABS V16.2

4.4.1 Peraturan yang Digunakan

Peraturan yang digunakan adalah SNI Struktur Beton untuk Gedung 03-2847-2013 yang mengadopsi peraturan ACI 318-11. Perbedaan yang harus disesuaikan adalah faktor reduksi untuk SNI Beton Indonesia. Perbedaan faktor reduksi tersebut karena masih lemahnya tingkat pengawasan kerja dan mutu untuk proyek konstruksi di Indonesia. Faktor reduksi berdasarkan SNI Beton 03-2847-2013 Pasal 9.3 adalah sebagai berikut.

- Reduksi lentur (bending) = 0,9

Nilai reduksi tersebut dapat diganti pada ETABS dengan cara *Options – Preferences – Concrete Frame Design* dapat dilihat pada Gambar 4.5.

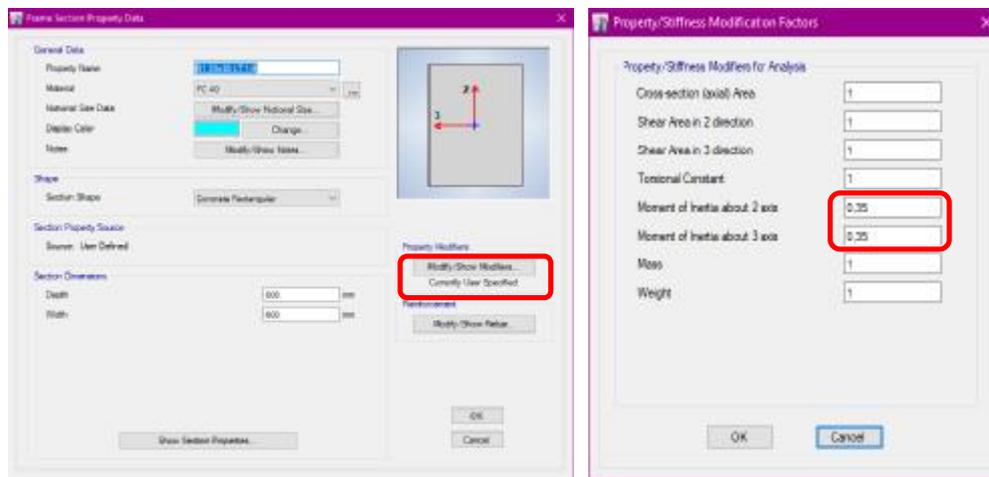


Gambar 4.5: Penyesuaian Faktor Reduksi sesuai SNI Beton 03-2847-2013

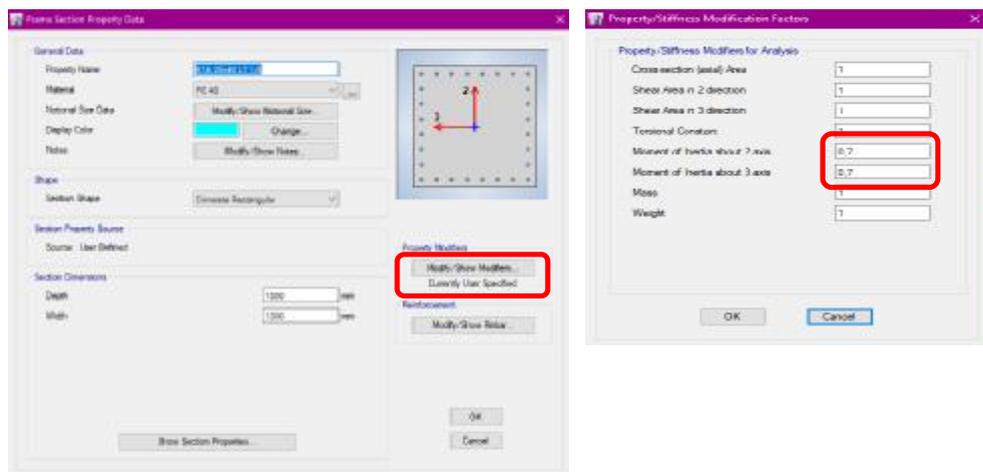
4.4.2 Efektifitas Penampang

Pada struktur beton pengaruh keretakan beton harus diperhitungkan terhadap kekakuannya. Maka, momen inersia penampang unsur struktur dapat ditentukan sebesar momen inersia penampang utuh dikalikan dengan persentase efektifitas penampang berdasarkan SNI Beton 03-2847-2013 Pasal 10.10.4.1 sebagai berikut. Balok = $0,35 I_g$, Kolom = $0,70 I_g$, Plat Lantai = $0,25 I_g$

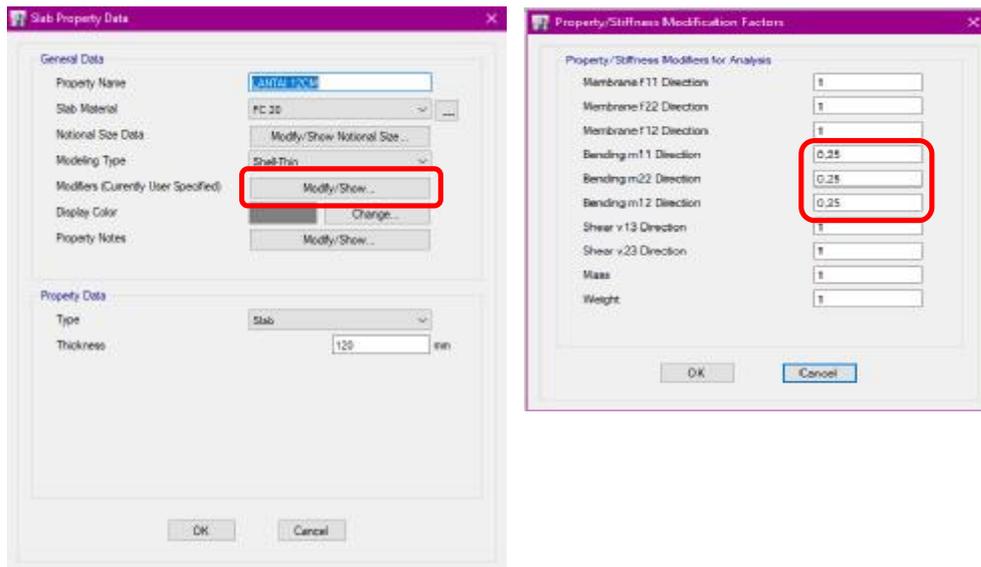
Nilai persentase efektifitas penampang tersebut diinput ke ETABS dengan cara *Define – Frame Sections – Modify/ Show Property – Set Modifiers* dapat dilihat pada Gambar 4.6 sampai Gambar 4.8.



Gambar 4.6: Contoh Input Nilai Persentase Efektifitas Penampang Balok



Gambar 4.7: Contoh Input Nilai Persentase Efektifitas Penampang Kolom



Gambar 4.8: Contoh Input Nilai Persentase Efektifitas Penampang Plat Lantai

4.4.3 Analisi Gaya Dalam

Analisis untuk mengetahui besarnya gaya dalam berupa momen dan gaya geser dapat dilakukan dengan cara *Analyze – Run Analyze*. Kemudian *Display – Show Member Forces/ Stress Diagram – Frame/ Pier/ Spandrel Forces* dapat dilihat pada Gambar 4.9.



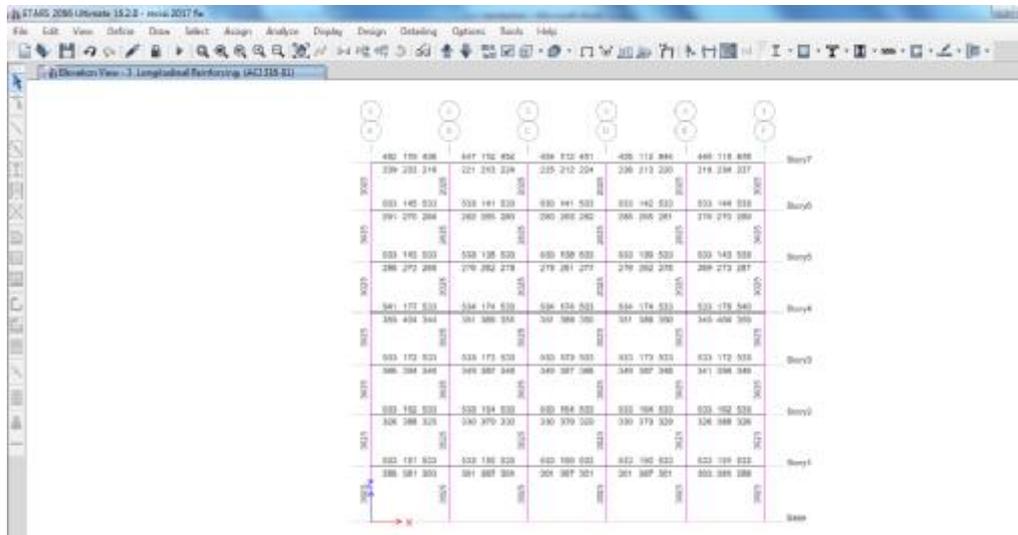
Gambar 4.9: Pilihan untuk Menampilkan Diagram Momen dan Gaya Geser

Keterangan :

- *Axial Force* : untuk menampilkan gaya aksial.
- *Shear 2-2* : untuk menampilkan gaya geser pada sumbu 2-2.
- *Shear 3-3* : untuk menampilkan gaya geser pada sumbu 3-3.
- *Torsi* : untuk menampilkan besarnya torsi.
- *Moment 2-2* : untuk menampilkan momen pada sumbu 2-2.
- *Moment 3-3* : untuk menampilkan momen pada sumbu 3-3.
- *Fill Diagram* : untuk menampilkan warna pada diagram momen dan gaya geser.
- *Show Values on Diagram* : untuk menampilkan nilai pada diagram momen dan gaya geser.

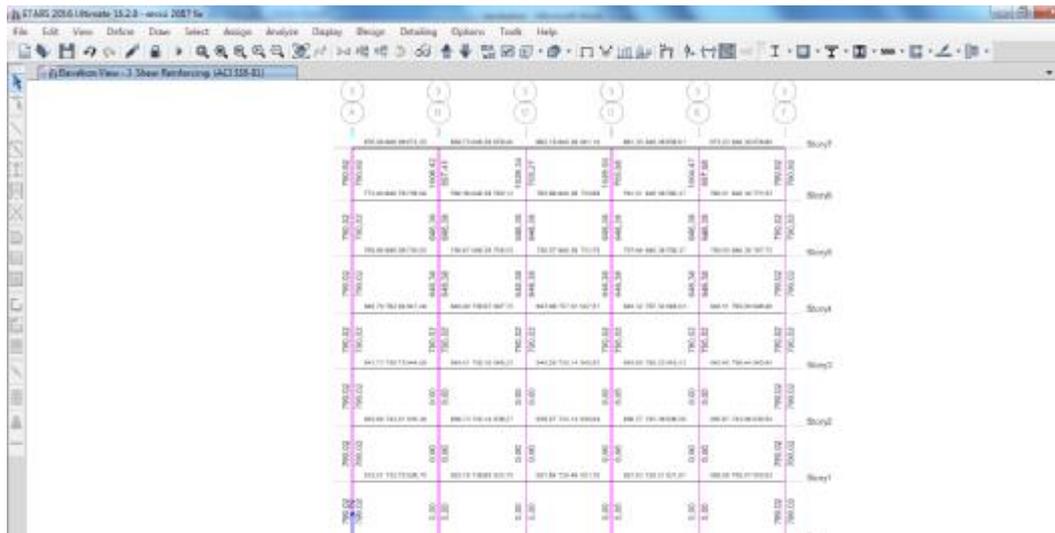
4.4.4 Penulangan Balok

Luas tulangan utama balok secara otomatis dapat diketahui dengan cara *Design – Concrete Frame Design – Display Design Info – Longitudinal Reinforcing*. Balok yang akan dianalisis dapat dilihat pada Gambar 4.14.



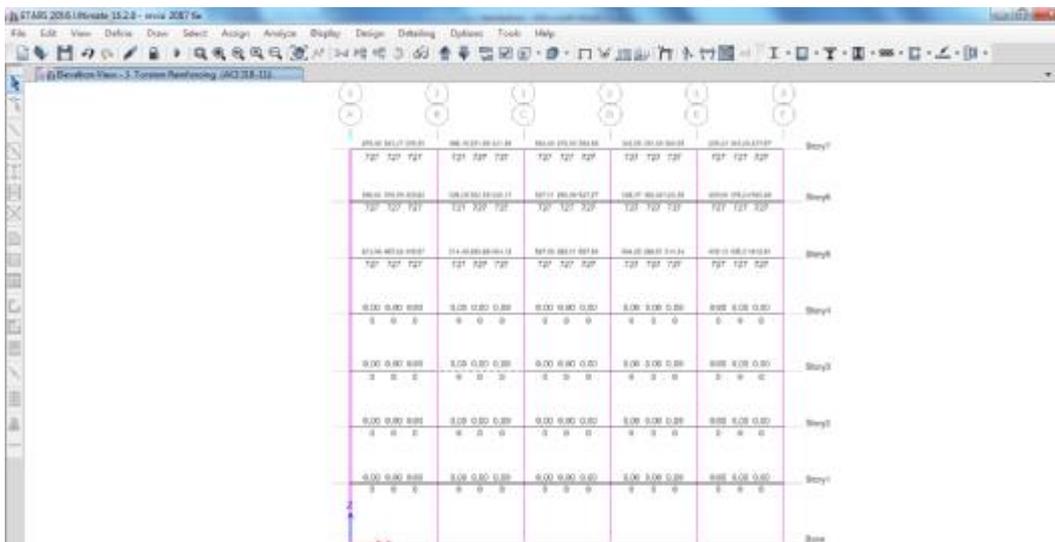
Gambar 4.14: Tampak Luas Tulangan Utama Balok Arah Memanjang

Luas tulangan geser (senggang) secara otomatis dapat diketahui dengan cara *Design – Concrete Frame Design – Display Design Info – Shear Reinforcing* dapat dilihat pada Gambar 4.15.



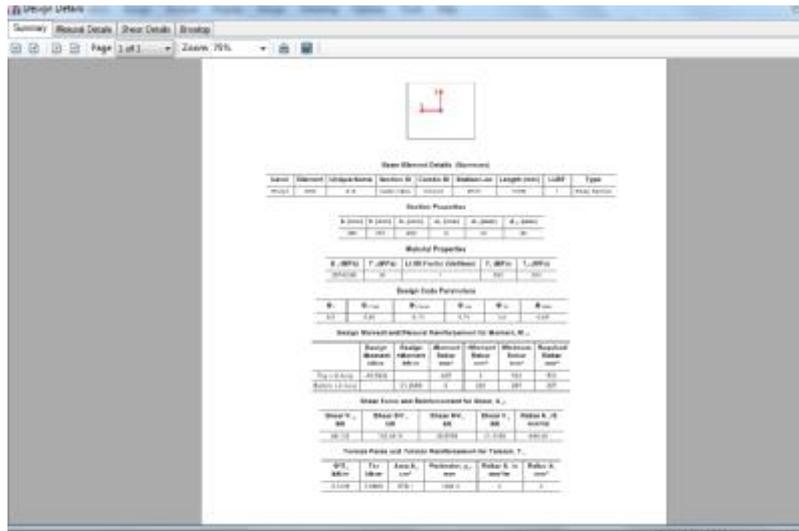
Gambar 4.15: Tampak Luas Tulangan Geser (sengkan) Arah Memanjang

Luas tulangan torsi secara otomatis dapat diketahui dengan cara Design – Concrete Frame Design – Display Design Info – Torsion Reinforcing dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16: Tampak Luas Tulangan Torsi Arah Memanjang

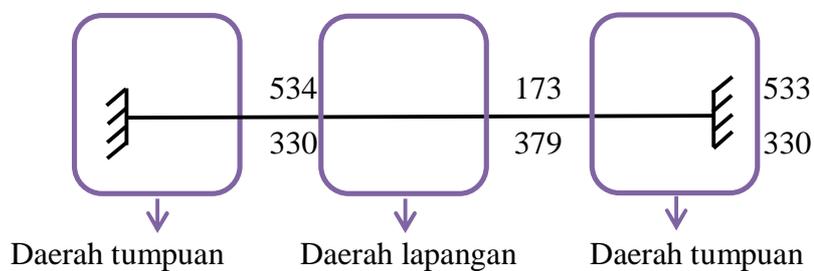
Detail besarnya momen, gaya geser, torsi, dan luas tulangan balok yang ditinjau dapat diketahui dengan cara klik kanan elemen, kemudian *Summary* dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17: Detail Informasi Momen, Luas Tulangan, Gaya Geser, dan Torsi, Balok yang Ditinjau

4.4.4.1 Desain Tulangan Utama Balok

Detail luas tulangan utama yang ditinjau pada Gambar 10.12 ditunjukkan sebagai berikut.



Digunakan tulangan ulir diameter 16 (D16) $\rightarrow A_s = \frac{1}{4} JI d^2$
 $= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 256 = 200 \text{ mm}^2$

- a. Tulangan utama daerah tumpuan :

Luas tulangan bagian atas = 534 mm² \rightarrow jumlah tulangan
 $= 534 / 200 = 2,3 \approx 3$

Luas tulangan bagian bawah = 330 mm² \rightarrow jumlah tulangan
 $= 330 / 200 = 1,4 \approx 2$

- b. Tulangan utama daerah lapangan :

Luas tulangan bagian atas = 173 mm² \rightarrow jumlah tulangan

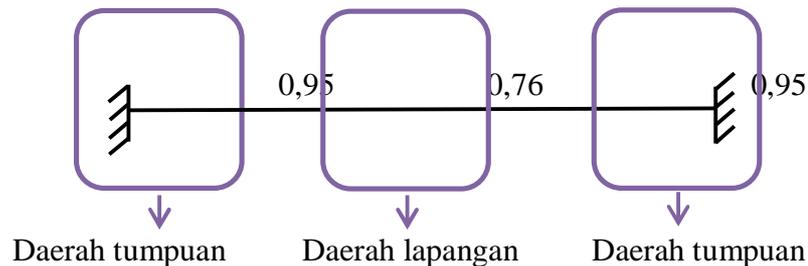
$$= 173 / 200 = 0,865 \approx 1$$

Luas tulangan bagian bawah = 375 mm² → jumlah tulangan

$$= 375 / 200 = 1,875 \approx 2$$

4.4.4.2 Desain Tulangan Geser (Sengkang)

Detail luas tulangan geser (sengkang) yang ditinjau pada Gambar 10.13 ditunjukkan sebagai berikut.



Digunakan tulangan polos diameter 12 → $A_s = \frac{1}{4} JI d^2$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 144 = 113 \text{ mm}^2$$

a. Tulangan geser daerah tumpuan :

Asumsi digunakan sengkang 2P12 - 125 (sengkang 2 kaki diameter 12 mm setiap jarak 125 mm), maka luas tulangan per 1 m

$$= 2 \times \frac{1}{4} JI d^2 \times 1000/125$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 144 \times 1000/125 = 1808 \text{ mm}^2.$$

Sehingga luas tulangan per meter panjang = 1808 / 1000 = 1,808 mm²/ mm.

Kontrol keamanan : 1,808 > 0,95 → sengkang aman dan mampu menahan gaya geser

b. Tulangan geser daerah lapangan :

Asumsi digunakan sengkang 2P12- 150 (sengkang 2 kaki diameter 13 mm setiap jarak 200 mm), maka luas tulangan per 1 m

$$= 2 \times \frac{1}{4} JI d^2 \times 1000/150$$

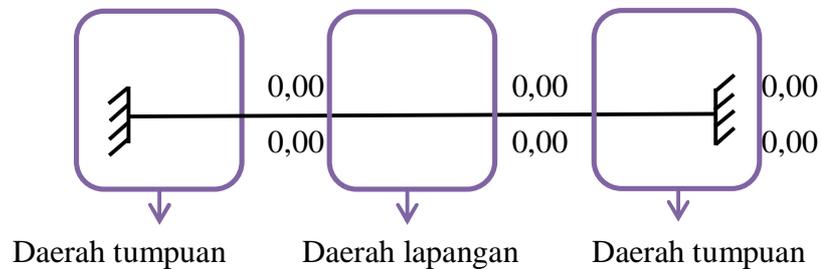
$$= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 144 \times 1000/150 = 1597 \text{ mm}^2.$$

Sehingga luas tulangan per meter panjang = 1597/1000 = 1,597 mm²/ mm.

Kontrol keamanan : 1,597 > 0,76 → sengkang aman dan mampu menahan gaya geser.

4.4.4.3 Desain Tulangan Torsi

Detail dari luas tulangan torsi pada balok yang ditinjau pada Gambar 10.12 ditunjukkan sebagai berikut.



Bagian atas menunjukkan luas tulangan torsi untuk sengkang dan bagian bawah menunjukkan luas tulangan torsi untuk tulangan utama (atas dan bawah). Karena luas tulangan torsi lebih kecil dari luas tulangan utama dan sengkang, maka tidak diperlukan tulangan untuk torsi.

4.4.4.4 Desain Tulangan Badan

Dimensi balok yang relatif tinggi (lebih dari 400 mm) membuat resiko retak pada bagian badan semakin besar. Maka harus diberi tulangan pinggang dengan jarak antar tulangan maksimal $d/6$ atau 200 mm (diambil yang terkecil).

Perhitungan $d =$ tinggi balok - selimut - $D_{sengkang} - \frac{1}{2} D_{tul. utama}$

$$= 450 - 40 - 12 - (\frac{1}{2} \times 16) = 391 \text{ mm}$$

Maka diambil jarak tulangan minimum 250 mm, sehingga dengan tinggi balok 450 mm digunakan 2 buah tulangan badan pada masing- masing sisi.

4.4.4.5 Kontrol Persyaratan Pada SRPMK

Berdasarkan SNI Beton 03-2847-2013 Pasal 21.5 komponen struktur lentur SRPMK harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Gaya aksial terfaktor pada balok dibatasi maksimum $A_g \times f_c' / 10$

$$\text{Cek : } A_g \times f_c' / 10 = (350 \times 450) \times 40 \text{ Mpa} / 10 = 630 \text{ kN.}$$

Dari perhitungan ETABS gaya aksial yang terjadi adalah 0. Nilai tersebut dapat diketahui dengan *Run – Display – Show Table – Frame Result – Beam Forces*. Jadi $0 < 630 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$.

- b. Bentang bersih struktur minimal 4x tinggi efektifnya.

$$\text{Tinggi efektif} = (d) = 450 - (40 + 12 + \frac{1}{2} \times 16) = 390 \text{ mm} \times 4 = 1560 \text{ mm.}$$

$$\text{Bentang bersih balok} = \text{bentang balok} - \text{dimensi kolom} = 5000 - (550/2) = 4725 \text{ mm. Jadi } 4725 \text{ mm} > 1560 \text{ mm} \rightarrow \text{OK.}$$

- c. Perbandingan lebar dan tinggi minimal 0,3h

$$b = 350 \text{ mm, } h = 450 \text{ mm, } b/h = 350/450 = 0,77.$$

$$\text{Jadi } 0,77 > 0,3 \rightarrow \text{OK.}$$

- d. Lebar elemen tidak boleh :

$$\text{Kurang dari } 250 \text{ mm, } b = 350 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \rightarrow \text{OK.}$$

Melebihi lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) + jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi dari $\frac{3}{4}$ tinggi struktur lentur.

$$\text{Jadi } b = 350 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \rightarrow \text{OK.}$$

- e. Persyaratan Tulangan Longitudinal

Luas tulangan atas dan bawah tidak boleh kurang dari persyaratan tulangan minimum untuk struktur lentur sesuai SNI Beton 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.1 :

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{40}}{490} \times 350 \times 450 = 373$$

$$A_s \text{ min} = 1,4 b_w d / f_y = 1,4 \times 350 \times 450 / 400 = 596$$

Berdasarkan output tulangan pada Gambar 10.10, luas tulangan di daerah lapangan bagian atas 457 mm² dan bagian bawah 550 mm², sehingga luas tulangan total = 1007 mm² > 942 mm² → OK.

Cek rasio tulangan :

$$\rho = \frac{A_s}{b.d} = \frac{596}{450 \times 350} = 0,002792$$

$$\rho_b = \beta \frac{0,85 \times f_c}{f_y} = 0,85 \frac{0,85 \times 40}{400} = 0,05898$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,05898 = 0,04423$$

Berdasarkan SNI Beton 03-2847-2002 Pasal 23.3.2, batas rasio tulangan yang digunakan adalah 0,025.

Jadi $\rho < \rho_{max}$ dan $\rho < 0,025 \rightarrow \text{OK.}$

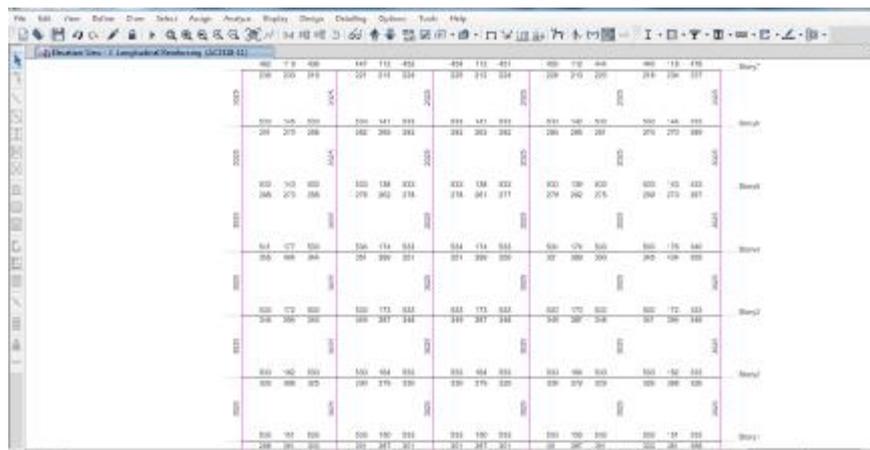
- f. Persyaratan Tulangan Geser

Tulangan geser/ sengkang yang dipasang pada sendi plastis harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Sengkang tertutup pertama harus dipasang \varnothing 50 mm dari muka tumpuan.
- Jarak sengkang tidak boleh lebih = dari $d/4$
Cek : jarak sengkang tumpuan 150 mm < $736/4 = 184 \rightarrow$ OK.
- Jarak sengkang tidak boleh lebih dari 8 Dutama.
Cek : jarak sengkang tumpuan 150 mm < $8 \times 22 = 176 \rightarrow$ OK.
- Jarak sengkang tidak boleh lebih dari 24Dsengkang.
Cek : jarak sengkang tumpuan 150 mm < $24 \times 13 = 312 \rightarrow$ OK.
- Jarak sengkang tidak melebihi 300 mm.
Cek : jarak sengkang tumpuan 150 mm < 300 \rightarrow OK.
- Jarak sengkang maksimum di sepanjang balok adalah $d/2$
Cek : jarak sengkang lapangan 150 mm < $736/2 = 368$ mm \rightarrow OK.

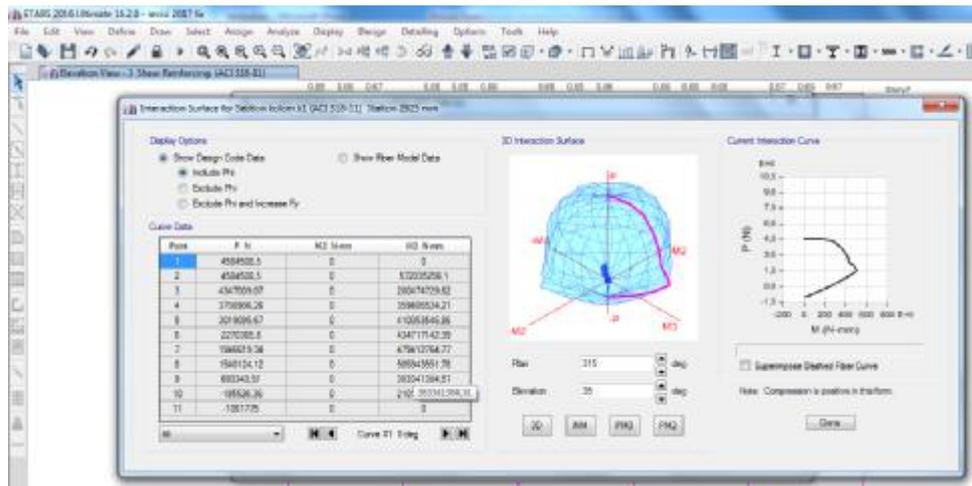
4.4.5 Penulangan Kolom

Luas tulangan utama kolom secara otomatis dapat diketahui dengan cara *Design – Concrete Frame Design – Display Design Info – Longitudinal Reinforcing*. Kolom yang akan dianalisis ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18: Tampak Luas Tulangan Utama Kolom Arah Memanjang

Luas tulangan geser (sengkang) secara otomatis dapat diketahui dengan cara *Design – Concrete Frame Design – Display Design Info – Shear Reinforcing* ditunjukkan pada Gambar 4.19.



Gambar 4.21: Diagram Interaksi Kolom yang Ditinjau

4.4.5.1 Desain Tulangan Utama Kolom

Detail dari luas tulangan utama kolom yang ditinjau = 5500 mm². Digunakan tulangan ulir diameter 25 → $A_s = \frac{1}{4} \pi d^2$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 625 = 490,6 \text{ mm}^2$$

Maka jumlah tulangan yang dibutuhkan = $5500 / 490,6 = 11,2$ → digunakan 11 tulangan agar dapat tersebar disemua sisi kolom. Jadi tulangan utama kolom adalah 11D25.

4.4.5.2 Desain Tulangan Geser Kolom

Dari ETABS detail luas tulangan geser (sengkang) kolom yang ditinjau = 0,79 mm². Digunakan tulangan polos 3D12 → $A_s = 3 \times \frac{1}{4} \pi d^2$

$$= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 144 = 602 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang = $0,79 / 339,12 = 0,23 \text{ mm}$ → digunakan 150 mm (sesuai persyaratan). Jadi tulangan geser (sengkang) kolom adalah 3P12- 150.

4.4.5.3 Kontrol Persyaratan Pada SRPMK

Berdasarkan SNI Beton 03-2847-2013 Pasal 21.6 komponen struktur yang menerima kombinasi lentur dan aksial pada SRPMK harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Gaya aksial terfaktor maksimal yang bekerja pada kolom harus melebihi $0,1 A_g \times f_c' / 10$
 Cek : $=(550 \text{ mm} \times 550 \text{ mm}) \times 40 \text{ N/mm}^2 / 10 = 1210 \text{ kN}$.
 Dari hasil analisis ETABS diperoleh P_u sebesar $1783,742 \text{ kN}$ Jadi $333891 \geq 1210 \rightarrow \text{OK}$
- b. Sisi terpendek kolom tidak boleh kurang dari 300 mm .
 Cek : lebar penampang kolom $550 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$.
- c. Rasio dimensi tidak boleh kurang dari $0,4$
 Cek : lebar penampang kolom $550 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$.
- d. Persyaratan Tulangan Geser
 Tulangan geser / sengkang kolom yang dipasang harus memenuhi persyaratan sesuai SNI Beton 03-2847-2013 Pasal 23.4 .4.2 bahwa jarak maksimum sengkang dipilih yang terkecil diantara:
- $\frac{1}{4}$ dimensi penampang kolom terkecil.
 Cek : jarak sengkang kolom di tumpuan $120 \text{ mm} < \frac{1}{4} \times 550 = 137 \text{ mm} \text{ OK}$
 - Jarak sengkang tidak boleh lebih dari $6 D_{utama}$.
 Cek : jarak sengkang kolom di tumpuan $150 \text{ mm} < 6 \times 25 = 150 \rightarrow \text{OK}$.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dalam studi ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari perbandingan diagram perpindahan *story drift* diatas dapat disimpulkan bahwa simpangan antar lantai untuk arah X tidak begitu besar dikatenakan adanya penambahan dinding geser, dimana hasil simpangan arah x pada peta gempa 2017 sebesar 0,013 m dan untuk simpangan arah x pada gempa 2012 sebesar 0,014 m. Sedangkan simpangan arah y dengan peta gempa 2017 sebesar 0,008m dan untuk simpangan arah y dngan peta gempa 2012 adalah sebesar 0,008 m.
2. Pebandingan simpangan dengan peta gempa 2017 dan peta gempa 2012 tidak terlalu jauh diakibatkan adanya dinding geser.

5.2 SARAN

Berikut ini adalah beberapa saran yang dapat penulis sampaikan setelah melakukan pengerjaan tugas akhir ini, yaitu:

1. Pada tugas akhir ini analisa struktur yang dibuat hanya menggunakan 1 model struktur, untuk itu sebaiknya digunakan 2 model struktur sebagai perbandingan.
2. Tugas akhir ini di analisa dengan analisa linier, sebaiknya digunakan analisa non linier untuk meninjau kinerja struktur.
3. Tugas Akhir ini dianalisa untuk kondisi tanah sedang. Disarankan untuk selanjutnya agar kondisi tanah lunak dan tanah keras juga dianalisa sebagai bahan perbandingan dalam perencanaan

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013*. Jakarta : Standar Nasional Indonesia
- Badan Standarisasi Nasional, 2013. *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain SNI 03-1727-2013*. Jakarta : Standar Nasional Indonesia
- Badan Standarisasi Nasional, 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726-2012*. Jakarta : Standar Nasional Indonesia
- Istimawan, D. (1994) *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama.
- McCormac, J.C., Sumargo, E. (2004). *Desain Beton Bertulang*, Jakarta: Erlangga.
- Sudarmoko. (1996) *Perencanaan dan Analisis Kolom Beton Bertulang*, Yogyakarta: Biro.
- Imran, I. dan Hendrik, F. (2009) *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Berdasarkan SNI 2847-2002*. Bandung: ITB.
- Jack, C. dan Cormac Mc. (2004) *Desain Beton Bertulang Jilid 1*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Kementrian Pekerjaan Umum. (1987) *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Murty, C. V. R. dkk. (2009) *Perilaku Bangunan Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Dinding Pengisi dari Bata terhadap Gempa*. Jakarta: Universitas Trisakti.
- sitompul, M. (2014) *Catatan Kuliah M.K. Vibrasi dan Teori Gempa*. Medan: UMSU.
- Suprayetno. (2015) *Analisa Perbandingan Simpangan Struktur Rangka Pemikul Momen Dengan Dinding Geser Berdasarkan Pemodelan Struktur Yang Berbeda*. Laporan Tugas Akhir. Program Studi Teknik Sipil. Medan. UMSU
- Yuliari, E. dan Suhelda. 2008, *Evaluasi Perbandingan Konsep Desain Dinding Geser Tahan Gempa Berdasarkan SNI Beton*. Laporan Tugas Akhir. Bandung: Program Studi Teknik Sipil, ITB.

LAMPIRAN

LAMPIRAN

A. Perencanaan Struktur

A1. Perhitungan Tebal Pelat Lantai

Perencanaan tebal pelat lantai mengacu kepada SNI 2847;2013, pelat lantai menggunakan sistem pelat dua arah dimana rasio perbandingan antara $l_y/l_x \leq 2$.

Berikut ini adalah perhitungan tebal pelat pelat dua arah:

$$\begin{aligned} - Lx1 &= 5000 \text{ mm} \\ - Lx2 &= 5500 \text{ mm} \\ - Lx3 &= 5500 \text{ mm} \\ - Ly3 &= 5500 \text{ mm} \\ - Fy &= 400 \text{ Mpa} \\ - \beta &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{min} &= \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} & h_{max} &= \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36} \\ h_{min} I &= \frac{5000 \left(0,8 + \frac{400}{1400} \right)}{36 + 9(1)} & h_{max} I &= \frac{5000 \left(0,8 + \frac{400}{1400} \right)}{36} \\ &= 118,5184 \text{ mm} & &= 148,1481 \text{ mm} \end{aligned}$$

A2. Perhitungan Beban Tambahan Beban Mati

A2.1. Beban Mati Tambahan Pelat Lantai

Berikut ini perhitungan beban mati tambahan pada lantai

a. Beban Mati Tambahan Pada Pelat (atap)

| | | | | | | |
|-------------------------|---|-----|-------------------|---|------|-------------------|
| 1. Plafon + penggantung | = | 18 | Kg/m ² | = | 0,18 | KN/m ² |
| 2. Plaster (3 x21) | = | 63 | Kg/m | = | 0,63 | KN/m ² |
| 3. Waterproof | = | 5 | Kg/m ² | = | 0,05 | KN/m ² |
| 4. M & E | = | 40 | Kg/m ² | = | 0,4 | KN/m ² |
| Total beban mati | = | 126 | Kg/m ² | = | 1,26 | KN/m ² |

b. Beban Mati Tambahan Pada Lantai 1-6

| | |
|------------------------------------|--|
| 1. Spesi lantai keramik (t = 3 cm) | = 63 Kg/m ² = 0,63 KN/m ² |
| 2. Penutup lantai keramik | = 24 Kg/m ² = 0,24 KN/m ² |
| 3. Plafon + penggantung | = 18 Kg/m ² = 0,18 KN/m ² |
| 4. M & E | = 40 Kg/m ² = 0,4 KN/m ² |
| Total beban mati | = 145 Kg/m ² = 1,45 KN/m ² |

B. PEHITUNGAN ANALISA

B1. Periode Alami Struktur

Penentuan periode fundamental struktur akan diperlukan dalam analisa prosedur gaya lateral ekuivalen yang berdarakan SNI 1726:2012.

1. Gedung dengan peta gempa 2012.

Data struktur :

- Tinggi Lantai 1 = 3,5 m
- Tinggi Lantai 2-6 = 3,3 m
- Tinggi Lantai 6 -7 = 3 m
- h_n = 23 m
- C_u = 1,4
- C_t = 0,0488
- x = 0,75

Tabel B1: Penentuan periode fundamental struktur dengan peta gempa 2012 berdasarkan SNI 1726:2012.

| Syarat Periode | | | | |
|----------------|------------------------------------|---|-------------|---------------|
| Arah | $T_{a \min}$ $C_t \times h_n^x$ | $T_{a \max}$ $T_{a \min} \times C_u$ | T_{etabs} | $T_{dipakai}$ |
| X | 0,513 | 0,718 | 0,66 | 0,718 |
| Y | 0,513 | 0,718 | 0,46 | 0,718 |

periode alami struktur yang digunakan adalah periode dari hasil $T_{a \max}$ yaitu 0,718 untuk x dan 0,718 untuk arah y. Dikarenakan nilai periode dari hasil analisis

ETABS v.16 lebih kecil dari periode maksimum yang berdasarkan SNI 1726:2012.

2. Gedung dengan peta gempa 2017

Data struktur :

- Tinggi Lantai 1 = 3,5 m
- Tinggi Lantai 2-6 = 3,3 m
- Tinggi Lantai 6-7 = 3 m
- h_n = 23 m
- C_u = 1,4
- C_t = 0,0488
- x = 0,75

Tabel B2: Penentuan periode fundamental struktur dengan peta gempa 2017 berdasarkan SNI 1726:2012.

| Syarat Perioda | | | | |
|----------------|------------------------------------|---|-------------|---------------|
| Arah | $T_{a \min}$ $C_t \times h_n^x$ | $T_{a \max}$ $T_{a \min} \times C_u$ | T_{etabs} | $T_{dipakai}$ |
| X | 0,513 | 0,718 | 0,66 | 0,718 |
| Y | 0,513 | 0,718 | 0,46 | 0,718 |

periode alami struktur yang digunakan adalah periode dari hasil $T_{a \max}$ yaitu 0,718 untuk x dan 0,718 untuk arah y. Dikarenakan nilai periode dari hasil analisis ETABS v.16 lebih kecil dari periode maksimum yang berdasarkan SNI 1726;2012.

B.2 Prosedur Perhitungan Gaya Lateral Ekuivalen

Berikut ini adalah perhitungan gaya lateral statik ekuivalen dari masing-masing model.

a. Gedung dengan peta gempa 2012

Data-data:

- S_{DS} = 0,833
- S_{D1} = 0,5
- R = 5
- I_e = 1,0
- T_x = 0,513 detik
- T_y = 0,513 detik

Dengan menggunakan perhitungan mencari C_s , didapatkan nilai C_s yang digunakan yang ditabulasikan pada Tabel B1.

Tabel B3: Perhitungan nilai C_s .

| Arah | C_s minimum | C_s hitungan | C_s maksimum | C_s yang digunakan |
|-------------|---------------|----------------|----------------|----------------------|
| T1(Arah Y) | 0,167 | 0,139 | 0,050 | 0,139 |
| T2 (Arah X) | 0,167 | 0,139 | 0,050 | 0,139 |

$$\begin{aligned}
 - V_X &= C_s \times W_t \\
 &= 0,139 \times 2389414,2 \\
 &= 333002,66 \text{ kg} \\
 &= 3266,7561 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - V_Y &= C_s \times W_t \\
 &= 0,139 \times 2389414,2 \\
 &= 333002,66 \text{ kg} \\
 &= 3266,7561 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Mencari nilai k_y dan k_x

$$\begin{aligned}
 k_x &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (T_x - 0,5) & k_y &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (T_y - 0,5) \\
 &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (0,718 - 0,5) & &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (0,718 - 0,5) \\
 &= 1,1 & &= 1,1
 \end{aligned}$$

Tabel b.4: Perhitungan distribusi vertikal gaya gempa dan distribusi horizontal gaya gempa arah x.

| Lantai | Tingkat (h_i) (m) | Berat (w_i) (kN) | $w_i h_i^k$ | C_{vx} | F_x (kN) | V_x (kN) |
|--------|-----------------------|----------------------|-------------|----------|------------|------------|
| Lt 7 | 23 | 1949,549 | 63062,9789 | 0,1731 | 565,6307 | 565,6307 |
| Lt 6 | 20 | 2457,576 | 68084,3619 | 0,1869 | 610,6690 | 1176,2997 |
| Lt 5 | 16,7 | 2488,777 | 56454,0349 | 0,1550 | 506,3531 | 1682,6529 |
| Lt 4 | 13,4 | 3938,558 | 69989,8430 | 0,1922 | 627,7598 | 2310,4127 |
| Lt 3 | 10,1 | 4190,703 | 54430,9940 | 0,1494 | 488,2079 | 2798,6206 |
| Lt 2 | 6,8 | 4224,288 | 35384,4778 | 0,0972 | 317,3740 | 3115,9946 |
| Lt 1 | 3,5 | 4190,703 | 16808,6211 | 0,0462 | 150,7616 | 3266,7561 |
| Total | 0 | 23440,153 | 364215,3117 | 1,0000 | 3266,7561 | 0 |

Tabel B.4: Perhitungan distribusi vertikal gaya gempa dan distribusi horizontal gaya gempa arah y.

| Lantai | Tingkat (h _i) (m) | Berat (w _i) (kN) | w _i h _i ^k | C _{vx} | F _x (kN) | V _y (kN) |
|--------|-------------------------------|------------------------------|--|-----------------|---------------------|---------------------|
| Lt 7 | 23 | 1949,549 | 63062,9789 | 0,1731 | 565,6307 | 565,6307 |
| Lt 6 | 20 | 2457,576 | 68084,3619 | 0,1869 | 610,6690 | 1176,2997 |
| Lt 5 | 16,7 | 2488,777 | 56454,0349 | 0,1550 | 506,3531 | 1682,6529 |
| Lt 4 | 13,4 | 3938,558 | 69989,8430 | 0,1922 | 627,7598 | 2310,4127 |
| Lt 3 | 10,1 | 4190,703 | 54430,9940 | 0,1494 | 488,2079 | 2798,6206 |
| Lt 2 | 6,8 | 4224,288 | 35384,4778 | 0,0972 | 317,3740 | 3115,9946 |
| Lt 1 | 3,5 | 4190,703 | 16808,6211 | 0,0462 | 150,7616 | 3266,7561 |
| Total | 0 | 23440,153 | 364215,3117 | 1,0000 | 3266,7561 | 0 |

Berikut ini adalah perhitungan gaya lateral statik ekuivalen dari masing-masing model.

1. Gedung dengan peta 2012

Data-data:

- S_{DS} = 0,932
- S_{D1} = 0,6
- R = 5
- I_e = 1,0
- T_X = 0,513 detik
- T_Y = 0,513 detik

Tabel B5: Perhitungan nilai C_s.

| Arah | C _s minimum | C _s hitungan | C _s maksimum | C _s yang digunakan |
|------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| T1(Arah Y) | 0,186 | 0,167 | 0,050 | 0,167 |
| T2(Arah X) | 0,186 | 0,167 | 0,050 | 0,167 |

- V_X = C_s x W_t
 = 0,139 x 2389414,2
 = 333002,66 kg
 = 3266,7561 kN
- V_Y = C_s x W_t
 = 0,139 x 2389414,2
 = 333002,66 kg
 = 3266,7561 kN

Mencari nilai k_y dan k_x

$$\begin{aligned}
 k_x &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (T_x - 0,5) & k_y &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (T_y - 0,5) \\
 &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (0,718 - 0,5) & &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (0,718 - 0,5) \\
 &= 1,1 & &= 1,1
 \end{aligned}$$

Tabel B6: Perhitungan distribusi vertikal gaya gempa dan distribusi horizontal gaya gempa arah x .

| Lantai | Tingkat (h _i) (m) | Berat (w _i) (kN) | w _i h _i ^k | C _{vx} | F _x (kN) | V _x (kN) |
|--------|-------------------------------|------------------------------|--|-----------------|---------------------|---------------------|
| Lt 7 | 23 | 1949,549 | 63062,979 | 0,173 | 679,030 | 679,030 |
| Lt 6 | 20 | 2457,576 | 68084,362 | 0,187 | 733,098 | 1412,128 |
| Lt 5 | 16,7 | 2488,777 | 56454,035 | 0,155 | 607,868 | 2019,997 |
| Lt 4 | 13,4 | 3938,558 | 69989,843 | 0,192 | 753,615 | 2773,612 |
| Lt 3 | 10,1 | 4190,703 | 54430,994 | 0,150 | 586,085 | 3359,697 |
| Lt 2 | 6,8 | 4190,703 | 35103,151 | 0,096 | 377,973 | 3737,670 |
| Lt 1 | 3,5 | 4224,288 | 16943,330 | 0,047 | 182,437 | 3920,107 |
| Total | 0 | 23440,153 | 364068,694 | 1,000 | 3920,107 | 0,000 |

Tabel B.7: Perhitungan distribusi vertikal gaya gempa dan distribusi horizontal gaya gempa arah y.

| Lantai | Tingkat (h _i) (m) | Berat (w _i) (kN) | w _i h _i ^k | C _{vx} | F _x (kN) | V _y (kN) |
|--------|-------------------------------|------------------------------|--|-----------------|---------------------|---------------------|
| Lt 7 | 23 | 1949,549 | 63062,979 | 0,173 | 679,030 | 679,030 |
| Lt 6 | 20 | 2457,576 | 68084,362 | 0,187 | 733,098 | 1412,128 |
| Lt 5 | 16,7 | 2488,777 | 56454,035 | 0,155 | 607,868 | 2019,997 |
| Lt 4 | 13,4 | 3938,558 | 69989,843 | 0,192 | 753,615 | 2773,612 |
| Lt 3 | 10,1 | 4190,703 | 54430,994 | 0,150 | 586,085 | 3359,697 |
| Lt 2 | 6,8 | 4190,703 | 35103,151 | 0,096 | 377,973 | 3737,670 |
| Lt 1 | 3,5 | 4224,288 | 16943,330 | 0,047 | 182,437 | 3920,107 |
| Total | 0 | 23440,153 | 364068,694 | 1,000 | 3920,107 | 0,000 |

B.3 HASIL ANALISA ETABS.

B.3.1 Gaya Geser Dasar

Berikut ini adalah Output hasil etabs gaya geser lantai untuk setiap arah gempa

1. Gaya Geser Dasar Akibat Gaya Gempa Peta Gempa 2012

a. Akibat peta gempa 2012 arah x.

Tabel B8: hasil analisa gaya geser arah x.

| Tingkat | Tinggi (m) | Lokasi | V _x (kN) | V _y (kN) |
|---------|------------|--------|---------------------|---------------------|
| 7 | 23 | Top | 412,8914 | 134,7530 |
| | | Bottom | 136,7319 | 80,0330 |
| 6 | 20 | Top | 816,0402 | 261,0276 |
| | | Bottom | 555,5535 | 214,6694 |
| 5 | 16,7 | Top | 1114,4058 | 349,9620 |
| | | Bottom | 832,8590 | 294,5391 |
| 4 | 13,4 | Top | 1490,2305 | 454,1499 |
| | | Bottom | 1490,2305 | 454,1499 |
| 3 | 10,1 | Top | 1788,8112 | 537,3154 |
| | | Bottom | 1788,8112 | 537,3154 |
| 2 | 6,8 | Top | 1990,7048 | 594,4083 |
| | | Bottom | 1990,7048 | 594,4083 |
| 1 | 3,5 | Top | 2085,6586 | 623,3467 |
| | | Bottom | 2085,6635 | 623,3482 |
| 0 | 0 | Top | 0 | 0 |
| | | Bottom | 0 | 0 |

Tabel B9: hasil analisa gaya geser arah y.

| Tingkat | Tinggi (m) | Lokasi | V _x (kN) | V _y (kN) |
|---------|------------|--------|---------------------|---------------------|
| 7 | 23 | Top | 123,0248 | 452,2531 |
| | | Bottom | 40,7405 | 268,6022 |
| 6 | 20 | Top | 243,1467 | 876,0515 |
| | | Bottom | 165,5323 | 720,4659 |
| 5 | 16,7 | Top | 332,0474 | 1174,5300 |
| | | Bottom | 248,1580 | 988,5217 |
| 4 | 13,4 | Top | 444,0279 | 1524,2017 |
| | | Bottom | 444,0279 | 1524,2017 |

Tabel B9: *lanjutan.*

| Tingkat | Tinggi (m) | Lokasi | V _x (kn) | V _y (kn) |
|---------|------------|--------|---------------------|---------------------|
| 3 | 10,1 | Top | 532,9927 | 1803,3188 |
| | | Bottom | 532,9927 | 1803,3188 |
| 2 | 6,8 | Top | 593,1488 | 1994,9318 |
| | | Bottom | 593,1488 | 1994,9318 |
| 1 | 3,5 | Top | 621,4411 | 2092,0541 |
| | | Bottom | 621,4426 | 2092,0590 |
| 0 | 0 | Top | 0 | 0 |
| | | Bottom | 0 | 0 |

B10: Nilai gaya geser maximum (x dan y) yang telah dikalikan faktor skala

| Tingkat | Tinggi (m) | Lokasi | V _x (kN) | V _y (kN) |
|---------|------------|--------|---------------------|---------------------|
| 7 | 23 | Top | 659,6423 | 720,3184 |
| | | Bottom | 218,4452 | 427,8116 |
| 6 | 20 | Top | 1303,7196 | 1395,3161 |
| | | Bottom | 887,5617 | 1147,5098 |
| 5 | 16,7 | Top | 1780,3935 | 1870,7126 |
| | | Bottom | 1330,5896 | 1574,4511 |
| 4 | 13,4 | Top | 2380,8174 | 2427,6462 |
| | | Bottom | 2380,8174 | 2427,6462 |
| 3 | 10,1 | Top | 2857,8350 | 2872,2052 |
| | | Bottom | 2857,8350 | 2872,2052 |
| 2 | 6,8 | Top | 3180,3836 | 3177,3936 |
| | | Bottom | 3180,3836 | 3177,3936 |
| 1 | 3,5 | Top | 3332,0834 | 3332,0834 |
| | | Bottom | 3332,0912 | 3332,0912 |
| 0 | 0 | Top | 0 | 0 |
| | | Bottom | 0 | 0 |

B.3.2 Gaya Geser Dasar akibat gaya gempa peta gempa 2017

Tabel B11: Nilai gaya geser pada setiap lantai akibat gempa x.

| Tingkat | Tinggi | Lokasi | V _x | V _y |
|---------|--------|--------|----------------|----------------|
| | (m) | | (kN) | (kN) |
| Story7 | 23 | Top | 375,8519 | 122,7149 |
| | | Bottom | 121,746 | 70,6285 |
| Story6 | 20 | Top | 745,5275 | 240,8539 |
| | | Bottom | 508,0603 | 197,5705 |
| Story5 | 16,7 | Top | 1016,454 | 325,1766 |
| | | Bottom | 759,5415 | 273,552 |
| Story4 | 13,4 | Top | 1357,341 | 421,8691 |
| | | Bottom | 1357,341 | 421,8691 |
| Story3 | 10,1 | Top | 1631,331 | 499,2002 |
| | | Bottom | 1631,331 | 499,2002 |
| Story2 | 6,8 | Top | 1816,735 | 551,1965 |
| | | Bottom | 1816,735 | 551,1965 |
| Story1 | 3,5 | Top | 1901,292 | 575,2051 |
| | | Bottom | 1901,296 | 575,2062 |
| Base | 0 | Top | 0 | 0 |
| | | Bottom | 0 | 0 |

Tabel B12: Nilai gaya geser pada setiap lantai akibat gempa y.

| Tingkat | Tinggi | Lokasi | V _x | V _y |
|---------|--------|--------|----------------|----------------|
| | (m) | | (kN) | (kN) |
| Story7 | 23 | Top | 111,9885 | 411,8515 |
| | | Bottom | 36,2753 | 237,0394 |
| Story6 | 20 | Top | 222,1368 | 808,3452 |
| | | Bottom | 151,3812 | 663,0792 |
| Story5 | 16,7 | Top | 302,8618 | 1091,346 |
| | | Bottom | 226,3124 | 918,0855 |
| Story4 | 13,4 | Top | 404,4322 | 1415,862 |
| | | Bottom | 404,4322 | 1415,862 |
| Story3 | 10,1 | Top | 486,0701 | 1675,398 |
| | | Bottom | 486,0701 | 1675,398 |
| Story2 | 6,8 | Top | 541,3128 | 1849,906 |
| | | Bottom | 541,3128 | 1849,906 |
| Story1 | 3,5 | Top | 566,5074 | 1930,483 |
| | | Bottom | 566,5087 | 1930,487 |
| Base | 0 | Top | 0 | 0 |
| | | Bottom | 0 | 0 |

Tabel B13. Gaya geser maximum arah x dan y yang telah dikalaikan faktor skala.

| Tingkat | Tinggi (m) | Lokasi | V _x (kN) | V _y (kN) |
|---------|------------|--------|---------------------|---------------------|
| 7 | 23 | Top | 658,6942 | 710,8709 |
| | | Bottom | 213,3643 | 409,1388 |
| 6 | 20 | Top | 1306,5642 | 1395,2337 |
| | | Bottom | 890,3942 | 1144,4992 |
| 5 | 16,7 | Top | 1781,3728 | 1883,7037 |
| | | Bottom | 1331,1242 | 1584,6495 |
| 4 | 13,4 | Top | 2378,7895 | 2443,8302 |
| | | Bottom | 2378,7895 | 2443,8302 |
| 3 | 10,1 | Top | 2858,9675 | 2891,7987 |
| | | Bottom | 2858,9675 | 2891,7987 |
| 2 | 6,8 | Top | 3183,8939 | 3193,0060 |
| | | Bottom | 3183,8939 | 3193,0060 |
| 1 | 3,5 | Top | 3332,0837 | 3332,0845 |
| | | Bottom | 3332,0912 | 3332,0912 |
| 0 | 0 | Top | 0 | 0 |
| | | Bottom | 0 | 0 |

B.3.3 Simpangan Antar Lantai

Berikut ini adalah nilai perpindahan dan simpangan antar lantai untuk setiap arah gempa.

1. Simpangan Antar Tingkat Akibat Gaya Gempa Peta Gempa 2012

Tabel B14: Nilai simpangan antar lantai akibat gempa x.

| Lt | H (m) | Perpindahan Elastis (δ_e) | | Perpindahan Total ($\delta_e \cdot C_d$)/ I_e | | Simpangan Antar Lantai (Δ) | | Syarat | Cek | |
|----|-------|------------------------------------|----------|---|--------|-------------------------------------|--------|--------|-----------------------|-----|
| | | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | | 0,020 h _{sx} | X |
| 7 | 3 | 0,020239 | 0,003319 | 0,0911 | 0,0149 | 0,0145 | 0,0025 | 0,460 | oke | oke |
| 6 | 3,3 | 0,017027 | 0,002766 | 0,0766 | 0,0124 | 0,0164 | 0,0028 | 0,400 | oke | oke |
| 5 | 3,3 | 0,013384 | 0,00215 | 0,0602 | 0,0097 | 0,0116 | 0,0027 | 0,334 | oke | oke |
| 4 | 3,3 | 0,010797 | 0,001554 | 0,0486 | 0,0070 | 0,0160 | 0,0025 | 0,268 | oke | oke |
| 3 | 3,3 | 0,007235 | 0,001007 | 0,0326 | 0,0045 | 0,0148 | 0,0021 | 0,202 | oke | oke |
| 2 | 3,3 | 0,003936 | 0,000534 | 0,0177 | 0,0024 | 0,0116 | 0,0016 | 0,136 | oke | oke |
| 1 | 3,5 | 0,001368 | 0,00018 | 0,0062 | 0,0008 | 0,0062 | 0,0008 | 0,070 | oke | oke |

Tabel B15: Nilai simpangan antar lantai akibat gempa y.

| Lt | h (m) | Perpindahan Elastis (δ_e) | | Perpindahan Total ($\delta_e * C_d$)/I _e | | Simpangan Antar Lantai (Δ) | | Syarat | Cek | Cek |
|----|-------|------------------------------------|----------|---|-------|-------------------------------------|--------|--------|-----|-----|
| | | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | | | |
| 7 | 3 | 0,006031 | 0,011139 | 0,0271 | 0,050 | 0,0043 | 0,0083 | 0,460 | oke | oke |
| 6 | 3,3 | 0,005073 | 0,009284 | 0,0228 | 0,041 | 0,0049 | 0,0093 | 0,400 | oke | oke |
| 5 | 3,3 | 0,003988 | 0,007217 | 0,0179 | 0,032 | 0,0035 | 0,0090 | 0,334 | oke | oke |
| 4 | 3,3 | 0,003217 | 0,005216 | 0,0145 | 0,023 | 0,0048 | 0,0083 | 0,268 | oke | oke |
| 3 | 3,3 | 0,002156 | 0,003381 | 0,0097 | 0,015 | 0,0044 | 0,0072 | 0,202 | oke | oke |
| 2 | 3,3 | 0,001173 | 0,001791 | 0,0053 | 0,008 | 0,0034 | 0,0053 | 0,136 | oke | oke |
| 1 | 3,5 | 0,000408 | 0,000605 | 0,0018 | 0,002 | 0,0018 | 0,0027 | 0,070 | oke | oke |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

Tabel B16: Nilai simpangan maksimum antar lantai akibat gempa x dan y.

| Tingkat | h (m) | Perpindahan Elastis (δ_e) | | Perpindahan Total ($\delta_e * C_d$)/I _e | | Simpangan Antar Lantai (Δ) | | Syarat | Cek | Cek |
|---------|-------|------------------------------------|-------|---|-------|-------------------------------------|-------|--------|-----|-----|
| | | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | | | |
| 7 | 3 | 0,020 | 0,011 | 0,091 | 0,050 | 0,014 | 0,008 | 0,460 | ok | ok |
| 6 | 3,3 | 0,017 | 0,009 | 0,077 | 0,042 | 0,016 | 0,009 | 0,400 | ok | ok |
| 5 | 3,3 | 0,013 | 0,007 | 0,060 | 0,032 | 0,012 | 0,009 | 0,334 | ok | ok |
| 4 | 3,3 | 0,011 | 0,005 | 0,049 | 0,023 | 0,016 | 0,008 | 0,268 | ok | ok |
| 3 | 3,3 | 0,007 | 0,003 | 0,033 | 0,015 | 0,015 | 0,007 | 0,202 | ok | ok |
| 2 | 3,3 | 0,004 | 0,002 | 0,018 | 0,008 | 0,012 | 0,005 | 0,136 | ok | ok |
| 1 | 3,5 | 0,001 | 0,001 | 0,006 | 0,003 | 0,006 | 0,003 | 0,070 | ok | ok |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

Tabel B17: Nilai simpangan antar lantai akibat gempa x dan y yang telah dikalikan faktor skala.

| Lt | h (m) | Perpindahan Elastis (δ_e) | | Perpindahan Total ($\delta_e * C_d$)/I _e | | Simpangan Antar Lantai (Δ) | | Syarat | Cek | |
|----|-------|------------------------------------|-------|---|-------|-------------------------------------|-------|--------|-----|-----|
| | | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | | X | y |
| 7 | 3 | 0,032 | 0,018 | 0,146 | 0,080 | 0,023 | 0,013 | 0,460 | Oke | oke |
| 6 | 3,3 | 0,027 | 0,015 | 0,122 | 0,067 | 0,026 | 0,015 | 0,400 | Oke | oke |
| 5 | 3,3 | 0,021 | 0,011 | 0,096 | 0,052 | 0,019 | 0,014 | 0,334 | Oke | oke |
| 4 | 3,3 | 0,017 | 0,008 | 0,078 | 0,037 | 0,026 | 0,013 | 0,268 | Oke | oke |
| 3 | 3,3 | 0,012 | 0,005 | 0,052 | 0,024 | 0,024 | 0,011 | 0,202 | Oke | oke |
| 2 | 3,3 | 0,006 | 0,003 | 0,028 | 0,013 | 0,018 | 0,009 | 0,136 | Oke | oke |
| 1 | 3,5 | 0,002 | 0,001 | 0,010 | 0,004 | 0,010 | 0,004 | 0,070 | oke | oke |
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 | | |

2. Simpangan antar tingkat Akibat Gaya Gempa Peta Gempa 2017

Tabel B18: Nilai simpangan antar lantai akibat gempa x.

| Lt | h (m) | Perpindahan Elastis (δe) | | Perpindahan Total ($\delta e * Cd / I_e$) | | Simpangan Antar Lantai (Δ) | | Syarat | Cek | |
|----|-------|------------------------------------|----------|---|--------|-------------------------------------|--------|--------|-----------------------|-----|
| | | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | | 0,020 h _{sx} | X |
| 7 | 3 | 0,018458 | 0,003093 | 0,0831 | 0,0139 | 0,0132 | 0,0023 | 0,460 | oke | oke |
| 6 | 3,3 | 0,015528 | 0,002578 | 0,0699 | 0,0116 | 0,0150 | 0,0026 | 0,400 | oke | oke |
| 5 | 3,3 | 0,012205 | 0,002004 | 0,0549 | 0,0090 | 0,0106 | 0,0025 | 0,334 | oke | oke |
| 4 | 3,3 | 0,009847 | 0,001448 | 0,0443 | 0,0065 | 0,0146 | 0,0023 | 0,268 | oke | oke |
| 3 | 3,3 | 0,006599 | 0,000939 | 0,0297 | 0,0042 | 0,0135 | 0,0020 | 0,202 | oke | oke |
| 2 | 3,3 | 0,003591 | 0,000497 | 0,0162 | 0,0022 | 0,0105 | 0,0015 | 0,136 | oke | oke |
| 1 | 3,5 | 0,001248 | 0,000168 | 0,0056 | 0,0008 | 0,0056 | 0,0008 | 0,070 | oke | Oke |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

Tabel B19: Nilai simpangan antar lantai akibat gempa y.

| Lt | h (m) | Perpindahan Elastis (δe) | | Perpindahan Total ($\delta e * Cd / I_e$) | | Simpangan Antar Lantai (Δ) | | Syarat | Cek | Cek |
|----|-------|------------------------------------|----------|---|--------|-------------------------------------|--------|--------|-----|-----|
| | | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | | | |
| 7 | 3 | 0,0055 | 0,010381 | 0,0248 | 0,0467 | 0,0039 | 0,0078 | 0,460 | oke | Oke |
| 6 | 3,3 | 0,004627 | 0,008653 | 0,0208 | 0,0389 | 0,0045 | 0,0087 | 0,400 | oke | Oke |
| 5 | 3,3 | 0,003637 | 0,006727 | 0,0164 | 0,0303 | 0,0032 | 0,0084 | 0,334 | oke | Oke |
| 4 | 3,3 | 0,002934 | 0,004861 | 0,0132 | 0,0219 | 0,0044 | 0,0077 | 0,268 | oke | Oke |
| 3 | 3,3 | 0,001966 | 0,00315 | 0,0088 | 0,0142 | 0,0040 | 0,0067 | 0,202 | oke | Oke |
| 2 | 3,3 | 0,00107 | 0,001668 | 0,0048 | 0,0075 | 0,0031 | 0,0050 | 0,136 | oke | Oke |
| 1 | 3,5 | 0,000372 | 0,000563 | 0,0017 | 0,0025 | 0,0017 | 0,0025 | 0,070 | oke | Oke |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

Tabel B20: Nilai simpangan maksimum antar lantai akibat gempa x dan y.

| Tingkat | h (m) | Perpindahan Elastis (δe) | | Perpindahan Total ($\delta e * Cd / I_e$) | | Simpangan Antar Lantai (Δ) | | Syarat | Cek | Cek |
|---------|-------|------------------------------------|-------|---|-------|-------------------------------------|-------|--------|-----|-----|
| | | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | | | |
| 7 | 3 | 0,018 | 0,010 | 0,083 | 0,047 | 0,013 | 0,008 | 0,460 | ok | ok |
| 6 | 3,3 | 0,016 | 0,009 | 0,070 | 0,039 | 0,015 | 0,009 | 0,400 | ok | ok |
| 5 | 3,3 | 0,012 | 0,007 | 0,055 | 0,030 | 0,011 | 0,008 | 0,334 | ok | ok |
| 4 | 3,3 | 0,010 | 0,005 | 0,044 | 0,022 | 0,015 | 0,008 | 0,268 | ok | ok |
| 3 | 3,3 | 0,007 | 0,003 | 0,030 | 0,014 | 0,014 | 0,007 | 0,202 | ok | ok |

Tabel B20: Lanjutan

| Lt | h (m) | Perpindahan Elastis (δe) | | Perpindahan Total ($\delta e \cdot C_d$)/Ie | | Simpangan Antar Lantai (Δ) | | Syarat | Cek | |
|----|-------|------------------------------------|-------|---|-------|-------------------------------------|-------|--------|---------------------|----|
| | | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | | 0,02h _{sx} | X |
| | | 0,004 | 0,002 | 0,016 | 0,008 | 0,011 | 0,005 | 0,136 | ok | ok |
| 1 | 3,5 | 0,001 | 0,001 | 0,006 | 0,003 | 0,006 | 0,003 | 0,070 | ok | ok |

Tabel B21: Nilai simpangan antar lantai akibat gempa x dan y yang telah dikalikan faktor skala.

| Lt | h (m) | Perpindahan Elastis (δe) | | Perpindahan Total ($\delta e \cdot C_d$)/Ie | | Simpangan Antar Lantai (Δ) | | Syarat | Cek | |
|----|-------|------------------------------------|-------|---|-------|-------------------------------------|-------|--------|---------------------|-----|
| | | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | X (m) | Y (m) | | 0,02h _{sx} | X |
| 7 | 3 | 0,032 | 0,018 | 0,146 | 0,081 | 0,023 | 0,013 | 0,460 | oke | oke |
| 6 | 3,3 | 0,027 | 0,015 | 0,122 | 0,067 | 0,026 | 0,015 | 0,400 | oke | oke |
| 5 | 3,3 | 0,021 | 0,012 | 0,096 | 0,052 | 0,019 | 0,014 | 0,334 | oke | oke |
| 4 | 3,3 | 0,017 | 0,008 | 0,078 | 0,038 | 0,026 | 0,013 | 0,268 | oke | oke |
| 3 | 3,3 | 0,012 | 0,005 | 0,052 | 0,024 | 0,024 | 0,012 | 0,202 | oke | oke |
| 2 | 3,3 | 0,006 | 0,003 | 0,028 | 0,013 | 0,018 | 0,009 | 0,136 | oke | oke |
| 1 | 3,5 | 0,002 | 0,001 | 0,010 | 0,004 | 0,010 | 0,004 | 0,070 | oke | oke |
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |

B.3.4 Kekakuan Antar Tingkat

Berikut ini adalah kekakuan antar tingkat untuk setiap arah gempa.

1. kekakuan antar tingkat Akibat Gaya Gempa Peta Gempa 2012

Tabel B22: Nilai kekakuan antar lantai akibat gempa x.

| S | Load Case | Stiffness kN/m | R1 (%) | R2 (%) | Soft Story | Extreme Soft Story | | |
|------|-----------|----------------|--------|--------|------------|--------------------|-----------|-----------|
| | | | | | | R1 < 70 % | R2 < 80 % | R1 < 60 % |
| Lt 7 | gempa x | 42801,519 | - | - | - | - | - | - |
| Lt 6 | gempa x | 152220,505 | 355,64 | 355,64 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 5 | gempa x | 235851,94 | 154,94 | 154,94 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 4 | gempa x | 416684,849 | 176,67 | 214,75 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 3 | gempa x | 574080,615 | 137,77 | 214,01 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 2 | gempa x | 771719,854 | 134,43 | 223,88 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 1 | gempa x | 1537944,899 | 199,29 | 307,84 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |

Tabel B23: nilai kekakuan antar lantai akibat gempa y.

| S | Load Case | Stiffness kN/m | R1 (%) | R2 (%) | Soft Story | Extreme Soft Story | | |
|------|-----------|-------------------|-----------|-----------|------------|--------------------|-----------|-----------|
| | | | | | R1 < 70 % | R2 < 80 % | R1 < 60 % | R2 < 70 % |
| Lt 7 | gempa y | 143414,37 | - | - | - | - | - | - |
| Lt 6 | gempa y | 348717,932 | 355,64 | 355,64 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 5 | gempa y | 503433,648 | 154,94 | 154,94 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 4 | gempa y | 862828,728 | 176,67 | 214,75 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 3 | gempa y | 1240213,897 | 137,77 | 214,01 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 2 | gempa y | 1667020,813 | 134,43 | 223,88 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 1 | gempa y | 3436414,939 | 199,29 | 307,84 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |

2. kekakuan antar tingkat Akibat Gaya Gempa Peta Gempa 2017

Tabel B24: Nilai kekakuan antar lantai akibat gempa x.

| S | Load Case | Stiffness | R1 | R2 | Soft Story | Extreme Soft Story | | |
|------|-----------|------------|--------|--------|------------|--------------------|-----------|-----------|
| | | | | | R1 < 70 % | R2 < 80 % | R1 < 60 % | R2 < 70 % |
| | | kN/m | (%) | (%) | | | | |
| Lt 7 | gempa x | 41778,42 | - | - | - | - | - | - |
| Lt 6 | gempa x | 152610,008 | 365,28 | 365,28 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 5 | gempa x | 235824,674 | 154,53 | 154,53 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 4 | gempa x | 416156,818 | 176,47 | 214,27 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 3 | gempa x | 574076,366 | 137,95 | 214,05 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 2 | gempa x | 772130,995 | 134,50 | 224,02 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 1 | gempa x | 1536759,81 | 199,03 | 307,63 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |

Tabel B25: Nilai kekakuan antar lantai akibat gempa y.

| S | Load Case | Stiffness | R1 | R2 | Soft Story | Extreme Soft Story | | |
|------|-----------|-------------|--------|--------|------------|--------------------|-----------|-----------|
| | | | | | R1 < 70 % | R2 < 80 % | R1 < 60 % | R2 < 70 % |
| | | kN/m | (%) | (%) | | | | |
| Lt 7 | gempa x | 135906,68 | - | - | - | - | - | - |
| Lt 6 | gempa x | 344613,483 | 365,28 | 365,28 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 5 | gempa x | 501918,957 | 154,53 | 154,53 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 4 | gempa x | 860288,846 | 176,47 | 214,27 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 3 | gempa x | 1236942,314 | 137,95 | 214,05 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 2 | gempa x | 1659491,313 | 134,50 | 224,02 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |
| Lt 1 | gempa x | 3411978,904 | 199,03 | 307,63 | Tidak | Tidak | Tidak | Tidak |