

TUGAS AKHIR

**EVALUASI PERILAKU TORSI PADA LANTAI STRUKTUR
SRPM BAJA BERDASARKAN GABUNGAN METODE
PUSHOVER DENGAN METODE RESPON SPEKTRUM
(*Studi Literatur*)**

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

Disusun Oleh:

WAHYU CANDRA RAHMAD DANI
1307210143



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Wahyu Candra Rahmad Dani

NPM : 1307210143

Program Studi : Teknik Sipil

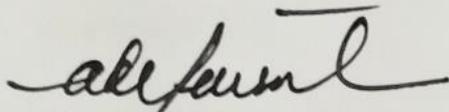
Judul Skripsi : Evaluasi Perilaku Torsi Pada Lantai Struktur SRPM Baja Berdasarkan Gabungan Metode Pushover Dengan Metode Respon spektrum.
(Studi Literatur)

Bidang Ilmu : Struktur.

Disetujui Untuk Disampaikan Kepada
Panitia Ujian

Medan, 21 Maret 2019

Pembimbing I



Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc

Pembimbing II



Mizanuddin Sitompul, S.T, M.T

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Wahyu Candra Rahmad Dani

NPM : 1307210143

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Evaluasi Perilaku Torsi Pada Lantai Struktur SRPM Baja Berdasarkan Gabungan Metode Pushover Dengan Metode Respon spektrum.
(Studi Literatur)

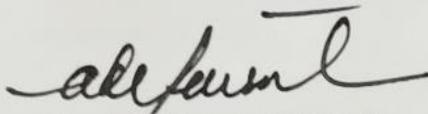
Bidang ilmu : Struktur.

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, 4 Maret 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



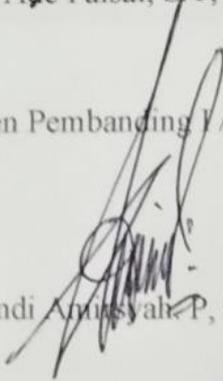
Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc

Dosen Pembimbing II / Peguji



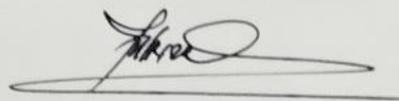
Mizanuddin Sitompul, S.T, M.T

Dosen Pembanding I / Penguji



Tondi Amriyah, P, S.T, M.T

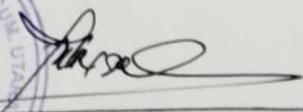
Dosen Pembanding II / Peguji



Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,




Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Wahyu Candra Rahmad Dani

Tempat /Tanggal Lahir : Medan / 16 Maret 1992

NPM : 1307210143

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil,

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

“Evaluasi Perilaku Torsi Pada Lantai Struktur SRPM Baja Berdasarkan Gabungan Metode Pushover Dengan Metode Respon spektrum”,

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 ketidak sesuaian 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, 23 Maret 2019

Saya yang menyatakan,



Wahyu Candra

ABSTRAK

EVALUASI PERILAKU TORSI PADA LANTAI STRUKTUR SRPM BAJA BERDASARKAN GABUNGAN METODE PUSHOVER DENGAN METODE RESPON SPEKTRUM (Studi Literatur)

Wahyu Candra Rahmad Dani
1307210143
Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc
Mizanuddin Sitompul, S.T, M.T

Kebutuhan akan bangunan tahan gempa merupakan sebuah hal yang harus terpenuhi, khususnya untuk daerah-daerah dengan tingkat kerawanan gempa tinggi seperti di Indonesia. Dalam hal ini struktur harus di desain dengan metode (*Strong Coloumn Weak Beam*) atau kolom kuat balok lemah. Disini dimaksudkan agar balok harus didisain lebih lemah dibandingkan kolom. Sehingga ketika gempa terjadi, maka elemen balok akan mengalami sendi plastis yang pertama kali, dengan adanya sendi plastis ini menyebabkan lantai mengalami torsi karena sudah tidak sesuai lagi kekuatannya dan kekakuannya. Hipotesa ini dipakai sebagai permasalahan penelitian dan tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pola keruntuhan dari perilaku torsi pada lantai dalam kondisi elemen sendi plastis dengan metode *pushover* dan respon spectrum. Pada penelitian ini Gedung di desain berupa 3 dimensi (*3D*). Hasil analisis *pushover* dan analisis respon spektrum yang telah menunjukkan bahwa gedung mengalami torsi pada lantai, akan tetapi tidak terlalu berpengaruh terhadap bangunan. Untuk analisis *pushover*, nilai maksimum pada perlemahan awal, dengan melemahkan sebahagian batang balok yang mengalami sendi plastis R1 sebesar $83,968 \times 10^{-3}$ radians dan pada perlemahan puncak dengan melemahkan lebih banyak batang balok yang mengalami sendi plastis R1 sebesar $83,559 \times 10^{-3}$ radians. Selanjutnya untuk analisis respon spectrum, nilai maksimum pada perlemahan awal, dengan melemahkan sebahagian batang balok yang mengalami sendi plastis R1 sebesar $1,037 \times 10^{-3}$ radians dan pada perlemahan puncak dengan melemahkan lebih banyak batang balok yang mengalami sendi plastis R1 sebesar $1,396 \times 10^{-3}$ radians.

Kata kunci: Gempa, torsi, *pushover*, respons spektrum.

ABSTRACT

EVALUATION OF TORSIAN BEHAVIOR ON THE STRUCTURAL FLOOR STEEL SRPM BASED ON COMBINED METHODS PUSHOVER WITH SPECTRUM RESPONSE METHODS (Study of literature)

Wahyu Candra Rahmad Dani
1307210143
Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc
Mizanuddin Sitompul, S.T, M.T

The need for earthquake resistant buildings is a matter that must be fulfilled, especially for areas with high earthquake vulnerability such as in Indonesia. In this case the structure must be designed by the method (Strong Column Weak Beam) or weak column strong column. Here it is intended that the beam must be designed weaker than the column. So that when an earthquake occurs, the beam element will experience the first plastic joint, with the presence of this plastic joint causing the floor to experience torque because it no longer matches its strength and stiffness. This hypothesis is used as a research problem and the purpose of this study is to determine the collapse pattern of torsional behavior on the floor in the condition of plastic joint elements with pushover method and spectrum response. In this study, the building was designed in the form of 3 dimension (3D). The results of the pushover analysis and spectrum response analysis have shown that the building experiences torque on the floor, but does not significantly affect the building. For pushover analysis, the maximum value of initial weakening, by weakening a portion of the beam that has a plastic R1 joint of $83,968 \times 10^{-3}$ radians and at peak attenuation by weakening more beam that has an R1 plastic joint of $83,559 \times 10^{-3}$ radians. Furthermore for response spectrum analysis, the maximum value at the initial attenuation, by weakening a portion of the beam that experienced plastic R1 joints of $1,037 \times 10^{-3}$ radians and at peak attenuation by weakening more beam that experienced R1 plastic joints of $1,396 \times 10^{-3}$ radians.

Keywords: Earthquake, torque, pushover, spectrum response.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Evaluasi Perilaku Torsi Pada Lantai Struktur SRPM Baja Berdasarkan Gabungan Metode Pushover Dengan Metode Respon Spektrum” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Mizanuddin Sitompul, S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Tondi Amirsyah. P, S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik sipil kepada penulis.

7. Orang tua penulis: Bambang Sunardi dan Sriyati, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis serta abang Imam Wahyudi dan adik Muhammad Dedek Syahputra.Spd yang telah menyemangati penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis: Dendi Syahrian, Fajar Pratama S.T, Andre Prasetya, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.
10. Keluarga di Remaja Masjid Al-Yusuf Berlian yang selalu membuat ceria dan ramai sehingga penulis menjadi bersemangat.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 23 Maret 2019

Wahyu Candra

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
DAFTAR NOTASI	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Definisi Torsi	5
2.2 Torsi pada Bidang Lantai Struktur Gedung	7
2.3 Torsi Bawaan	9
2.4 Struktur Rangka Baja Tahan Gempa	9
2.4.1 <i>Moment Resisting Frames (MRF)</i>	9
2.5 Kriteria Perencanaan Struktur Bangunan Baja Tahan Gempa	11
2.5.1 Elemen Yang Memikul Gaya Aksial Tekan	11
2.5.2 Elemen Yang Memikul Gaya Aksial Tarik	14
2.5.3 Elemen Yang Memikul Momen Lentur	16
2.6 Gaya Akibat Gempa Terhadap Struktur	16
2.7 Perhitungan Beban Gempa	17
2.7.1 Faktor Keutamaan Dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	17

2.8	Faktor Respon Gempa (C)	20
2.9	Kategori Disain Seismik	27
2.10	Kombinasi Pembebanan	29
2.11	Faktor Redudansi	31
2.12	Arah Pembebanan	33
2.13	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen	34
2.13.1	Geser Dasar Seismik	34
2.14	Perioda Alami Fundamental	36
2.15	Ketentuan Untuk Analisis Respon Dinamik	37
2.16	Distribusi Vertikal Gaya Gempa	39
2.17	Distribusi Horizontal Gaya Gempa	39
2.18	Analisa Menggunakan Metode <i>Pushover</i>	40
2.19	Analisa Menggunakan Metode Respon Spektrum	41
2.19.1	Jumlah Ragam	43
2.19.2	Parameter Respons Ragam	43
2.19.3	Parameter Respons Terkombinasi	43
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		44
3.1	Metodologi	44
3.2	Pengumpulan Data	45
3.3	Pemodelan Struktur	46
3.3.1	Konfigurasi Struktur	47
3.3.2	Karakteristik Material	49
3.3.3	Dimensi Elemen Struktur	49
3.4	Pembebanan	49
3.4.1	Beban hidup (<i>Live Load</i>)	49
3.4.2	Beban mati (<i>Dead load</i>)	50
3.5	Metode Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726 2012	52
3.6	Kombinasi Pembebanan	57
3.7	Analisis 3D dengan Program	58
3.8	Perbandingan Hasil	60
3.9	Kesimpulan	60

BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	61
4.1	Tinjauan Umum	61
4.2	Hasil Analisis	61
4.3	Penentuan Berat Total per Lantai (Wt)	62
4.4	Penentuan Perioda Alami Stuktur (T_1)	62
4.5	Perioda Fundamental Pendekatan (T_a)	63
4.6	Penentuan Gaya Geser Seismic (V)	64
4.7	Penentuan Distribusi Vertikal Gaya Gempa	65
4.8	Spektrum Respon Ragam	66
4.9	Gaya Geser Analisis Respon Spektrum	67
4.10	Pemodelan Gedung Pada Program	69
4.10.1	Pembebanan Elemen	69
4.10.2	Analisis <i>Pushover</i>	70
4.10.2.1	Pembahasan Torsi Pada Lantai Metode <i>Pushover</i>	70
4.10.2.2	Torsi Pada Lantai Untuk Kondisi Perlemahan Awal	73
4.10.2.3	Torsi Pada Lantai Untuk Kondisi Perlemahan Puncak	76
4.10.3	Analisis Respon Spektrum	80
4.10.3.1	Pembahasan Torsi Pada Lantai Metode Respon Spektrum	80
4.10.3.2	Torsi Pada Lantai Untuk Kondisi Perlemahan Awal	82
4.10.3.3	Torsi Pada Lantai Untuk Kondisi Perlemahan Puncak	84
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	87
5.1	Kesimpulan	87
5.2	Saran	88
	DAFTAR PUSTAKA	89
	LAMPIRAN	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk Elemen tertekan (f_y dinyatakan dalam MPa)	12
Tabel 2.2: Rasio (A_e/A_g) minimum dari beberapa mutu baja sehingga kondisi fraktur tidak terjadi	15
Tabel 2.3: Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk Beban gempa berdasarkan SNI 1727:2012	18
Tabel 2.4: Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1729:2012	20
Tabel 2.5: Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2012	22
Tabel 2.6: Koefisien PGA (F_{PGA}) berdasarkan SNI 1726:2012	23
Tabel 2.7: Koefisien periode pendek F_a berdasarkan SNI 1726:2012	24
Tabel 2.8: Koefisien periode Pendek F_v berdasarkan SNI 1726:2012	25
Tabel 2.9: Katagori disain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek berdasarkan SNI 1726:2012	27
Tabel 2.10: Katagori disain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik berdasarkan SNI 1726:2012	28
Tabel 2.11: Faktor koefisien modifikasi respons (R^a), (Ω_0^g), (C_d^b), dan (m) ^c berdasarkan SNI 1726:2012	28
Tabel 2.12: Persyaratan masing-masing tingkatan yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar (SNI 1726:2012)	32
Tabel 2.13: Nilai parameter perioda pendekatan C_r dan x berdasarkan SNI 1726:2012.	36
Tabel 2.14: Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2012.	37
Tabel 3.1: Peraturan SNI.	45
Tabel 3.2: Konfigurasi struktur.	47
Tabel 3.3: Dimensi elemen struktur.	49
Tabel 3.4: Beban hidup pada lantai gedung.	50
Tabel 3.5: Berat material konstruksi berdasarkan SNI 1727:2013.	51
Tabel 3.6: Beban mati tambahan pada lantai gedung.	51
Tabel 3.7: Interpolasi koefisien situs, F_a dan F_v (SNI 1726:2012).	52
Tabel 3.8: Nilai S_{DS} dan S_{D1} untuk kota Bengkulu.	53

Tabel 3.9: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek.	53
Tabel 3.10: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.	54
Tabel 3.11: Data <i>spektrum respon</i> berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Bengkulu untuk anah lunak.	56
Tabel 3.12: Tabel kombinasi pembebanan untuk $\rho = 1.3$ dan $S_{DS} = 0.823$.	57
Table 4.1: Hasil berat sendiri bangunan per lantai struktur bangunan.	61
Tabel 4.2: Rekapitulasi berat total per lantai struktur bangunan.	62
Tabel 4.3: Waktu getar alami struktur bangunan.	62
Tabel 4.4: Hasil persentase nilai perioda.	63
Tabel 4.5: Nilai koefisien batas atas (C_u).	64
Tabel 4.6: Pengecekan nilai perioda.	64
Tabel 4.7: Nilai C_s yang digunakan.	65
Tabel 4.8: Gaya geser nominal statik ekuivalen (V).	65
Tabel 4.9: Nilai F_{ix} dan F_{iy} per lantai.	66
Tabel 4.10: Gaya geser gedung tiap lantai.	66
Tabel 4.11: Pengecekan <i>story shear</i> dengan 35% gaya geser dasar redundansi 1 ($\rho=1$).	67
Tabel 4.12: Gaya geser respon spektrum stuktur bangunan.	68
Tabel 4.13: Pengecekan gaya geser respon spektrum.	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1:	Pembagian sistem yang memiliki torsi menurut Paulay (1996): a) TURS, dan b) TRS.	8
Gambar 2.2:	<i>Moment Resisting Frames (MRF)</i> .	10
Gambar 2.3:	Simbol untuk beberapa variable penampang. (SNI 03-1729-2002)	13
Gambar 2.4:	Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan Redaman 5% (SNI1726:2012).	20
Gambar 2.5:	Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (S_S) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012).	21
Gambar 2.6:	Peta respon spektra percepatan 1,0 detik (S_1) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012).	21
Gambar 2.7:	Bentuk tipikal spektrum respon disain di permukaan tanah (SNI 1726:2012).	27
Gambar 2.8:	Metode <i>pushover</i> .	40
Gambar 2.9:	Spektrum respons desain (SNI 03-1726-2012).	42
Gambar 3.1:	Diagram alir penelitian.	44
Gambar 3.2:	Pemodelan gedung SRPM.	47
Gambar 3.3:	Denah perencanaan gedung baja sumbu X-Y.	48
Gambar 3.4	Pemodelan 3D portal baja terbuka.	48
Gambar 3.5:	Kurva respons spectrum kota Bengkulu dengan kondisi anah lunak.	55
Gambar 3.6:	Struktur arah xy dengan $z = 4$ m, tanda (x) merupakan batang balok yang akan dilemahkan.	58
Gambar 3.7a:	Struktur arah xy dengan $z = 4$ m, tanda (x) merupakan batang balok yang akan dilemahkan.	59
Gambar 3.7b:	Struktur arah xy dengan $z = 8$ m, tanda (x) merupakan batang balok yang akan dilemahkan.	59
Gambar 3.8:	Titik tinjau rotasi pada lantai gedung.	60
Gambar 4.1:	Kurva <i>pushover</i> sebelum batang balok dilemahkan.	70
Gambar 4.2:	Titik rotasi bangunan yang akan di tinjau nilai rotasinya.	71

Gambar 4.3:	Rotasi sebelum balok dilemahkan pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai.	72
Gambar 4.4:	Rotasi sebelum balok dilemahkan pada titik tengah dan titik Sudut di setiap lantai.	72
Gambar 4.5:	Rotasi pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai pada step 8 perlemahan awal.	73
Gambar 4.6:	Perlemahan awal yang akan dilakukan.	74
Gambar 4.7:	Rotasi pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai pada perlemahan awal.	75
Gambar 4.8:	Rotasi pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai pada perlemahan puncak.	76
Gambar 4.9:	Perlemahan puncak pada batang balok di lantai 1.	77
Gambar 4.10:	Perlemahan puncak pada batang balok di lantai 2.	77
Gambar 4.11:	Kurva pushover setelah batang balok dilemahkan (mengacu kepada kondisi perlemahan puncak).	78
Gambar 4.12:	Rotasi pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai pada perlemahan awal.	79
Gambar 4.13:	Rotasi pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai pada perlemahan puncak.	79
Gambar 4.14:	Titik rotasi bangunan yang akan di tinjau nilai rotasinya.	81
Gambar 4.15:	Rotasi pada setiap titik sudut lantai dan tengah lantai pada kondisi sebelum di lemahkan.	81
Gambar 4.16:	Perlemahan awal yang akan dilakukan, tanda silang (x) pada gambar merupakan batang balok pada lantai 1 yang akan dilemahkan 0,1 (10%).	82
Gambar 4.17:	Rotasi pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai pada Kondisi perlemahan awal.	83
Gambar 4.18:	Selisih Rotasi pada titik tengah dan titik sudut antar lantai pada kondisi perlemahan awal antar lantai.	83
Gambar 4.19:	Menunjukkan perlemahan puncak yang akan dilakukan, tanda silang (x) pada gambar merupakan batang balok pada lantai 1 yang akan dilemahkan 0,1 (10%).	84
Gambar 4.20:	Menunjukkan perlemahan puncak yang akan dilakukan, tanda silang (x) pada gambar merupakan batang balok pada lantai 2 yang akan dilemahkan 0,1 (10%).	85
Gambar 4.21:	Rotasi pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai, pada Kondisi perlemahan puncak.	85
Gambar 4.22:	Selisih Rotasi pada titik tengah dan titik sudut antar lantai Pada kondisi perlemahan puncak antar lantai.	86

DAFTAR LAMPIRAN

- A1. Perhitungan beban total perlantai struktur bangunan tanpa dinding bata.
- A2. Menghitung Periode Bangunan.
- L1. Tabel koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung SNI 2012.
- L2. Nilai parameter perioda T
- A3. Menghitung gaya geser dasar V.
- L3. Tabel *joint reactions* respon spektrum arah x.
- L4. Tabel *joint reactions* respon spektrum arah y.
- L5. Tabel *base reactions*.
- L6. Tabel distribusi horizontal gaya gempa (F_i) arah x dan y.
- L7. Pengecekan nilai p (ρ).
- L8. Tabel periode bangunan analisis sap.
- L9. Tabel pengecekan resepon spectrum memakai CQC atau SRSS.
- L10. Tabel *pushover* sebelum dilemahkan.
- L11. Tabel *pushover* perlemahan awal.
- L11. Tabel *pushover* perlemahan puncak.
- A4. Rotasi Sebelum Dilemahkan
- L12. Tabel rotasi leleh awal.
- L13. Tabel rotasi leleh Puncak.
- A5. Rotasi Perlemahan Awal
- L14. Tabel rotasi leleh awal.
- L15. Tabel rotasi leleh Puncak.
- A6. Rotasi Perlemahan Puncak
- L16. Tabel rotasi leleh awal.
- L17. Tabel rotasi leleh puncak.
- L18. Tabel momen m3 balok dan kolom.
- A8. Pengecekan strong coloumn weak beam.
- A9. Pengecekan Daktilitas.

DAFTAR SINGKATAN

3D	= 3 Dimensi
ASCE	= <i>American Society of Civil Engineers</i>
BJ	= Berat Jenis
PBEE	= <i>Performance Based Earthquake Engineering</i>
CC	= <i>Corner Crushing</i>
CQC	= <i>Complete Quadratic Combination</i>
DC	= <i>Diagonal Compression</i>
IBC	= <i>Indoor Building Coverage</i>
PGA	= <i>Peak Ground Acceleration</i>
PGV	= <i>Peak Ground Velocity</i>
PPIUG	= Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung
S	= <i>Shear</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SRSS	= <i>Square Root of the Sum of Squares</i>
SRPMB	= Struktur Rangka Pemikul Momen Biasa
SRPM	= Struktur Rangka Pemikul Momen
SRMF	= <i>Special Moment Resisting Frames</i>
<i>MRF</i>	= <i>Moment Resisting Frames</i>
SRPMK	= Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus
TBS	= <i>Torsionally Balanced System</i>
TRS	= <i>Torsionally Restraint System</i>
TUBS	= <i>Torsionally Unbalanced System</i>
TURS	= <i>Torsionally Unrestrained System</i>

DAFTAR NOTASI

a	= Tinggi penampang
a	= Lebar efektif strut
A_g	= luas penampang bruto
b	= Lebar penampang
C	= Gaya normal pada bidang kontak
D	= Diameter penampang
E	= Modulus elastisitas
E_{fe}	= Modulus elastisitas material portal
ϕ_c	= 0,85 adalah faktor tahanan tekan
F	= Gaya geser
F_a	= Faktor amplifikasi
f_c	= Tegangan tekan efektif dinding pengisi
F_v	= Faktor amplifikasi
f'_c	= Kuat tekan beton
f_y	= Kuat tegangan leleh baja
f_u	= Kuat tegangan putus baja
H	= Tinggi
h	= Panjang penampang
h_c	= Tinggi efektif kolom
h_{col}	= tinggi kolom diantara as-balok
h_{inf}	= tinggi dinding portal
I	= Momen Inersia
I	= Faktor keutamaan
I_{col}	= Inersia penampang kolom
K	= Kekakuan
k	= Eksponen yang terikat pada struktur
MA/MC	= Bending momen pada
MA/MC	= Bending momen pada
$M_{A,B,C}$	= Momen lentur di titik A, B, atau C

M_{pc}/ M_{pb}	= Tahanan momen plastis dari kolom dan balok
M_{pj}	= Tahanan momen plastis paling kecil dari balok
M_T	= Momen torsi
N	= Gaya aksial
N_u	= Gaya tekan terfaktor
N_n	= Kuat tekan nominal komponen struktur
P	= Beban terpusat
q	= Berat isi material
R	= Faktor modifikasi respon
r	= Jari-jari penampang
S	= Gaya geser
S_a	= Spectrum response
S_{ds}	= Parameter percepatan response spectrum periode pendek
S_{d1}	= Parameter percepatan response spectrum periode 1 detik
S_{max}	= Besarnya gaya geser dasar struktur saat mengalami leleh
S_{ms}	= Parameter response spectrum periode pendek
S_{m1}	= Parameter response spectrum periode 1 detik
S_{MT}	= Nilai S_a dari gempa periode ulang 2500 tahun
T	= Kuat tarik tulangan
T	= Periode fundamental
T_a	= Periode fundamental pendekatan
T_0	= Period eawal
t_{inf}	= Tebal dinding pengisi
V	= Gaya geser dasar
V_c	= Gaya geser
ρ	= Rasio tulangan
\emptyset	= Faktor reduksi
Ω_0	= Faktor kuat lebih sistem
$\tau_{zx,zy}$	= Tegangan geser
α	= Prosentase panjang bidang kontak dari tinggi atau lebar portal
μ	= Koefisien gesek panel-portal
β_0	= Nominal atau batas atas (<i>upper-bound</i>)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan bangunan tahan gempa merupakan sebuah hal yang harus terpenuhi, khususnya untuk daerah-daerah dengan tingkat kerawanan gempa tinggi seperti di Indonesia. Berdasarkan pengalaman yang telah terjadi, keruntuhan bangunan akibat bencana gempa bumi menelan korban jiwa dalam jumlah yang cukup besar. Oleh karena itu, bangunan harus direncanakan untuk dapat memberikan kinerja minimal *life safety*, di mana bangunan diperbolehkan mengalami kerusakan namun tidak mengalami keruntuhan. Dengan demikian, kemungkinan timbulnya korban jiwa dapat diminimalisasi.

Tuntutan akan ketahanan terhadap gempa juga harus diperhatikan untuk bangunan - bangunan eksisting, khususnya bangunan lama yang secara material telah mengalami degradasi, dan direncanakan dengan peraturan lama. Bangunan – bangunan seperti ini seringkali memiliki kerawanan gempa yang tinggi. Oleh karena itu, sebuah tindakan harus dilakukan untuk menghasilkan kinerja bangunan yang aman dengan tetap mempertahankan fungsi bangunan eksisting. Cara yang mungkin dilakukan adalah dengan melakukan perkuatan pada bangunan atau dengan membongkar dan mendirikan bangunan baru. Berdasarkan pertimbangan biaya dan waktu konstruksi, pilihan untuk melakukan perkuatan pada bangunan akan lebih menguntungkan, dengan catatan hasil evaluasi bangunan eksisting menunjukkan bahwa bangunan masih layak untuk diperkuat (Sri Haryono, 2010).

Kejadian gempa bumi menjadi suatu fenomena yang menarik untuk diteliti. Hingga saat ini dengan perkembangan teknologi yang cukup pesat namun belum satu pun gempa bumi yang dapat diprediksi kapan dan seberapa besar intensitas gempa yang terjadi. Fenomena ini menjadi bagian penting dan menarik bagi perencana teknik sipil dalam mendesain bangunan yang dapat bertahan dari pergerakan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi. Konsep terbaru dalam

perencanaan gempa saat ini adalah perencanaan berbasis kinerja yang dikenal dengan *Performance Based Earthquake Engineering* (PBEE). Konsep perencanaan berbasis kinerja merupakan kombinasi dari aspek tahanan dan aspek layan. Konsep PBEE dapat digunakan untuk mendesain bangunan baru (*Performanced Based Seismic Design*) maupun mengevaluasi bangunan yang sudah ada (*Performanced Based Seismic Evaluation*). Dalam mendesain suatu struktur bangunan baja tahan gempa pada umumnya menggunakan konsep daktilitas, dimana dengan konsep ini suatu taraf pembebanan dengan faktor reduksi terhadap beban gempa maksimum dapat dipakai sebagai beban gempa rencana, sehingga struktur dapat di desain secara lebih ekonomis.

Dalam pembahasan tentang gempa juga, torsi merupakan suatu hal yang sangat berbahaya terhadap struktur bangunan. Karena ketika gempa terjadi, pasti elemen balok dan kolom mengalami sendi plastis yang pertama kali, dengan adanya sendi plastis ini terjadilah perlemahan kolom dan balok karena kekuatannya sudah tidak sesuai dengan kekuatan awal, dan setiap perlemahan tentu saja dicurigai lantai akan mengalami torsi.

Hal-hal diatas telah memberikan beberapa gambaran akan pentingnya gaya torsi untuk ikut diperhitungkan dalam suatu perencanaan struktur bangunan. Maka dari itu, melalui tugas akhir ini penulis akan melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Perilaku Torsi pada Lantai Struktur SRPM Baja berdasarkan gabungan Metode *Pushover* dengan Metode Respon Spektrum”.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pola keruntuhan gedung saat mengalami sendi plastis setelah dianalisis dengan metode *pushover*?
2. Bagaimana pola keruntuhan gedung saat mengalami sendi plastis setelah dianalisis dengan metode respon spektrum?

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan sesuai dengan sasaran yang ingin dicapai, maka perlu dibatasi permasalahannya. Adapun batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Hanya mempelajari perilaku elemen linier dari struktur SRPM yang mengalami torsi lantai saja, tidak termasuk kekakuan lantai dan simpangan antar lantai.
2. Material yang di gunakan adalah baja, dengan mutu baja BJ 41
3. Bangunan difungsikan untuk bangunan apartemen.
4. Tidak memperhitungkan pengaruh struktur bawah dan tangga.
5. Struktur berdiri diatas kondisi tanah lunak di kota Bengkulu.
6. Struktur yang ditinjau adalah SRPM baja dengan 4 lantai dan 4 bentang.
7. Penyusunan tugas akhir ini berpedoman pada peraturan-peraturan sebagai berikut:
 - a. Menggunakan peraturan *SNI 03 1729 2002* untuk baja.
 - b. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung *SNI 1726 2012*.
 - c. Beban minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain *SNI 1727 2013*.
 - d. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1987).

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pola keruntuhan dari perilaku torsi pada lantai dalam kondisi elemen sendi plastis berdasarkan analisa dengan metode *pushover*.
2. Untuk mengetahui pola keruntuhan dari perilaku torsi pada lantai dalam kondisi elemen sendi plastis berdasarkan analisa dengan metode respon spektrum.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penulisan skripsi ini adalah sebagai mahasiswa mampu memahami dan menggunakan program analisa struktur sebagai alat bantu dalam hal analisis struktur khususnya untuk torsi lantai. Bukan hanya itu saja, dengan menghitung dalam kondisi non linier kita dapat mempelajari perilaku dari struktur SRPM.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar penulisan tugas akhir ini terstruktur dan jelas, maka tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab. Adapun Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang dasar teori dan peraturan yang mendukung dalam perencanaan struktur sehingga bisa dipertanggung jawabkan kebenarannya.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang langkah-langkah kerja yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Meliputi prosedur-prosedur dan hasil kerja.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dan saran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Defenisi Torsi

Torsi merupakan efek momen termasuk putaran/puntiran yang terjadi pada penampang tegak lurus terhadap sumbu utama dari elemen. Beban lateral dapat mengakibatkan torsi pada bangunan ketika beban lateral tersebut cenderung memutar bangunan tersebut dengan arah vertikal. Hal ini terjadi ketika pusat beban tidak tepat dengan pusat kekakuan elemen vertical beban lateral system ketahanan struktur tersebut. Eksentrisitas diantara pusat kekakuan dan massa bangunan dapat menyebabkan gerakan torsi selama terjadinya gempa.

Torsi ini dapat meningkatkan displacement pada titik ekstrim bangunan dan menimbulkan masalah pada elemen penahan lateral yang berlokasi pada tepi gedung. Penelitian tentang kerusakan akibat gempa termasuk yang baru memiliki indikasi sering terjadi gerakan torsi yang menyebabkan masalah yang cukup serius pada bangunan. Pada batas elastic dari respon, gerakan torsi dihasilkan ketika pusat kekakuan struktur tidak bertepatan dengan pusat massanya. Struktur dengan ketidaktepatan pusat massa dan kekakuan akan menjadi struktur yang tidak simetris atau struktur dengan ketidakseimbangan torsi, dan gerakan torsi dapat disebabkan oleh ketidaksimetrisan atau ketidakseimbangan sehingga menjadi seperti puntiran natural. Ketidaksimetrisan pada kenyataannya ada dalam struktur simetris secara nominal karena ketidakpastian dalam evaluasi pusat massa dan kekakuan, ketidaktepatan dalam ukuran dimensi elemen structural atau ketiadaan data dalam material properties seperti modulus elastisitas. Torsi juga dihasilkan dari gerakan rotasi dalam tanah pada arah sumbu vertikal. Torsi ini timbul dari factor asimetris dan gerakan rotasi tanah yang bersamaan sehingga menyebabkan torsi secara kebetulan.

Gempa bumi tidak bias ditebak kapan akan terjadi. Oleh karena itu, cara yang efektif untuk mengurangi resiko rusaknya adalah dengan kesiapan akan terjadinya bencana itu sendiri.

Struktur gedung umumnya dimodelkan dalam bentuk system rangka pemikul momen (SRPM) terbuka atau portal terbuka dengan lantai dianggap sebagai

diafragma dan dinding pasangan bata umumnya dianggap sebagai elemen non struktural. Padahal keberadaan dinding ini menambah kekakuan lateral pada struktur tersebut. Kondisi ini juga menyebabkan terjadinya eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan sehingga menimbulkan torsi pada lantai

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah salah satu system struktur utama dalam menahan gaya-gaya lateral, baik itu gaya lateral akibat gempa maupun angin. SRPM ini dikenal cukup baik dalam memberikan sistem yang daktail namun sayangnya kurang baik dalam memberikan kekakuan lateral, khususnya untuk bangunan-bangunan yang tinggi. Untuk itu SRPM sering “dikawinkan” dengan system lain (*dual system*) agar kekakuan lateralnya menjadi lebih baik, seperti SRPM dengan dinding struktural ataupun SRPM dengan bresing. Simpangan antar tingkat yang relative besar pada tingkat-tingkat bawah di SRPM akan menjadi mengecil dengan *dual system*. Pemakaian dinding structural ataupun struktur bresing harus hati-hati karena dapat memberikan masalah baru kepada system secara keseluruhannya itu masalah torsi. Torsi ini terjadi akibat posisi pusat massa tidak lagi berhimpit dengan pusat kekakuan pada bidang lantai. Dengan kata lain torsi ditimbulkan oleh adanya eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan, sehingga gaya inersia yang terjadi di pusat massa harus ditahan oleh pusat kekakuan secara berjauhan sehingga menyebabkan rotasi pada lantai.

Kebanyakan kerusakan struktur yang diakibatkan gempa ini disebabkan oleh penggunaan material non daktail yang mana contohnya adalah beton dengan kualitas rendah. Seperti yang telah diketahui oleh banyak orang, baja merupakan salah satu material bangunan yang memiliki sifat daktalitas yang sangat baik. Sifat daktail inilah yang sangat dibutuhkan dalam mengurai energi gempa. Oleh karena itu selain bersifat daktail tinggi, baja juga bernilai ekonomis serta mudah dalam pengerjaan maupun perawatannya. Karena beberapa pertimbangan tersebut, penggunaan baja dianjurkan pada bangunan yang berada di daerah rawan gempa khususnya gempa berkekuatan tinggi. Dalam mendisain struktur baja ada beberapa faktor yang harus diperhatikan diantaranya faktor kehandalan dan kemampuan untuk menahan berat sendiri, beban kerja, serta beban gempa yang telah direncanakan. Dalam hal ini struktur harus didisain dengan metode (*Strong Coloumn Weak Beam*) atau kolom kuat balok lemah.

2.2 Torsi pada Bidang Lantai Struktur Gedung

Torsi pada bidang lantai struktur gedung umumnya dikaitkan kepada isu ketidak beraturan (*assymmetric*) bangunan secara horizontal akibat tidak berhimpitnya letak pusat massa dengan pusat kekakuan dan pusat kekuatan (gaya). Karena struktur direncanakan secara daktail maka letak pusat kekuatan menjadi isu penting juga di dalam masalah torsi. Hal ini disebabkan karena respon tidak elastis sebuah sistem SRPM, akibat terjadinya sendi plastis, dapat menimbulkan efek torsi pada lantai sehingga memperbesar peluang kegagalan struktur (Paulay, 1997). Torsi juga dikaitkan kepada isu ketidakpastian (*uncertainties*) dalam perencanaan seperti ketidakpastian eksentrisitas antara letak pusat massa, kekakuan, dan kekuatan. Ketidakpastian getaran juga dapat menimbulkan torsi seperti yang diakibatkan oleh getaran rotasi pada perletakan struktur yang mengakibatkan terjadinya getaran torsi. Torsi akibat ketidakpastian ini, disebut *accidental torsion* di dalam peraturan bangunan tahan gempa dan harus ditinjau bila analisa gaya lateral gempa menggunakan metode statik ekuivalen.

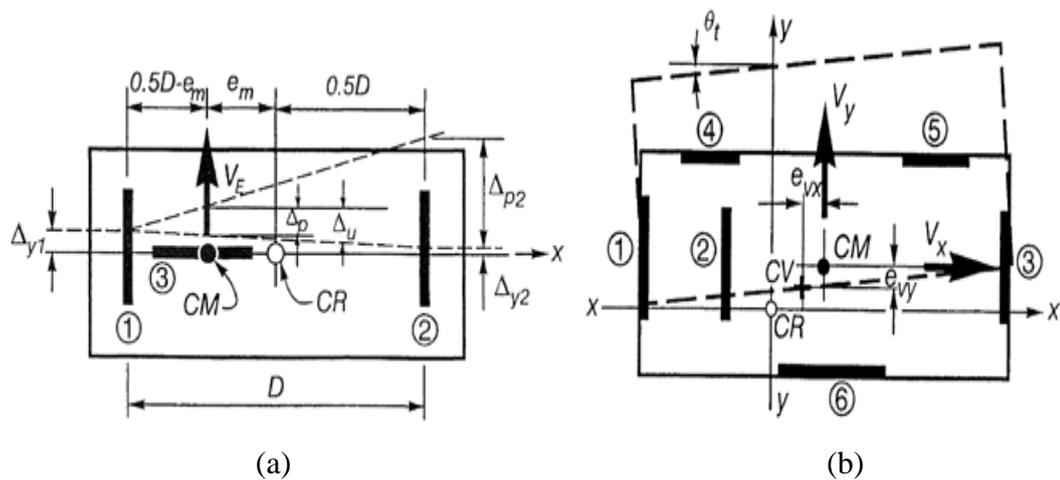
Di dalam sistem yang tidak simetris (tidak beraturan), bagian pada denah lantai dibagi kepada 2 bagian berdasarkan perilaku deformasinya yaitu sisi fleksibel dan sisi kaku. Sisi fleksibel adalah sisi yang terjauh dengan pusat kekakuan dan sisi ini akan mengalami deformasi lateral yang lebih besar dibanding dengan sisi kaku. Pada sistem yang tidak elastis, nilai daktilitas yang terjadi pada kedua sisi ini bisa berbeda 2 kali lipat sehingga tingkat kerusakan yang akan terjadi bila terkena gempa juga akan berbeda drastis (Stathopoulos dan Anagnostopoulos, 2005).

Paulay (1996) membedakan 2 jenis perilaku sistem yang memiliki torsi ketika menerima gaya gempa yaitu sistem yang torsinya terkekang (*torsionally restraint system*, disingkat TRS) dan sistem yang torsinya tidak terkekang (*torsionally unrestrained system* disingkat TURS). Kedua jenis ini dikaitkan kepada ketahanan elemen penahan gaya lateral setelah mengalami leleh dalam menahan gaya torsi. Jenis perilaku ini berbeda dengan penggolongan klasik yang diberikan untuk sistem torsi, yaitu sistem yang torsinya seimbang (*torsionally balanced system* atau TBS) dan sistem yang torsinya tidak seimbang (*torsionally unbalanced system* atau TUBS). TBS adalah sistem struktur yang simetris atau sistem yang memiliki letak pusat massa dan pusat kekakuan berhimpitan, sedangkan TUBS adalah struktur

tidak simetris karena memiliki eksentrisitas antara letak pusat masa dan pusat kekakuan.

Ilustrasi TURS dan TRS menggunakan dinding struktural sebagai elemen penahan gaya lateral ditunjukkan pada Gambar 2.1. Sistem dikatakan TURS bila elemen (penahan gaya lateral) yang bekerja pada arah berlawanan dengan arah gaya akibat gempa, VE , (elemen 3 pada Gambar 2.1a) tidak memiliki ketahanan terhadap torsi, setelah elemen lain yang searah gaya VE (elemen 1 dan 2 pada Gambar 2.1a) mengalami leleh. Sistem dikatakan TRS bila ada elemen (penahan gaya lateral), dengan eksentrisitas ke pusat massa, yang bekerja pada arah yang berlawanan dengan arah gaya gempa memiliki ketahanan terhadap gaya lateral dan torsi (Gambar 2.1b).

Pembagian ini diperkenalkan dalam masalah torsi adalah karena ada parameter lain selain kekakuan yang dapat mempengaruhi putaran pada lantai, yaitu parameter ketahanan atau gaya. Artinya bila gaya lateral nominal elemen, yang bekerja menahan gaya akibat gempa, tidak terdistribusi dengan merata (ada eksentrisitas terhadap letak pusat massa), maka gaya-gaya ini dapat mempengaruhi torsi pada lantai.



Gambar 2.1 Pembagian sistem yang memiliki torsi menurut Paulay (1996):

- a) TURS, dan b) TRS.

2.3 Torsi Bawaan

Untuk diafragma yang tidak fleksibel, distribusi gaya lateral di masing-masing tingkat harus memperhitungkan pengaruh torsi bawaan, M_t , yang dihasilkan oleh eksentrisitas antara lokasi pusat massa dan pusat kekakuan. Untuk diafragma fleksibel, distribusi gaya ke elemen vertikal harus memperhitungkan posisi dan distribusi massa yang didukung.

2.4 Struktur Rangka Baja Tahan Gempa

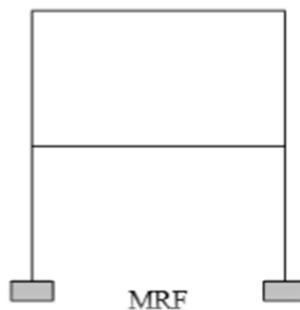
Hingga saat ini terdapat beberapa jenis portal baja tahan gempa. Secara umum terdapat dua jenis portal baja tahan gempa, yaitu *braced frames* dan *moment resisting frames*. Masing-masing portal tahan baja tersebut memiliki karakteristik. Disini saya menggunakan *moment resisting frames* atau sering disebut SRPM (Sistem Rangka Pemikul Moment).

2.4.1 *Moment Resisting Frames (MRF)*

Sistem struktur MRF memberikan ruang yang luas pada suatu bangunan. Oleh karena itu, sistem ini sering dinikmati oleh banyak arsitek dan juga banyak digunakan untuk struktur gedung institusi atau perkantoran yang memerlukan ruang yang luas. Pada sistem struktur MRF, sambungan antara kolom dan balok harus didisain cukup kuat untuk memperkuat kekuatan balok dan mengurangi resiko keruntuhan *brittle* pada sambungan balok dan kolom. Dengan rentang balok yang cukup lebar (tanpa pengaku), sistem MRF dapat memberikan deformasi yang cukup besar sehingga sistem ini memiliki daktilitas yang cukup besar dibandingkan dengan portal jenis baja tahan gempa lainnya. Portal baja ini sering disebut juga *moments frames*.

Pada struktur MRF, elemen balok terhubung kaku pada kolom dan tahanan terhadap gaya lateral diberikan terutama oleh momen lentur dan gaya geser pada elemen portal dan *joint* seperti yang di tunjukkan pada Gambar 2.2. Sistem struktur

MRF memiliki kemampuan menyerap energi yang besar tetapi memiliki kemampuan yang rendah. Pada sistem ini, untuk melakukan penyerapan energi yang besar diperlukan deformasi yang besar pada struktur lantainya. Dengan demikian, jika dibandingkan dengan struktur portal baja tahan gempa jenis lainya, sistem struktur ini memiliki ukuran elemen yang lebih besar untuk menjaga deformasi strukturnya.



Gambar 2.2: *Moment Resisting Frames* (MRF).

Portal baja MRF merupakan jenis portal baja yang sering digunakan dalam aplikasi struktur baja didunia konstruksi. Berdasarkan daktalitasnya, portal baja MRF dibagi dalam dua kategori yaitu; *Special Moment Resisting Frames* (SRMF) atau sistem rangka batang penahan momen khusus (SRBPMK) dan *Ordinary Moment Resisting Frames* atau sistem rangka penahan momen biasa (SRPMB). SRBPMK didisain untuk memiliki daktalitas yang lebih tinggi dan dapat berdeformasi inelastis pada saat gaya gempa terjadi. Deformasi inelastis meningkatkan damping dan mengurangi kekakuan (*stiffnes*) dari struktur.

Hal ini terjadi pada saat gempa ringan bekerja pada struktur. Dengan demikian, SRBPMK didisain untuk gaya gempa yang lebih ringan dibandingkan dengan gaya gempa yang bekerja pada SRPMB. Pada SRPMB, struktur diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis secara terbatas pada komponen struktur dan sambungan-sambungan akibat gaya gempa rencana. Dengan demikian, pada SRPMB kekakuan (*stiffnes*) yang ada lebih besar dibandingkan dengan kekakuan pada SRPMK.

Secara umum, SRPMB memiliki kekakuan (*stiffnes*) yang lebih besar dan kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan SRBPMK. Tetapi, SRPMB memiliki daktalitas yang lebih kecil dibandingkan dengan SRBPMK untuk kasus pembebanan gaya gempa yang sama. Pada SRBPMK, untuk mendapatkan daktalitas yang lebih tinggi, kehancuran (diperbolehkan) harus terjadi pada saat struktur baja mengalami leleh (*yield*).

2.5 Kriteria Perencanaan Struktur Bangunan Baja Tahan Gempa

2.5.1 Elemen Yang Memikul Gaya Aksial Tekan

Semua komponen struktur yang mengalami gaya tekan akibat beban terfaktor, N_u , harus memenuhi persyaratan sesuai persamaan 2.1.

$$N_u \leq \phi_c N_n \quad (2.1)$$

Keterangan:

ϕ_c 0,85 adalah faktor tahanan tekan

N_u Gaya tekan terfaktor

N_n Kuat tekan nominal komponen struktur yang ditentukan berdasarkan SNI 03-1729-2002 mengenai tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung.

Beberapa kondisi batas yang harus diperhitungkan dalam perencanaan batang tekan, yaitu:

1. Kelelahan penampang (*yielding*)
2. Tekuk lokal (*local buckling*)
3. Tekuk lentur (*flexural buckling*)
4. Tekuk torsi (*torsional buckling*)

Tekuk lokal adalah peristiwa menekunya elemen pelat penampang (sayap atau badan) akibat rasio tebal yang terlalu besar. Tekuk lokal mungkin terjadi sebelum batang atau kolom menekuk lentur. Oleh karena itu, disyaratkan pula nilai maksimum bagi rasio lebar-tebal pelat penampang batang tekan.

Tekuk lentur adalah peristiwa menekunya batang tekan pada arah sumbu lemahnya secara tiba-tiba terjadi ketidak stabilan. Kuat tekan nominal pada kondisi

batas dapat dilihat pada Pers 2.2 dan Pers. 2.3. Adapun kondisi leleh umum, kondisi tekuk inelastis dan kondisi tekuk elastis harus memenuhi persyaratan sesuai persamaan 2.4, 2.5 dan 2.6.

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} \quad (2.2)$$

$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega} \quad (2.3)$$

untuk $\lambda_c \leq 0,25$ maka $\omega = 1$ (kondisi leleh umum) (2.4)

untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$ maka $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c}$ (kondisi tekuk inelastis) (2.5)

untuk $\lambda_c \geq 1,2$ maka $\omega = 1,25 \lambda_c^2$ (kondisi tekuk elastis) (2.6)

Keterangan:

A_g luas penampang bruto, mm².

f_{cr} Tegangan kritis penampang, MPa.

f_y Tegangan leleh material, MPa.

Tekuk torsi terjadi terhadap sumbu batang sehingga menyebabkan penampang batang tekan terpuntir. Tekuk torsi umumnya terjadi pada konfigurasi elemen batang tertentu seperti profil siku ganda dan profil T.

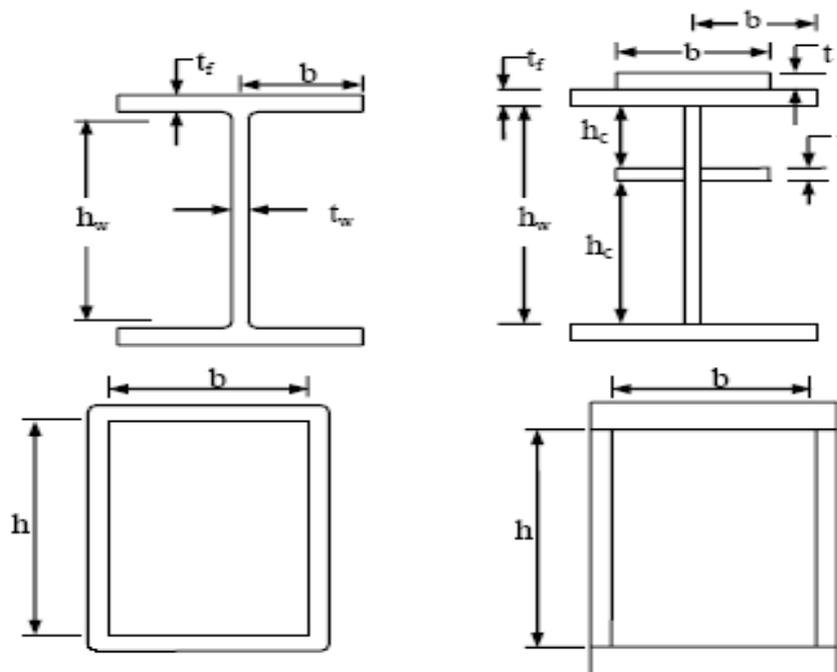
Selain persyaratan struktur baja pada umumnya, persyaratan komponen struktur baja yang mengalami tekan juga harus memenuhi persyaratan nilai batas perbandingan lebar terhadap tebal λ_p yang tersaji dalam Tabel 2.1 berikut ini, sedangkan pada SNI 03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung tersaji pada Tabel 7.5-1.

Tabel 2.1: Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan (f_y dinyatakan dalam MPa).

Keterangan elemen	Perbandingan lebar terhadap tebal (λ)	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
		λ_p	λ_r
Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur	b/t	$170 / \sqrt{f_y}$	$370 / \sqrt{f_y f_r}$

Tabel 2.1: Lanjutan.

Keterangan elemen	Perbandingan lebar terhadap tebal (λ)	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
		λ_p	λ_r
pelat sayap balo-I hibrida atau balok yang tersusun di las dalam lentur	b/t	-	$\frac{420}{\sqrt{\frac{f_y f_r}{k_e}}}$
Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan	b/t	-	$\frac{290}{\sqrt{\frac{f_y}{k_e}}}$
Sayap dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen struktur kana dalam aksial tekan, profil siku dalam pelat yang menyatu dengan balok atau komponen struktur tekan.	b/t	-	$\frac{250}{f_y}$



Gambar 2.3: Simbol untuk beberapa variable penampang (SNI 03-1729-2002).

Batasan kelasingan untuk elemen tekan ditetapkan tidak boleh melebihi nilai berikut atau dapat disajikan pada Pers. 2.7.

$$\lambda = \frac{L_k}{r} < 200 \quad (2.7)$$

2.5.2 Elemen Yang Memikul Gaya Aksial Tarik

Komponen struktur baja yang memikul gaya tarik (sering disebut batang tarik), harus direncanakan sedemikian rupa sehingga selalu terpenuhi hubungan di mana N_u adalah kuat tarik perlu, yaitu nilai gaya tarik akibat beban terfaktor, diambil nilai terbesar diantara berbagai kombinasi pembebanan yang diperhitungkan. N_n adalah kuat tarik nominal, yaitu gaya tarik pada kondisi batas yang diperhitungkan. Untuk komponen yang memikul gaya tarik, kondisi batas yang diperhitungkan sesuai dengan persamaan 2.8.

$$N_u \leq \phi_t N_n \quad (2.8)$$

1. Kelelahan penampang (*yielding*) yaitu leleh seluruh penampang (bruto)
2. Putus (*fracture*) yaitu terjadi retakan atau robekan pada luas penampang efektif.

Kuat tarik rencana ditentukan oleh kedua kondisi di atas dengan ketentuan-ketentuan yang berlaku sesuai persamaan 2.9 dan 2.10.

Kondisi leleh

$$\phi N_n = 0,9 A_g f_y \quad (2.9)$$

Kondisi retak

$$\phi N_n = 0,75 A_e f_u \quad (2.10)$$

Keterangan:

A_g luas penampang bruto

A_e luas penampang efektif

f_y tegangan leleh nominal baja profil yang digunakan dalam disain

f_u tegangan putus yang digunakan dalam disain

Kondisi fraktur dapat dicegah dengan mengatur luas bersih efektif penampang sedemikian rupa sehingga kondisi batas penampang ditentukan oleh kondisi leleh, yang dinyatakan sesuai dengan persamaan 2.11 dan 2.12.

Fraktur > leleh

$$0,75 A_e f_u > 0,9 A_g f_y \quad (2.11)$$

$$A_e / A_g > 120 f_y / f_u \quad (2.12)$$

Kekuatan atau tegangan yang dapat dikerahkan oleh baja tergantung dari mutu baja, tegangan leleh dan tegangan dasar dari berbagai macam baja bangunan seperti pada tabel 2.2.

Tabel 2.2: Rasio (A_e/A_g) minimum dari beberapa mutu baja, sehingga kondisi fraktur tidak terjadi.

Jenis baja	F_y (MPa)	F_u (MPa)	F_y/F_u	(A_e/A_g)) min	Tegangan putus minimum f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum f_y (MPa)	Peregangan minimum m (%)
BJ 37	240	370	0,65	0,78	340	210	22
BJ 41	250	410	0,61	0,73	370	240	20
BJ 44	280	440	0,64	0,76	410	250	18
BJ 50	290	500	0,58	0,70	500	290	16
BJ 52	360	520	0,69	0,83	550	410	13

Meskipun stabilitas bukan merupakan suatu kriteria dalam disain batang tarik, akan tetapi untuk menghindari bahaya yang timbul akibat getaran yang terjadi pada batang tarik harus didisain cukup kaku. Dengan memperhatikan ketentuan mengenai stabilitas batang tarik, maka ditentukan batas kelangsingan batang λ , sebagai berikut:

$$\lambda \leq 240 \text{ untuk komponen utama}$$

$$\lambda \leq 300 \text{ untuk komponen sekunder}$$

2.5.3 Elemen Yang Memikul Momen Lentur

Sebuah balok yang memikul beban lentur murni terfaktor, M_u harus direncanakan sedemikian rupa sehingga selalu terpenuhi sesuai dengan pers. 2.13.

$$M_u \leq \phi M_n \quad (2.13)$$

Keterangan:

M_u adalah momen terfaktor (N,mm)

ϕ adalah faktor reduksi 0,9

M_n adalah kuat nominal dari momen lentur penampang (N,mm)

2.6 Gaya Akibat Gempa Terhadap Struktur

Pergerakan pada kerak bumi akan menimbulkan energi yang terakumulasi kemudian dipancarkan kesegala arah. Energi yang dipancarkan berupa energi gelombang yang menyebabkan terjadinya gerakan tanah (*ground motions*). Gerakan tanah akibat gempa menghasilkan percepatan tanah, yang jika berada pada lokasi struktur akan diteruskan oleh tanah pada kerangka struktur. Percepatan tanah akibat gempa pada umumnya hanya terjadi beberapa detik sampai puluhan detik saja, walaupun kadang-kadang dapat terjadi lebih dari satu menit. Percepatan yang dialami struktur akan menimbulkan gaya horizontal dan gaya vertikal, sehingga struktur mengalami simpangan vertikal dan simpangan horizontal (lateral). Apabila bangunannya kaku, maka percepatannya akan sama dengan permukaan, yaitu menurut hukum kedua Newton pada Pers. 2.14 berikut:

$$F = m.a \quad (2.14)$$

Tetapi dalam kenyataannya hal ini tidaklah demikian karena pada tingkatan tertentu semua bangunan adalah fleksibel. Untuk struktur yang hanya sedikit berubah bentuk artinya menyerap sebagian energi, besar gayanya akan kurang dari massa kali percepatannya. Akan tetapi, struktur yang sangat fleksibel yang mempunyai waktu getar alamiah yang mendekati waktu getar gelombang permukaan dapat mengalami gaya yang jauh lebih besar yang ditimbulkan oleh

gerak permukaan yang berulang-ulang. Dengan demikian besar aksi gaya lateral pada bangunan tidak disebabkan oleh percepatan permukaan saja, tetapi juga tanggapan dari struktur bangunan dan juga pondasinya.

Faktor gempa yang berpengaruh pada respon atau reaksi struktur bangunan adalah lamanya waktu gempa dan rentang frekuensi gempa. Durasi gempa berpengaruh pada besarnya perpindahan energi dan vibrasi tanah keenergi struktur (*energi desipasi*). Gempa dengan percepatan sedang dan durasi yang lama menyebabkan kerusakan lebih besar dibandingkan dengan gempa yang memiliki percepatan besar tetapi durasinya singkat.

Pada umumnya, disain struktur bangunan tahan gempa merupakan disain yang mengatur hubungan antara respon gaya gempa horizontal yang berkerja pada struktur (faktor kekuatan), kekakuan struktur (*stiffness*) dan deformasi lateral struktur. Kekuatan elemen struktur dirancang agar saat terjadi gempa kekuatannya dapat tercapai (*capacity design*). Karena struktur mempunyai kekakuan, di dalam suatu perpindahan yang terjadi pada struktur. Redaman (*damping*) diperlukan oleh struktur sebagai penyerap energi gempa. Elemen yang daktail akan mampu berdeformasi melebihi batas kekuatan elastisnya dan akan terus mampu menahan beban sehingga mampu menyerap energi gempa yang lebih besar.

2.7 Perhitungan Beban Gempa

2.7.1 Faktor Keutamaan Dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Faktor keutamaan gempa adalah keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur rencana gedung. Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.3, SNI 1727:2012 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

Tabel 2.3: Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1727:2012.

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

Tabel 2.3: *Lanjutan.*

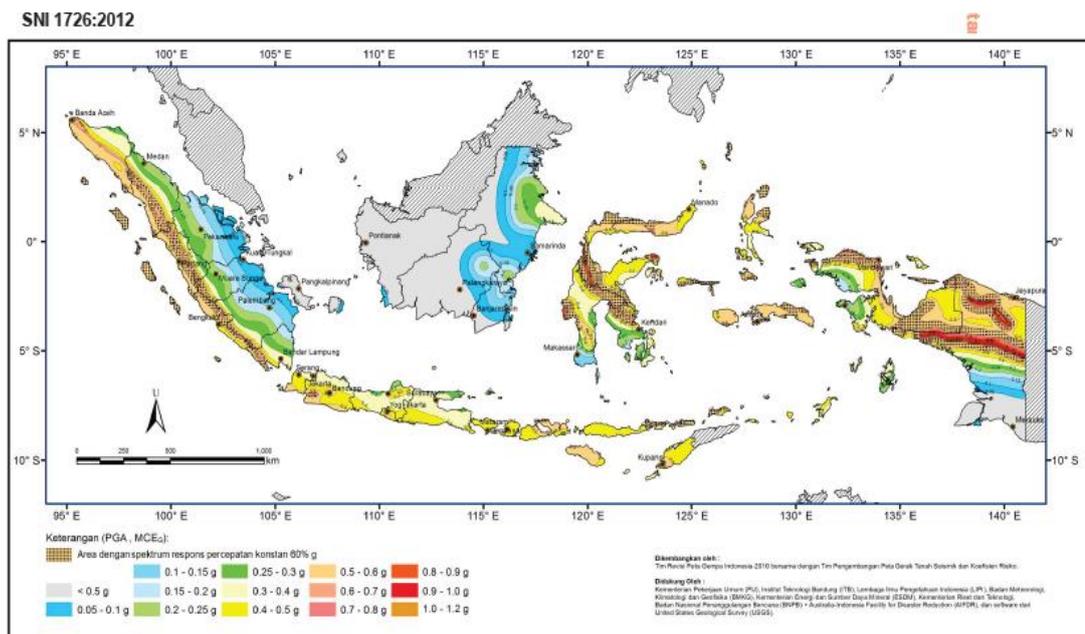
Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<ul style="list-style-type: none"> • Fasilitas penitipan anak • Penjara • Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan struktur lainnya, tidak termasuk ke dalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan 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 • Gedung non gedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko 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 mrngandung 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>III</p>
<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 	<p>IV</p>

Tabel 2.4: Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726:2012.

Kategori resiko	Faktor Keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

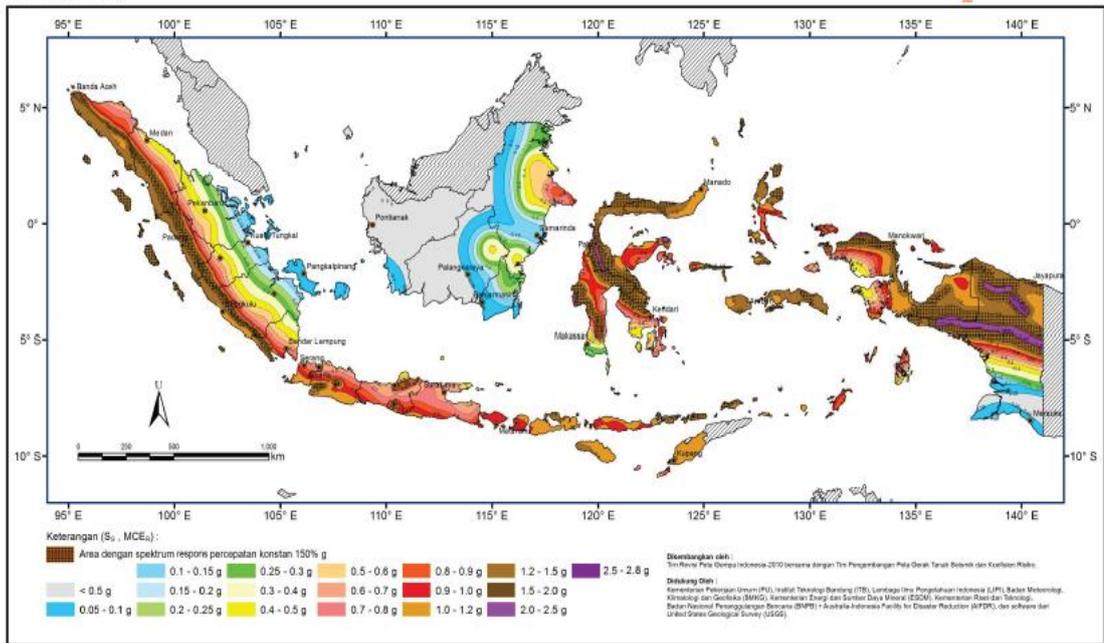
2.8 Faktor Respon Gempa (C)

Berdasarkan SNI 1726:2012, didapat peta periode ulang 2500 tahun disajikan pada gambar 2.4. sampai 2.6. dan cara mendapatkan respon spektranya.



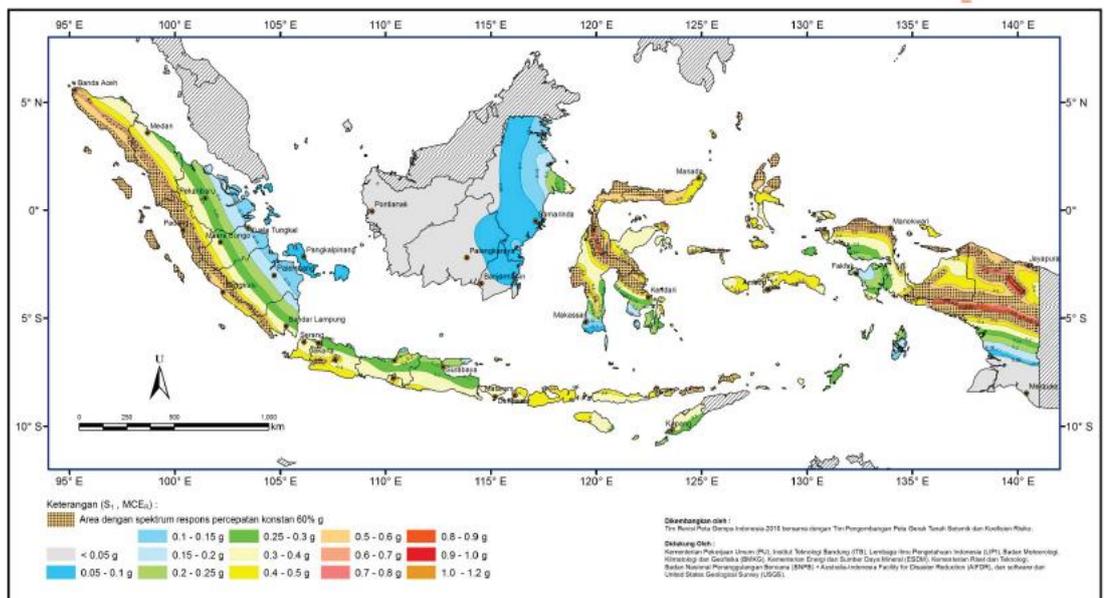
Gambar 2.4: Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5 % (SNI 1726:2012).

SNI 1726:2012



Gambar 2.5: Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (S_0) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012).

SNI 1726:2012



Gambar 2.6: Peta respon spektra percepatan 1,0 detik (S_1) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012).

a. Klasifikasi Site

Dalam perumusan kriteria disain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 2.5, berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli disain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam Tabel 2.5.

Dalam hal ini, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/ijin keahlian yang menyiapkan laporan penyelidikan tanah berdasarkan kondisi geotekniknya. Penetapan kelas situs *SA* dan kelas situs *SB* tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar.

Tabel 2.5: Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2012.

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
<i>SA</i> (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
<i>SB</i> (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
<i>SC</i> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
<i>SD</i> (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
<i>SE</i> (tanah lunak)	< 175	<15	< 50

b) Penentuan Percepatan Tanah Puncak

Berdasarkan SNI 1726:2012, untuk menentukan besarnya percepatan tanah puncak diperoleh dengan mengalikan koefisien situs F_{PGA} dengan nilai PGA yang diperoleh dari peta percepatan puncak PGA di batuan dasar (SE) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5%. Besarnya F_{PGA} tergantung dari klasifikasi situs yang didasarkan pada Tabel 2.5 dan nilainya ditentukan sesuai Tabel 2.6.

Tabel 2.6: Koefisien PGA (F_{PGA}) berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi Situs (Sesuai Tabel 2.6)	PGA				
	PGA≤0,1	PGA=0,2	PGA=0,3	PGA=0,4	PGA≥0,5
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah sangat padat dan batuan lunak (SC)	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

Keterangan:

PGA = Nilai PGA di batuan dasar SE mengacu pada peta gempa SNI 1726:2012 (Gambar 2.4).

SS = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisi respon Spesifik.

Percepatan tanah puncak dapat diperoleh dengan menggunakan Pers. 2.15.

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \quad (2.15)$$

Dimana :

PGA_M = Nilai percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.

F_{PGA} = Nilai percepatan koefisien untuk PGA.

c) Penentuan Respon Spektra Percepatan Gempa di Permukaan Tanah

Berdasarkan SNI 1726:2012 untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik perioda 0,2 (F_a) detik dan perioda 1 detik (F_v). Selanjutnya parameter respons spektra percepatan gempa di permukaan tanah dapat diperoleh dengan cara mengalikan koefisien F_a dan F_v dengan spektra percepatan untuk perioda pendek 0,2 detik (S_s) dan perioda 1,0 (S_1) di batuan dasar yang diperlukan dari peta gempa Indonesia SNI 1726:2012 sesuai Pers. 2.16. dan 2.17. :

$$S_{Ms} = F_a \cdot S_s \quad (2.16)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.17)$$

Keterangan :

S_s = Nilai respon spektral percepatan untuk perioda pendek 0,2 detik

S_1 = Nilai respon spektral percepatan untuk perioda 1 detik

F_a = Nilai koefisien prioda pendek

F_v = Nilai koefisien prioda 1 detik

Tabel 2.7. dan 2.8. memberikan nilai-nilai F_a dan F_v untuk berbagai klasifikasi situs.

Tabel 2.7: Koefisien periode pendek F_a berdasarkan SNI 1726:2012.

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 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 (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Tabel 2.7: Lanjutan.

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
Tanah sangat padat dengan batuan lunak (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SF)	SS				

Tabel 2.8: Koefisien periode Pendek F_V berdasarkan SNI 1726:2012.

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 1$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS				

Menurut SNI 1726:2012 untuk mendapatkan parameter percepatan spektra disain, spektra percepatan disain perioda pendek (S_{DS}) dan perioda 1 detik (S_{D1}) dapat diperoleh dari Pers. 2.18. dan 2.19.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.18)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.19)$$

Dimana :

S_{DS} = Respon spektra percepatan disain periode pendek

S_{D1} = Respon spektra percepatan disain periode 1,0 detik

Selanjutnya untuk mendapatkan spektrum disain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.6. dan mengikuti ketentuan berikut:

1. Untuk periode lebih kecil dari T_0 , respon spektra percepatan, S_a didapatkan dari Pers. 2.20.

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.20)$$

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. 2.21.

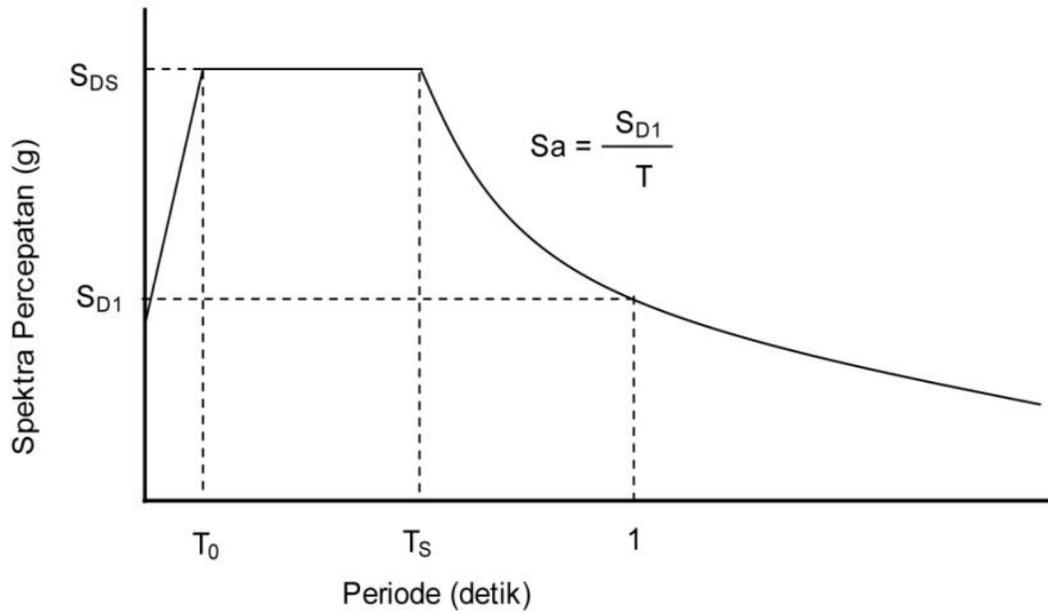
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.21)$$

Dimana:

Untuk nilai T_0 dan T_s dapat ditentukan dengan Pers. 2.22 dan 2.23.

$$T_0 = 0.2 \quad (2.22)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.23)$$



Gambar 2.7: Bentuk tipikal spektrum respon disain di permukaan tanah (SNI 1726:2012).

2.9 Kategori Disain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori disain seismik yang mengikuti syarat-syarat pada Tabel 2.9 dan Tabel 2.10 sebagai berikut :

Tabel 2.9: Katagori disain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek berdasarkan SNI 1726:2012.

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

Tabel 2.10: Katagori disain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik berdasarkan SNI 1726:2012.

Nilai S_{D1}	Katagori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 < S_{D1} < 0,2$	C	D
$0,20 < S_{D1}$	D	D

Didalam SNI 1726:2012 Pasal 7.2. Struktur penahan gaya gempa dimana sistem penahan gaya gempa berbeda diijinkan untuk digunakan pada struktur memiliki penahan gaya seismik yang ditentukan oleh parameter yang disajikan pada Tabel 2.11. Sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 2.11 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya disain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat disain.

Tabel 2.11: Faktor koefisien modifikasi respons (R^a), faktor kuat lebih sistem (Ω_0^g), faktor pembesaran defleksi (C_d^b), dan batasan tinggi sistem struktur (m)^c berdasarkan SNI 1726:2012.

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^g	Faktor perembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, (m) ^c				
				Kategori disain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
Sistem rangka pemikul momen: Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB

2.10 Kombinasi Pembebanan

Beban kerja pada struktur atau komponen struktur bisa ditetapkan berdasarkan peraturan pembebanan yang berlaku.

Beban mati adalah beban-beban yang berubah besar dan lokasinya selama masa layan, antara lain berat manusia, perabotan, peralatan yang dapat dipindah-pindah, kendaraan, dan barang-barang lainnya.

Beban angin adalah tekanan-tekanan yang berasal dari gerakan-gerakan angin. Umumnya perlu diperhitungkan pada luas bidang tangkap angin yang relatif luas pada bangunan dengan beban-beban yang relatif ringan.

Beban gempa adalah gaya-gaya yang berasal dari gerakan-gerakan tanah dikombinasikan dengan sifat-sifat dinamis struktur karena seringkali percepatan horizontal tanah lebih besar daripada percepatan vertikal, dan struktur secara umum lebih sensitif terhadap gerakan horizontal dari pada pengaruh gempa vertikal.

Kombinasi beban untuk metode ultimit struktur, komponen-komponen struktur dan elemen-elemen fondasi harus dirancang sedemikian rupa hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor.

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.4, faktor-faktor beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa nominal sama seperti pada SNI 1726:2012. Akan tetapi, pada kombinasi yang terdapat beban gempa di dalam persamaannya harus didisain berdasarkan pengaruh beban seismik yang di tentukan seperti berikut ini.

1. 1,4 DL.
2. 1,2 DL + 1,6 LL.
3. $1,2 DL + 1 LL \pm 0,3 (\rho Q_E + 0,2 DL) \pm 1 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL)$.
4. $1,2 DL + 1 LL \pm 1 (\rho Q_E + 0,2 DL) \pm 0,3 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL)$.
5. $0,9 DL \pm 0,3 (\rho Q_E + 0,2 DL) \pm 1 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL)$.
6. $0,9 DL \pm 1 (\rho Q_E + 0,2 DL) \pm 0,3 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL)$.

Dimana:

DL = Beban mati

LL = Beban hidup

- EX = Beban gempa arah-x
 EY = Beban gempa arah-y
 ρ = Factor redudansi, untuk disain seimik D sampai F nilainya 1
 S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respon desai perioda pendek
 Q_E = Pengaruh gaya seismik horizontal dari V, yaitu gaya geser disain total di dasar struktur dalam arah yang di tinjau. Pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain.

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (3) dan (4), E harus didefinisikan sesuai Pers. 2.24.

$$E = E_h + E_v \quad (2.24)$$

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (5) dan (6), E harus didefinisikan sesuai dengan Pers. 2.25.

$$E = E_h - E_v \quad (2.25)$$

Dimana :

- E = Pengaruh beban seismik
 E_h = Pengaruh beban seismik horizontal yang akan didefinisikan selanjutnya
 E_v = Pengaruh beban seismik vertikal yang akan didefinifikan selanjutnya

Untuk pengaruh beban seimik E_h harus ditentukan dengan Pers. 2.26.

$$E_h = \rho \cdot Q_E \quad (2.26)$$

Dimana :

- Q = Pengaruh gaya seismik horizontal dari V atau F_p
 ρ = faktor redudansi, untuk disain D sampai F, nilainya 1,3

Untuk pengaruh seismik E_v harus ditentukan dengan Pers. 2.27.

$$E_v = 0,2 S_{DS} DL \quad (2.27)$$

Dimana:

- S_{DS} = Parameter percepatan respon disain pada perioda pendek
 DL = Pengaruh beban mati

2.11 Faktor Redudansi

Faktor redudansi (ρ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya seismik masing-masing dalam kedua arah orthogonal untuk semua struktur.

a). Kondisi dimana nilai ρ diizinkan 1 sebagai berikut :

1. Struktur dirancang untuk kategori disain seismik B atau C.
2. Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta, disain 3.
3. Komponen non struktural.
4. Disain struktural non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung.
5. Disain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungan dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan pasal 7.4.3. pada SNI 1726:2012 yang digunakan.
6. Disain elemen struktur atau sambungan dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan pasal 7.4.3. SNI 1726:2012 disyaratkan untuk didisain.
7. Beban diafragma ditentukan menggunakan Pers. 37 yang terdapat pada SNI 1726:2012 yaitu:

Dimana F_{px} tidak boleh kurang dari Pers. 2.28.

$$F_{px} = 0,2 S_{DS} \cdot I_{ex} \cdot W_{px} \quad (2.28)$$

Dan F_{px} tidak boleh kurang dari Pers. 2.29.

$$F_{px} = 0,4 S_{DS} \cdot I_{ex} \cdot W_{px} \quad (2.29)$$

Dimana:

F_{px} = Gaya disain diafragma

F_i = Gaya disain yang diterapkan ditingkat i

w_i = Tributari berat sampai tingkat i

w_{px} = Tributari berat sampai diafragma di tingkat x

8. Struktur bagian sistem peredaman.
9. Desan dinding geser struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

Tabel 2.12: Persyaratan masing-masing tingkatan yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar (SNI 1726:2012).

Elemen Penahan Gaya Lateral	Persyaratan
Rangka dengan bresing	Pelepasan bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kuat tingkat sebesar lebih dari 33% atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai (ketidakberaturan horizontal tipe b)
Rangka pemikul momen	Kehilangan tahanan momen disambungan balok ke kolom di kedua ujung balok tunggal tidak mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33% (ketidakberaturan horizontal tipe b)
Dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih dari 1	Pelepasan dinding geser atau pier dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1 di semua tingkat atau sambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kuat tingkat sebesar 33% atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidak beraturan torsi yang berlebihan (ketidak beraturan struktur horizontal I tipe b)
Kolom katilever	Kehilangan tahanan momen disambungan dasar semua katilever tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33% atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidak beraturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan srstruktur horizontal tipe b)

b). Kondisi dimana nilai ρ diizinkan 1,3 untuk struktur yang dirancang bagi kategori seismik D, E, dan F faktor redudansi (ρ) harus sama dengan 1,3, kecuali jika salah satu dari dua kondisi berikut dipenuhi dimana (ρ) diizinkan diambil 1:

1. Masing-masing tingkatan yang menahan lebih dari 35% geser dalam arah yang ditinjau sesuai dengan Tabel 2.12.
2. Struktur dengan denah beraturan disemua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing arah orthogonal disetiap tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, h_{sx} , untuk konstruksi rangka ringan.

2.12 Arah Pembebanan

Menurut SNI 1726:2012 adalah sebagai berikut:

1. Arah kriteria pembeban.

Arah penerapan beban gempa yang digunakan dalam disain harus merupakan arah yang akan menghasilkan pengaruh beban paling kritis. Arah penerapan gaya gempa diijinkan untuk memenuhi persyaratan ini menggunakan prosedur pasal 7.5.2, 7.5.3, dan 7.5.4.

2. Kategori disain seismik D sampai F.

Struktur yang dirancang untuk kategori disain seismik D, E, atau F harus, minimum, sesuai dengan persyaratan 7.5.3. Sebagai tambahan, semua kolom atau dinding yang membentuk bagian dari dua atau lebih sistem penahan gaya gempa yang berpotongan dan dikenai beban aksial akibat gaya gempa yang bekerja sepanjang baik sumbu denah utama sama atau melebihi 20 persen kuat disain aksial kolom atau dinding harus didisain untuk pengaruh beban paling kritis akibat penerapan gaya gempa dalam semua arah. Baik prosedur 7.5.3a atau 7.5.3b pada SNI 1726:2012, diijinkan untuk digunakan untuk persyaratan ini. Adapun prosedur 7.5.3a atau 7.5.3b pada SNI 1726:2012 adalah sebagai berikut :

- a. Prosedur kombinasi orthogonal. Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur pasal 7.8, 7.9, 11.1, diijinkan dalam 7.6 pada SNI 1726:2012, dengan pembebanan yang diterapkan secara terpisah dalam semua dua arah

orthogonal. Pengaruh beban kritis akibat arah penerapan gaya gempa pada struktur dianggap terpenuhi jika komponen dan fondasinya didisain untuk memikul kombinasi beban-beban yang ditetapkan berikut: 100 persen gaya untuk satu arah ditambah 30 persen gaya untuk arah tegak lurus. Kombinasi yang mensyaratkan kekuatan komponen maksimum harus digunakan.

- b. Penerapan serentak gerak tanah orthogonal. Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur 11.1, 11.2, yang diijinkan dalam 7.6 pada SNI 1726:2012, dengan pasangan orthogonal riwayat percepatan gerak tanah yang diterapkan secara serentak.

Kecuali seperti disyaratkan dalam pasal 7.7.3, analisis 2D diijinkan untuk struktur dengan diafragma fleksibel.

2.13 Analisis Gaya Lateral Ekuivalen

Dalam perhitungan analisis beban dipakai cara perhitungan statik ekuivalen adalah cara analisis pembagian beban geser tingkat akibat beban gempa dengan menirukan perilaku beban dinamik dengan batasan arah gempa tertentu. Struktur gedung beraturan dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur tersebut berupa beban gempa nominal statik ekuivalen. Beban yang bekerja dianggap sebagai beban statik ekuivalen yang didistribusikan sepanjang tinggi struktur gedung seperti yang akan diuraikan dalam *SNI 1726:2012*

2.13.1 Geser Dasar Seismik

Berdasarkan *SNI 1726:2012*, geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan Pers. 2.30.

$$V = C_s \cdot W_t \tag{2.30}$$

Dimana:

C_s = Koefisien respon seismik yang ditentukan

W_t = Berat total Gedung

Koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan

Menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1. persamaan-persamaan yang digunakan untuk mendapatkan koefisien C_s adalah:

1. C_s maksimum

Untuk menentukan C_s maksimum dengan Pers 2.31.

$$C_s = \frac{S_{ds}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.31)$$

Nilai C_s maksimum di atas tidak perlu melebihi nilai C_s hasil hitungan pada Pers 2.32.

2. C_s hasil hitungan

$$C_s = \frac{S_{d1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.32)$$

C_s hasil hitungan harus tidak kurang dari C_s minimum pada Pers 2.33.

3. C_s minimum

$$C_s \text{ minimum} = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (2.33)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g maka C_s harus tidak kurang dari Pers 2.34:

$$C_s = \frac{0,5.S_1}{\frac{R}{I}} \quad (2.34)$$

Keterangan:

S_{d1} = Parameter percepatan spektrum respons disain pada perioda sebesar 1,0 (detik).

S_{ds} = Parameter percepatan spektrum respons disain dalam rentang perioda pendek.

S_1 = Parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan.

T = Perioda fundamental struktur (detik).

- R = Faktor modifikasi respons dalam.
 I_e = Faktor keutamaan gempa.

2.14 Perioda Alami Fundamental

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 5.6, perioda struktur fundamental (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Perioda struktur fundamental memiliki nilai batas minimum dan batas maksimum. Nilai-nilai tersebut adalah:

1. Perioda pendekatan minimum (T_a minimum) ditentukan dengan Pers. 2.35.

$$T_a \text{ minimum} = C_r \cdot h_n^x \quad (2.35)$$

Dimana:

- T_a minimum = Nilai batas bawah perioda bangunan
 H_n = Ketinggian struktur dalam m diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (meter)
 C_r = Ditentukan dari Tabel 2.13.
 x = Ditentukan dari Tabel 2.13.

Tabel 2.13: Nilai parameter perioda pendekatan C_r dan x berdasarkan SNI 1726:2012.

Tipe Struktur	C_r	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau di hubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9

2. Periode fundamental pendekatan maksimum (T_a maksimum) ditentukan dari Pers. 2.36.

$$T_a \text{ maksimum} = C_u \cdot T_a \text{ minimum} \quad (2.36)$$

Dimana:

T_a maksimum = Nilai batas atas periode bangunan

C_u = Ditentukan dari Tabel 2.14.

Tabel 2.14: Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2012.

Parameter Percepatan Respon Spectra Disain pada 1 Detik S_{D1}	Koefisien (C_u)
0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
0,1	1,7

2.15 Ketentuan Untuk Analisis Respon Dinamik

Berdasarkan Studi Kompilerasi Disain Bangunan Tahan Gempa, parameter respon terkombinasi respon masing-masing ragam yang ditentukan melalui spektrum respon rencana gempa merupakan respon maksimum. Pada umumnya, respon masing-masing ragam mencapai nilai maksimum pada saat yang berbeda sehingga respons 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 mencapai 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 Kuadratik 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 Akar Kuadrat Jumlah Kudrat (*Square Root Of The Sum Of Squares/ SRSS*).

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang 85% nilai respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser V_t , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dalam Pers. 2.37. berikut :

$$V_t = 0,85 V_I \quad (2.37)$$

Dimana :

V_t = Gaya geser dasar nominal sebagai respons ragam yang pertama atau yang didapat dari prosedur gaya geser statik ekuivalen.

Maka, apabila nilai akhir respon dinamik lebih kecil dari nilai respon ragam pertama, gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisis respons spektrum ragam dalam suatu arah tertentu harus dikalikan nilainya dengan suatu faktor skala yang ditentukan dengan Pers. 2.38.

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,85 V_t}{V_I} \leq 1 \quad (2.38)$$

Dimana:

V_t = Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respon yang telah dilakukan.

V_I = Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekuivalen.

2.16 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.3. gaya gempa lateral (F_i) yang timbul disemua tingkat harus ditentukan dari Pers. 2.39 dan 2.40.

Dimana :

$$F_i = C_{vx} \cdot V \quad (2.39)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.40)$$

Dimana:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal.

V = Gaya geser atau lateral disain total.

w_i = bagian berat seismik efektif total struktur (W_f) yang dikenakan atau di tempatkan pada tingkat-i.

h_i = tinggi (meter) dari dasar sampai tingkat-i.

K = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut.

- Untuk struktur yang memiliki tinggi $T \leq 0,5$ detik ; $k = 1$.
- Untuk struktur yang memiliki tinggi $T \leq 2,5$ detik ; $k = 2$.
- Untuk struktur yang memiliki $0,5 < T < 2,5$ detik; k adalah hasil interpolasi.

2.17 Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012, geser tingkat disain gempa disemua tingkat (V_x) harus ditentukan dari Pers. 2.41.

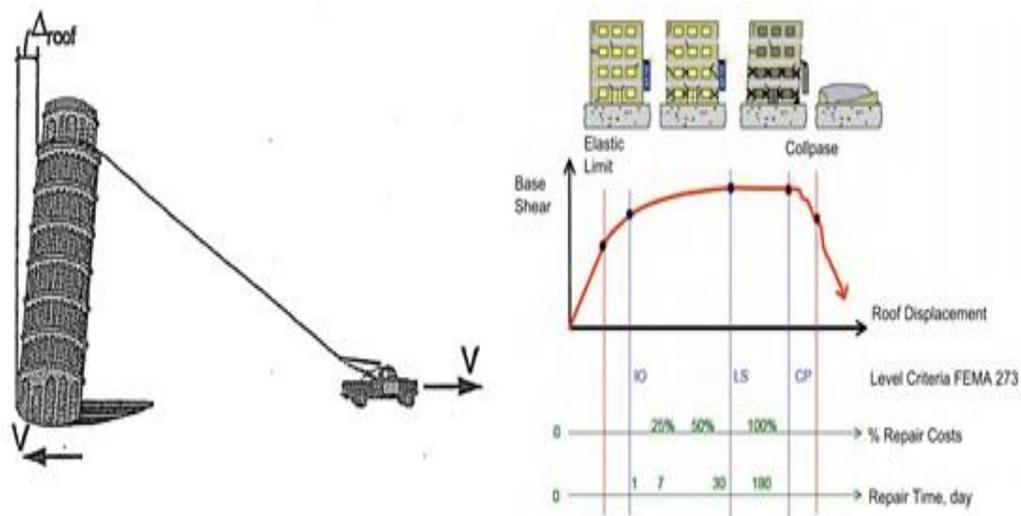
$$V_x = \sum_{i-x}^n F_i \quad (2.41)$$

Dimana:

F_i = Bagian dari geser dasar seismik (V) (kN) yang timbul di tingkat ke-i.

2.18 Analisa Menggunakan Metode *Pushover*

Mengenai tentang analisa pushover atau lebih dikenal analisa beban dorong. Analisa pushover adalah analisa static nonlinear untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan atau struktur. Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral static pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan factor pengali sampai satu target perpindahan tercapai. Lebih mudahnya suatu bangunan diberi gaya horizontal pada atapnya. Kemudian bebannya ditingkatkan tahap demi tahap sampai bangunan itu runtuh atau sesuai target perpindahan yang ditentukan seperti Gambar 2.8.



Gambar 2.8: Metode *pushover*

Analisa pushover ini menghasilkan kurva pushover/kapasitas yang menggambarkan hubungan antara gaya geser (V) dan perpindahan pada atap (D). Jika dilihat kurva pushover, perilaku struktur masih linear sampai batas elastic kemudian karena kekakuan struktur berkurang, kurva bergerak landau kemudian lebih landau lagi sampai runtuh. Secara keseluruhan kurva tidak berbentuk garis lurus, ini disebut analisa nonlinear. Analisa ini digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan struktur. Dari kurva pushover dapat diperkirakan gaya

maksimum dan deformasi yang terjadi pada struktur. Dalam praktiknya analisa pushover ini biasanya digunakan untuk investigasi bangunan terhadap gempa yang terjadi.

Wiryanto Dewobroto (2006) menyatakan Analisis *pushover* dapat digunakan sebagai alat bantu perencanaan tahan gempa, asalkan menyesuaikan dengan keterbatasan yang ada, yaitu :

1. Hasil analisis *pushover* masih berupa suatu pendekatan, karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak-balik melalui suatu siklus tertentu, sedangkan sifat pembebanan pada analisis *pushover* adalah statik monotonik.
2. Pemilihan pola beban lateral yang digunakan dalam analisis adalah sangat penting.
3. Untuk membuat model analisis *nonlinier* akan lebih rumit dibanding model analisis linier. Analisis nonlinier harus memperhitungkan karakteristik inelastik beban-deformasi dari elemen-elemen yang penting dan efek $P-\Delta$.

2.19 Analisa Menggunakan Metode Respon Spektrum

Spektrum respons adalah suatu spectrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T_w dan respons-respons maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respons-respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum, kecepatan maksimum, dan percepatan maksimum. Nilai spectrum respons dipengaruhi oleh periode getar, rasio redaman, tingkat daktilitas dan jenis tanah.

Spektrum respons akan berfungsi sebagai alat untuk mengestimasi penentuan *strength demand*. Estimasi kebutuhan kekuatan struktur (*strength demand*) akibat beban gempa pada prinsipnya adalah menentukan seberapa besar beban horisontal yang akan bekerja pada tiap-tiap massa. Spektrum respons dapat dipakai untuk menentukan gaya horisontal maupun simpangan struktur di mana total respons didapat melalui super posisi dari respons masing-masing ragam getar.

Gambar 2.9 merupakan spektrum respons desain (SNI 03-1726-2012). Kurva respons spektrum harus dikembangkan dengan mengacu pada ketentuan berikut :

- a) Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a harus diambil melalui Pers. 2.42.

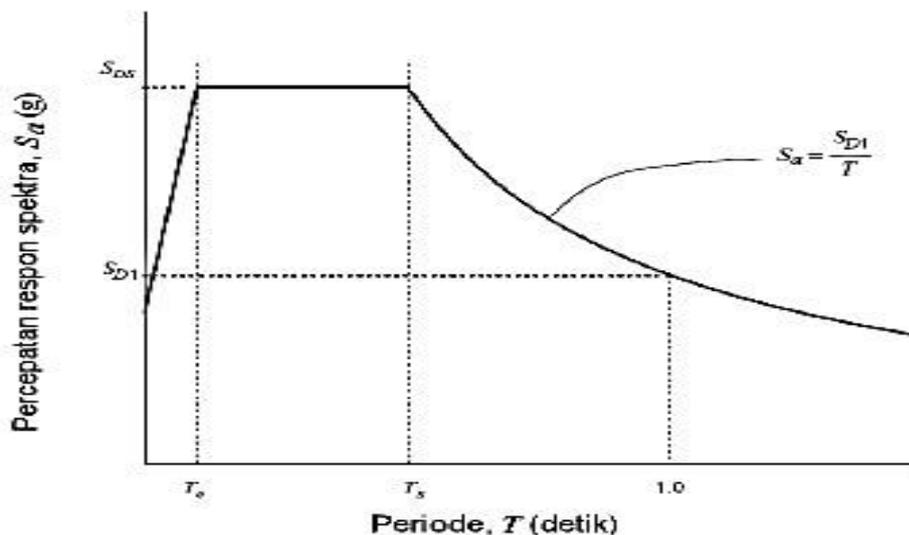
$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.42)$$

- b) Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan S_{DS}
- c) Untuk perioda lebih besar dari T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a sama diambil berdasarkan Pers. 2.57, 2.58 dan 2.59 sebagai berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.43)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.44)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.45)$$



Gambar 2.9 Spektrum respons desain (SNI 03-1726-2012)

2.19.1 Jumlah Ragam

Analisis respons spektrum harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal ortogonal struktur yang ditinjau.

2.19.2 Parameter Respons Ragam

Nilai untuk masing-masing parameter desain terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar lantai tingkat, termasuk simpangan antar lantai tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing-masing ragam respons harus dihitung menggunakan properti masing-masing ragam dan spektrum respons didefinisikan dalam Pasal 6.4 atau 6.10.2 (SNI Gempa 2012) dibagi dengan kuantitas (R/I_e). Nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar lantai harus dikalikan dengan kuantitas (C_d/I_e).

2.19.3 Parameter Respons Terkombinasi

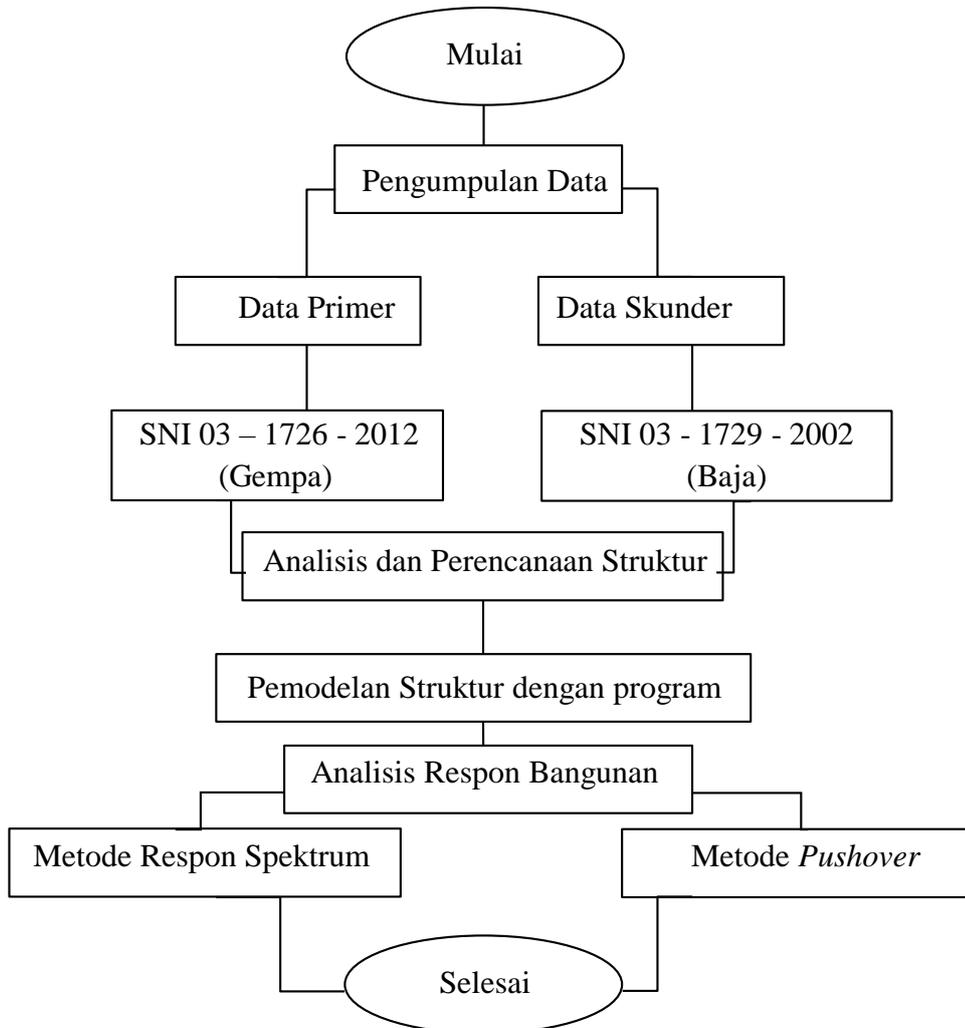
Nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, harus dikombinasikan menggunakan metode SRSS (*Square Root of The Sum of Squares*) atau metode CQC (*Complete Quadratic Combination*). Jika struktur gedung memiliki perioda getar berdekatan atau selisihnya kurang dari 15%, maka digunakan metode CQC. Jika struktur gedung memiliki perioda getar yang berjauhan atau selisihnya lebih dari 15%, maka digunakan metode SRSS.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi

Metodologi dalam penelitian struktur gedung dengan fungsi sebagai gedung perkantoran di wilayah Padang ini terdiri dari dua metode analisis, yaitu metode analisis *pushover* dan metode analisis respon spektrum dengan menggunakan program analisis struktur dengan tahap pengerjaan seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.

3.2 Pengumpulan Data

Data penelitian

Fungsi bangunan	: Gedung apartemen
Jenis struktur	: Gedung struktur baja dengan system rangka pemikul momen khusus (SRPMK)
Jumlah lantai	: 4 Tingkat
Tinggi lantai dasar	: 4,0 m
Tinggi lantai tipikal	: 4,0 m
Tinggi bangunan keseluruhan	: 16 m
Tebal pelat	: 0,12 m
Struktur atap	: Pelat beton
Struktur bangunan	: Baja
a) Mutu baja	: BJ 41
b) Tegangan leleh (Fy)	: 250 Mpa
c) Tegangan putus (Fu)	: 410 Mpa
Kategori bentuk bangunan	: Beraturan

Peraturan-peraturan yang digunakan dalam penelitian ini terlampir dalam Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Peraturan SNI yang digunakan

No.	Peraturan	Tentang
1	SNI 03-1729-2002	Tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung
2	SNI 1726-2012	Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung
3	SNI 1727-2013	Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain
4	PPIUG 1987	Peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung
5	Peta Hazard 2010	Peta Hazard gempa Indonesia 2010

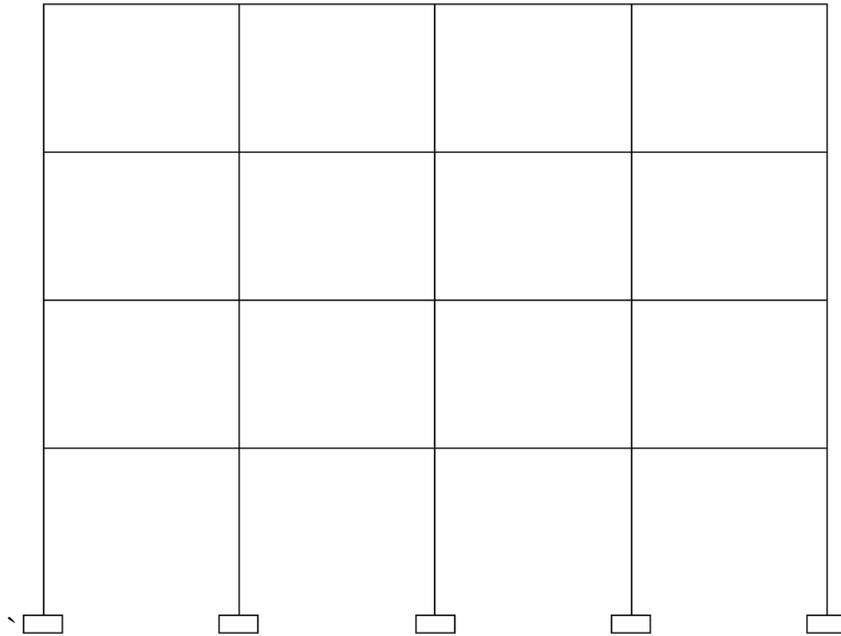
Tahap awal dari penelitian ini adalah mempelajari literatur-literatur yang berkaitan dengan penelitian. Studi literatur dilakukan untuk menganalisa ragam gempa dengan metode *pushover*. Setelah desain pemodelan struktur dilakukan kemudian dilanjutkan dengan memberi beban gaya horizontal (*pushover*) pada struktur bangunan, sehingga akan di ketahui hasil kurva pola dan letak titik leleh awal dan titik leleh puncak pada struktur bangunan. Kemudian mencatat hasil pola dan titik leleh awal dan titik leleh puncak serta membuat desain struktur baru dengan memperlemah balok pada titik leleh awal dan titik leleh puncak tersebut. Kemudian dilanjutkan dengan mengevaluasi torsi pada pelat lantai yang terjadi akibat dari pola leleh (plastis) tersebut dengan analisa respon spektrum dengan cara yang sama.

3.3 Pemodelan Struktur

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa statik linier dan analisa statik non- linier pada struktur bangunan yang dimodelkan sebagai portal 3 dimensi yang terdiri dari 1 model yaitu portal terbuka (*open frame*). Analisa yang dipakai adalah analisa *pushover* lalu pada saat mengevaluasi menggunakan metode respon spektrum.

Model terdiri dari 4 lantai dengan 4 bentang seperti Gambar 3.2. Tinggi untuk lantai pertama adalah 4,00 m, sedangkan untuk lantai-lantai lainnya 4,00 m. Masing-masing model mempunyai panjang bentang 5,00 m, dan perletakan pada model diasumsikan sebagai jepit. Struktur diasumsikan terletak di atas tanah lunak. Peruntukan bangunan diasumsikan sebagai gedung apartemen. Untuk *preliminary design* ditetapkan dimensi balok *WF* 400 x 300 x 11 x 18 mm, kolom *H* 458 x 417 x 30 x 50 mm, dan tebal plat lantai dan atap 12 cm.

Gedung apartemen yang dimaksud disini merupakan struktur baja. Elemen kolom dan balok dimodelkan sebagai *frame* dan pelat lantai dimodelkan sebagai *shell thin*.



Gambar 3.2: Pemodelan gedung SRPM.

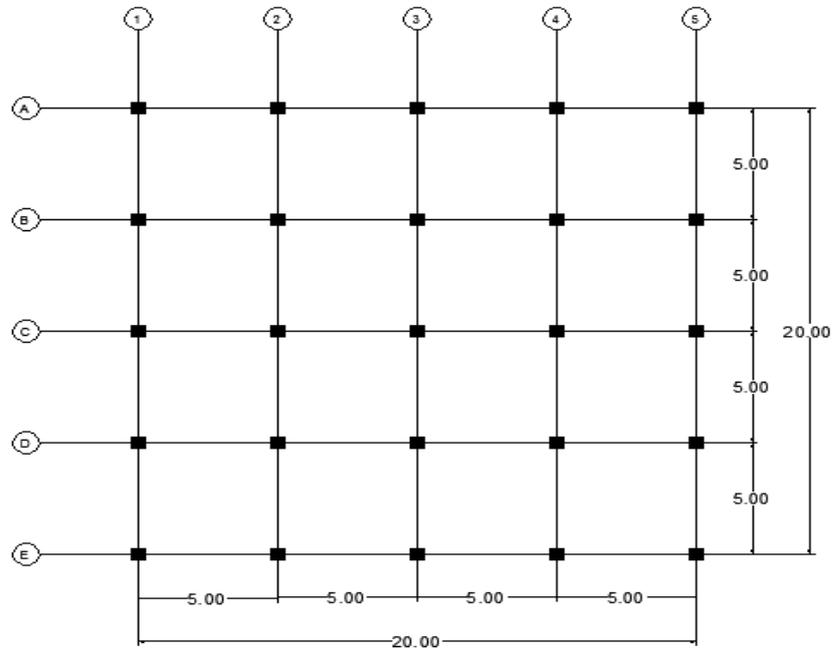
3.3.1 Konfigurasi Struktur

Pemodelan struktur dilakukan dengan program SAP 2000 dimana dimensi elemen-elemen struktur diasumsikan seperti Tabel 3.2 dibawah ini :

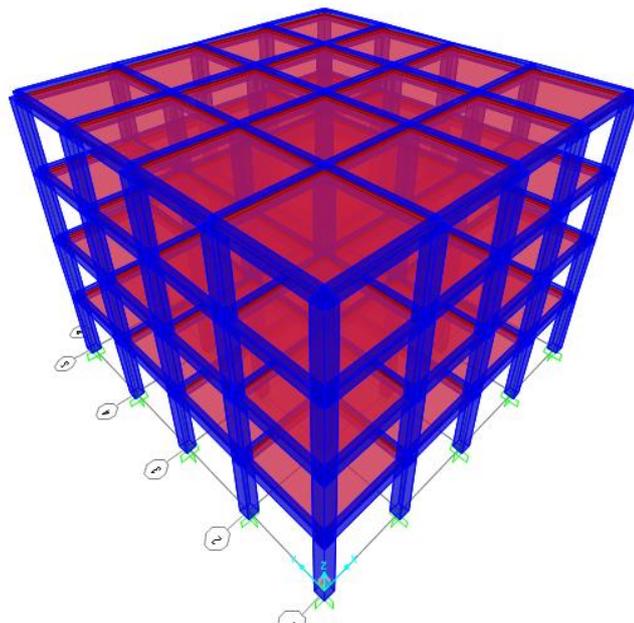
Tabel 3.2:Konfigurasi struktur.

Jumah tingkat	4 Tingkat
Tinggi bangunan	16 m
Tinggi lantai dasar	4 m
Tinggi antar lantai	4 m
Luas bangunan	400 m ²
Panjang bangunan	20 m
Lebar bangunan	20 m

Adapun model denah dan pemodelan 3D tampak seperti Gambar 3.3 dan 3.4 dibawah ini :



Gambar 3.3: Denah perencanaan gedung baja sumbu X-Y.



Gambar 3.4 Pemodelan 3D portal baja terbuka.

3.3.2 Karakteristik Material

Gedung yang direncanakan merupakan struktur baja . Untuk kolom, balok digunakan material baja, dengan mutu baja BJ 41 dan untuk pelat lantai dan pelat atap menggunakan material beton dengan $f'c = 30$ MPa. Pendefinisian material dilakukan pada program analisa struktur

3.3.3 Dimensi Elemen Struktur

Dimensi awal elemen struktur diasumsikan dengan nilai-nilai seperti yang terlihat pada Tabel 3.3 dibawah:

Tabel 3.3: Dimensi elemen struktur

Elemen	Ukuran
Balok	WF 400 x 305 x 11 x 18 mm
Kolom	H 458 x 417 x 30 x 50 mm
Tebal pelat lantai	12 cm
Tebal pelat atap	12 cm

3.4 Pembebanan

Di dalam struktur bangunan Teknik Sipil terdapat dua jenis beban luar yang bekerja yaitu beban statis dan beban dinamis. Beban yang bekerja terus-menerus pada suatu struktur adalah beban statis. Jenis dari beban statis adalah sebagai berikut:

3.4.1 Beban hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang disebabkan oleh penggunaan maupun hunian dan beban ini bisa ada atau tidak ada pada struktur pada waktu tertentu. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi terkadang dapat juga berarah horizontal. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat bergerak

atau berpindah. Berat beban hidup berdasarkan Peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung, PPIUG 1987 disajikan dalam Tabel 3.4.

Tabel 3.4: Beban hidup pada lantai gedung.

Hunian atau Penggunaan	Beban Merata (kg/m ²)
- Sekolah, - ruang kuliah - Kantor - Toko, toserba - Restoran - Hotel, asrama, apartemen - Rumah Sakit	250 kg/m ²
Atap datar	100 kg/m ²

Nilai reduksi beban hidup menurut SNI 1727 2013 pasal 4.7.2 dengan menggunakan Pers 3.1.

$$L = L_o \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{K_{LLAT}}} \right)$$

$$L = L_o \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{4 \times 400}} \right) \quad (3.1)$$

$$L = 0.36L_o$$

3.4.2 Beban mati (*Dead load*)

Berat sendiri komponen struktur sudah dihitung secara otomatis oleh program berdasarkan input data dimensi dan Untuk berat satuan material disajikan pada Tabel 3.5, Sedangkan untuk beban mati tambahan berdasarkan PPPURG 1987 Pasal 2.1.1 diperoleh data seperti pada Tabel 3.6.

Tabel 3.5: Berat material konstruksi berdasarkan SNI 1727:2013.

Beban Mati	Besarnya Beban
Baja	7850 kg/m ³

Tabel 3.6: Beban Mati tambahan pada lantai gedung.

Jenis Material	Berat Jenis Material
Keramik	24 kg/m ²
Plafond dan penggantung	18 kg/m ²
<i>Water proofing</i>	5 kg/m ²
Spesi/adukan, per cm tebal dari semen	21 kg/m ²
Spesi (tebal 3cm)	63 kg/m ²
Dinding pasangan bata merah (1/2 batu)	250 kg/m ²

Beban-beban gravitasi tersebut dapat dirangkum untuk masing-masing lantai sebagai berikut:

a) Untuk lantai 1-3:

Beban mati tambahan

1. Spesi (tebal 3cm) = 63 kg/m²
 2. Keramik = 24 kg/m²
 3. Plafond dan penggantung = 18 kg/m²
- Total beban mati tambahan = 105 kg/m²

b) Untuk lantai atap:

Beban mati tambahan

1. Spesi (tebal 3cm) = 63 kg/m²
 2. Plafond dan penggantung = 18 kg/m²
 3. *Water proofing* = 5 kg/m²
- Total beban mati tambahan = 86 kg/m²

3.5 Metode Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726 2012

Berdasarkan SNI 1726-2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, terlebih dahulu harus ditentukan kategori resiko bangunan yang akan direncanakan yaitu bangunan yang digunakan sebagai gedung apartemen, dengan kategori resiko II dan faktor keutamaan gempa adalah 1,0. Bangunan direncanakan berada dikota Bengkulu.

Penentuan kategori desain seismik dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menentukan nilai spektral percepatan (S_s) dan spektral percepatan (S_1) untuk kota Bengkulu yang dapat dilihat pada Peta Zonasi Gempa tahun 2012 yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum di bawah ini.

Berdasarkan Peta Zonasi Gempa 2012 dan menurut Puskim, maka:

- $PGA = 0.519 \text{ g}$
- $S_s = 1,372 \text{ g}$
- $S_1 = 0,567 \text{ g}$

Untuk kategori resiko bangunan adalah II dan faktor keutamaan gempa I_e adalah 1,0. Karena tidak dilakukannya penyelidikan geoteknik, maka diasumsikan klasifikasi situs berada di SE (tanah lunak). Langkah-langkah yang dilakukan dalam membuat spektrum respon gempa rencana sebagai berikut:

- 1) Penentuan faktor amplikasi terkait spektra percepatan untuk periode pendek (F_a) dan periode 1,0 detik (F_v) seperti Tabel 3.7.

Tabel 3.7: Interpolasi koefisien situs, F_a dan F_v (SNI 1726:2012).

Koefisien situs F_a dan F_v , untuk kota Bengkulu		
Kelas situs	F_a ($S_s = 1.373$)	F_v ($S_1 = 0,6$)
SE – tanah lunak	0.9	2.4

- 2) Penentuan nilai spektra percepatan untuk periode pendek (S_{MS}) dan periode 1,0 detik (S_{MI}), dengan Pers. 3.2

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (3.2)$$

$$S_{MS} = 0,9 \times 1,372 = 1,235$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

$$S_{M1} = 2,4 \times 0,567 = 1,361$$

3) Penentuan respon spektra percepatan desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1,0 detik (S_{D1}), dengan Pers. 3.3 dan 3.4.

$$S_{DS} = \mu \times S_{MS} \quad (3.3)$$

$$S_{D1} = \mu \times S_{M1} \quad (3.4)$$

dimana:

μ merupakan konstanta yang tergantung pada peraturan perencanaan bangunan yang digunakan, misalnya untuk IBC-2009 dan ASCE 7-10 dengan gempa 2500 tahun menggunakan nilai μ sebesar 2/3 tahun.

Tabel 3.8: Nilai S_{DS} dan S_{D1} untuk kota Bengkulu.

Nilai S_{DS} , dan S_{D1} untuk kota Bengkulu		
Kelas situs	$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS}$	$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1}$
SE – tanah lunak	$2/3 \times 1,235 = 0,823$	$2/3 \times 1,361 = 0,907$

Tabel 3.9: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek.

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

Tabel 3.10: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.

Nilai S_{D1}	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} > 0.067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Berdasarkan Tabel 3.9 – 3.10 diatas untuk penentuan kategori desain seismik untuk kota Bengkulu adalah kategori desain seismik D.

4) Penentuan nilai T_s dan T_0 , dengan Pers. 3.5 dan 3.6 berikut :

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.5)$$

$$T_s = \frac{0,907}{0,823} = 1,102$$

$$T_0 = 0,2 \times T_s \quad (3.6)$$

$$T_0 = 0,2 \times 1,102 = 0.220$$

5) Penentuan nilai S_a

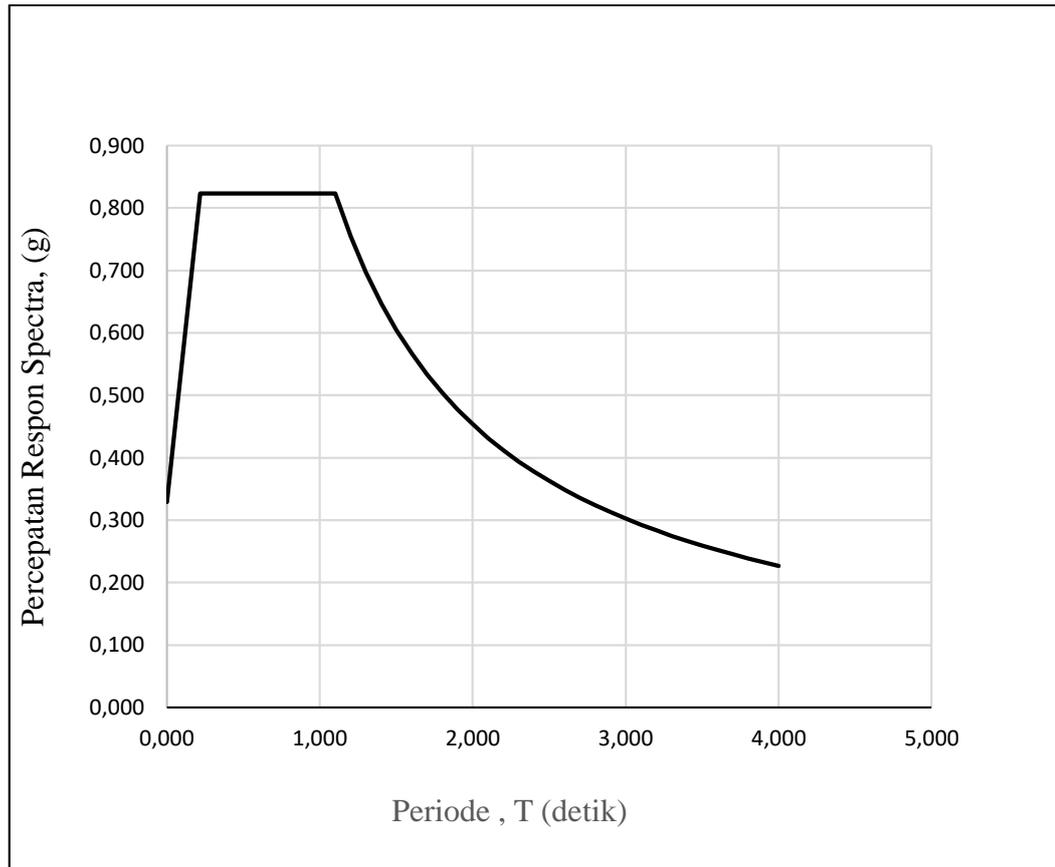
a) Untuk periode lebih kecil dari T_0 , respon spektrum percepatan desain (S_a) diperoleh dari Pers. 3.7 berikut:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.7)$$

b) Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respon percepatan desain (S_a) sama dengan S_{DS}

c) Untuk periode yang lebih besar dari T_s , spektrum respon percepatan desain (S_a) diperoleh dari Pers. 3.8 berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.8)$$



Gambar 3.5: Kurva respons spectrum kota Bengkulu dengan kondisi tanah lunak.

Nilai yang dimasukkan keprogram untuk data *Define Response Spektrum Function* adalah nilai yang terdapat pada Tabel 3.11 dengan cara *copy* data dan *paste* keprogram.

Dalam metode respon spektrum kapasitas proses dimulai dengan menghasilkan kurva hubungan gaya perpindahan yang memperhitungkan kondisi inelastis struktur. Proses tersebut sama dengan metode koefisien perpindahan, kecuali bahwa hasilnya diplotkan dalam format ADRS (*acceleration displacement response spectrum*).

Tabel 3.11: Data *spektrum respon* berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Bengkulu untuk tanah lunak.

Tanah lunak (S_E)				
No	Periode		Spectral Acceleration	
	T(dt)		C (g)	
1	T_{awal}	0,0000	(0.4*Sds)	0,3293
2	T_0	0,2458	SDS	0,8232
3	T_s	1,1020	SDS	0,8232
4	T_n	1,4000	$S_a=SD1/T$	0,6480
5		1,6000		0,5670
6		1,8000		0,5040
7		2,0000		0,4536
8		2,2000		0,4124
9		2,4000		0,3780
10		2,6000		0,3489
11		2,8000		0,3240
12		3,0000		0,3024
13		3,2000		0,2835
14		3,4000		0,2668
15		3,6000		0,2520
16		3,8000		0,2387
17		4,0000		0,2268

Nilai spektrum respon tersebut dikalikan dengan faktor skala yang besarnya ditentukan dengan persamaan 3.9 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor skala} &= \frac{I}{R} \times g && (3.9) \\
 &= 1.0/8 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 1.2263
 \end{aligned}$$

3.6 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah kombinasi pembebanan metode ultimit. Untuk struktur dengan kategori desain seismik D, $\rho = 1.3$ dan $S_{DS} = 0.823$. Adapun kombinasi pembebanan yang digunakan adalah pada tabel 3.12:

Tabel 3.12: Tabel kombinasi pembebanan untuk $\rho = 1.3$ dan $S_{DS} = 0.823$.

KOMBINASI PEMBEBANAN								
Kombinasi	Koefisien		Koefisien		Koefisien		Koefisien	
Kombinasi 1	1.4	DL						
Kombinasi 2	1.2	DL	1.6	LL				
Kombinasi 3	1.41	DL	1	LL	0.39	EX	1.3	EY
Kombinasi 4	0.99	DL	1	LL	-0.39	EX	-1.3	EY
Kombinasi 5	1.08	DL	1	LL	0.39	EX	-1.3	EY
Kombinasi 6	1.32	DL	1	LL	-0.39	EX	1.3	EY
Kombinasi 7	1.41	DL	1	LL	1.3	EX	0.39	EY
Kombinasi 8	0.99	DL	1	LL	-1.3	EX	-0.39	EY
Kombinasi 9	1.32	DL	1	LL	1.3	EX	-0.39	EY
Kombinasi 10	1.08	DL	1	LL	-1.3	EX	0.39	EY
Kombinasi 11	1.11	DL			0.39	EX	1.3	EY
Kombinasi 12	0.69	DL			-0.39	EX	-1.3	EY
Kombinasi 13	0.78	DL			0.39	EX	-1.3	EY
Kombinasi 14	1.02	DL			-0.39	EX	1.3	EY
Kombinasi 15	1.11	DL			1.3	EX	0.39	EY
Kombinasi 16	0.69	DL			-1.3	EX	-0.39	EY
Kombinasi 17	1.02	DL			1.3	EX	-0.39	EY
Kombinasi 18	0.78	DL			-1.3	EX	0.39	EY

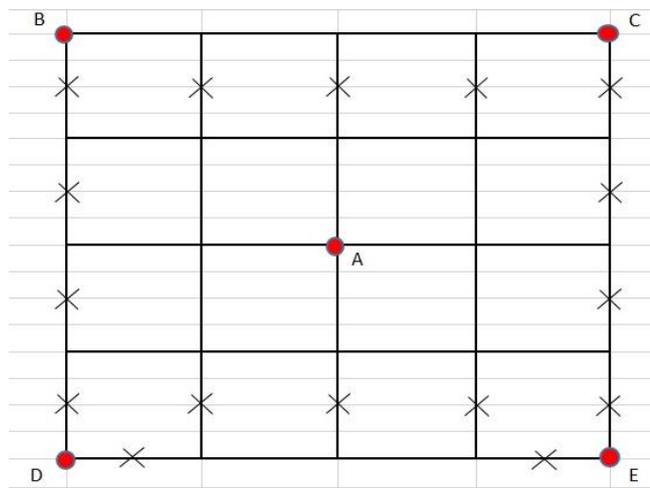
Rekapitulasi hasil Analisa Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dengan menggunakan program analisis struktur akan ditampilkan pada lampiran.

3.7 Analisis 3D dengan Program

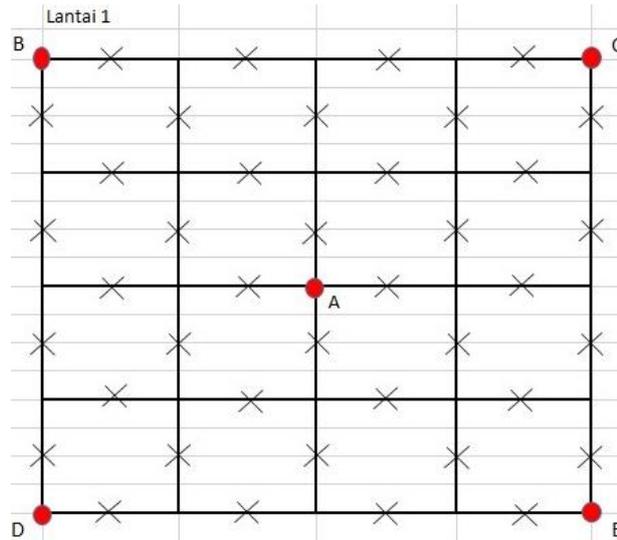
Analisis gempa pada penelitian ini menggunakan analisis dinamis respons spektrum dengan bantuan program. Untuk mendefinisikan beban gempa dinamis program, maka kurva respons spektrum pada Gambar 3.5 akan diinput ke dalam program.

Pada saat analisis pushover, adapun tahap pada saat pelemahan batang balok sebagai berikut:

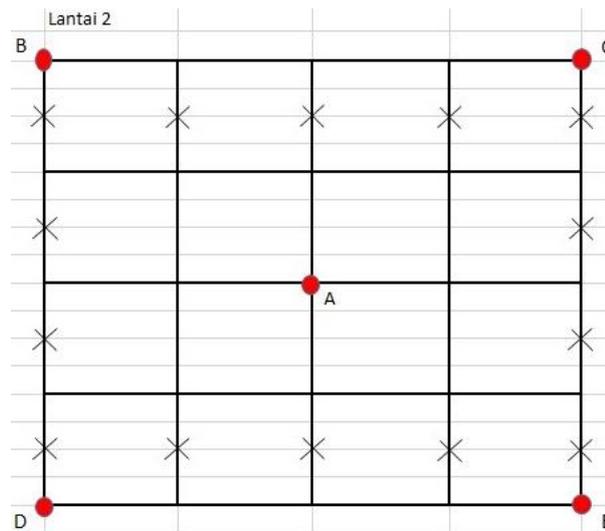
1. Pada hasil pushover awal (sebelum dilemahkan), hal pertama adalah menentukan perlemahan awal dan perlemahan puncak untuk melemahkan batang balok.
2. Pada perlemahan awal, batang balok pada lantai 1 dilemahkan sebagian saja seperti pada Gambar 3.6.
3. Pada perlemahan puncak, batang balok pada lantai 1 di lemahkan seluruhnya dan batang balok pada lantai 2 dilemahkan sebagian saja seperti pada Gambar 3.7a dan Gambar 3.7b.
4. Langkah selanjutnya melemahkan batang balok menggunakan *property modifier* pada program lalu menurunkan kekuatan batang balok sebanyak 10% dari kekuatan awal 100% ($100\% = 1$ menjadi $10\% = 0,1$), dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.6: Struktur arah xy dengan $z = 4$ m, tanda (x) merupakan batang balok yang akan dilemahkan.

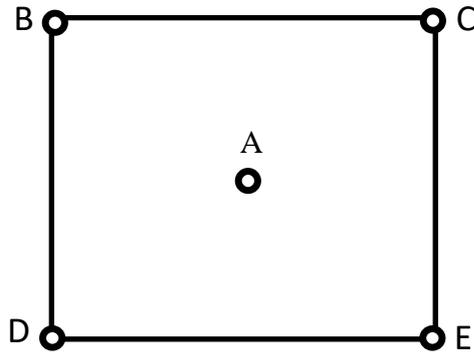


Gambar 3.7a: Struktur arah xy dengan $z = 4$ m, tanda (x) merupakan batang balok yang akan dilemahkan.



Gambar 3.7b: Struktur arah xy dengan $z = 8$ m, tanda (x) merupakan batang balok yang akan dilemahkan.

5. Langkah selanjutnya adalah menentukan titik peninjauan rotasi yang terjadi dimana titik peninjauan dilakukan pada setiap sudut dan tengah pada lantai struktur, seperti Gambar 3.8 berikut:



Gambar 3.8: Titik tinjau rotasi pada lantai gedung.

Untuk mendefinisikan beban gempa dinamis respon spektrum, maka kurva respon spektrum pada gambar 3.5 akan diinput ke dalam program. Perlemahan batang balok yang dilakukan, diambil dari perlemahan batang balok pada analisis *pushover*.

3.8 Perbandingan Hasil

Semua *output* pada analisis struktur akan dibandingkan dan dilihat penyebab-penyebab perbedaan dari nilai *output* masing-masing metode. Dari perbandingan inilah dapat dilihat torsi pada lantai yang terjadi.

3.9 Kesimpulan

Dari hasil analisis 3D disimpulkan seberapa besar perbedaan analisis jika dilakukan dengan program dan jika digunakan teori *modal analysis* serta bagaimana pengaruh. Pada kesimpulan akan dilampirkan besarnya torsi dari kedua metode untuk melihat lebih jelas pengaruhnya.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Dalam bab ini akan membahas pola keruntuhan yang di alami oleh bangunan SRPM menggunakan program analisa struktur dengan metode:

1. Metode analisa *pushover*
2. Metode analisa respon spektrum

Data yang hasil diperoleh diantaranya berat sendiri bangunan, berat total bangunan, perioda struktur alami, gaya geser seismik dasar, dan nilai rotasi pada titik setiap sudut dan tengah lantai.

4.2 Hasil Analisis

Pada program analisa struktur, berat sendiri perlantai dapat dihitung secara otomatis. Adapun hasil berat sendiri perlantai struktur bangunan yang dihitung otomatis oleh program analisa dapat dilihat dari Tabel 4.1.

Table 4.1: Hasil berat sendiri bangunan per lantai struktur bangunan.

<i>Group</i>	<i>SelfMass</i> kgf-s ² /m	<i>SelfWeight</i> kgf	<i>TotalMass</i> X kgf-s ² /m	<i>TotalMass</i> Y kgf-s ² /m	<i>TotalMass</i> Z kgf-s ² /m
ALL	116950.54	1146893.16	116950.54	116950.54	116950.54
Lt. 1	18333	179785,31	18333	18333	18333
Lt. 2	18333	179785,31	18333	18333	18333
Lt. 3	18333	179785,31	18333	18333	18333
L.t atap	16234,15	159202,61	16234,15	16234,15	16234,15

4.3 Penentuan Berat Total per Lantai (Wt)

Untuk perhitungan analisis statik ekuivalen dibutuhkan berat total per lantai, maka berat total perlantai bisa didapat dengan menjumlahkan antara berat sendiri, berat mati dan berat hidup. Rekapitulasi berat total per lantai struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Rekapitulasi berat total per lantai struktur bangunan.

Lantai	Beban Sendiri	Beban Mati Tambahan (kg)	Beban Hidup (kg)	Total beban (Wt)
1	179785,31	42000	80000	301785,310
2	179785,31	42000	80000	301785,31
3	179785,31	42000	80000	301785,31
Atap	159202,61	34400	32000	225602,61
Total				1130958,54

4.4 Penentuan Perioda Alami Stuktur (T_1)

Dari model struktur pada program diperoleh waktu getar alami fundamental struktur gedung tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Waktu getar alami struktur bangunan.

<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>SumUX</i>	<i>SumUY</i>
1	0,569351	0	0,84
2	0,467636	0	0,84
3	0,46446	0,808	0,84
4	0,179187	0,808	0,948
5	0,140129	0,808	0,948
6	0,135517	0,933	0,948
7	0,100195	0,933	0,988
8	0,073077	0,933	0,988
9	0,071218	0,933	1
10	0,06823	0,984	1
11	0,049609	0,984	1
12	0,045204	1	1

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa berbagai macam respon metode respon dan partisipasi massa hasil respon total harus mencapai sekurang-sekurangnya 90%. Jadi dari Tabel 4.3 partisipasi massa mencapai 100% sehingga model tersebut memenuhi syarat. Dapat dilihat persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC atau SRSS pada program pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Hasil persentase nilai perioda.

Mode	Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	17,87	Not Ok	Ok
T2-T3	0,68	Ok	Not Ok
T3-T4	61,42	Not Ok	Ok
T4-T5	21,80	Not Ok	Ok
T5-T6	3,29	Ok	Not Ok
T6-T7	26,06	Not Ok	Ok
T7-T8	27,07	Not Ok	Ok
T8-T9	2,54	Ok	Not Ok
T9-T10	4,20	Ok	Not Ok
T10-T12	27,29	Not Ok	Ok
T11-T12	8,88	Ok	Not Ok

4.5 Perioda Fundamental Pendekatan (T_a)

Menurut SNI-1726-2012 pasal 7.8.2, perioda (T) tidak boleh melebihi hasil koefisien batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u) dan perioda pendekatan fundamental (T_a), yang mana perioda fundamental dihitung pada Pers. 4.1 dan 4.2.

$$T_a = 0.1N \quad (4.1)$$

$$T_{amax} = T_a \times C_u \quad (4.2)$$

Dimana Pers. 4.1 dipakai dengan syarat gedung tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka pemikul momen beton dan tinggi tingkat paling sedikit 3 meter, nilai C_u yang digunakan diambil dari Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Nilai koefisien batas atas (C_u).

Parameter percepatan respon spektra desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

Pengecekan nilai perioda yang dihitung oleh program dengan persyaratan maksimum nilai perioda dapat dilihat pada Table 4.6.

Tabel 4.6: Pengecekan nilai perioda.

Syarat Perioda				
Arah	$T_a = 0.1 * N$	$T_a \text{ Max} = C_u * T_a$	T hasil dari <i>software</i>	CEK
X	0.400	0.931	0.569	OK
Y	0.400	0.931	0.569	OK

4.6 Penentuan Gaya Geser Seismic (V)

Menurut SNI-1726-2012 pasal 7.8.1, nilai gaya geser nominal statik ekuivalen (v) masing-masing arah dapat ditentukan berdasarkan Pers. 4.3 dan dirangkum seperti pada Tabel 4.8.

$$V = C_s W \quad (4.3)$$

Menurut SNI-1726-2012 pasal 7.8.1.1 dimana nilai C_s diambil dari Pers. 4.4.

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (4.4)$$

C_s yang dihitung pada Pers. 4.5 tidak boleh melebihi nilai yang dihitung menurut Pers. 4.5 dan tidak kurang dari nilai yang dihitung menurut Pers. 4.6 dan sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi didaerah dimana s_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g maka C_s harus tidak kurang dari Pers. 4.7.

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (4.5)$$

$$C_s = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01 \quad (4.6)$$

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (4.7)$$

Hasil nilai C_s yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7: Nilai C_s yang digunakan.

Perhitungan Nilai C_s				
Arah	Cs Max = SDS / (R/I)	CS Hitungan = SD1 / (T*(R/I)	CS Min = 0.004*SDS*I	CS Digunakan
T1	0.1029	0,1991	0.0362	0.1029
T2	0.1029	0,1991	0.0362	0.1029

Dari Tabel 4.7 diatas telah disepakatka nilai C_s yang dibutuhkan untuk mencari nilai gaya geser dasar struktur bangunan. Nilai gaya geser dasar (V) dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8: Gaya geser nominal statik ekuivalen (V).

Wt (kg)	$V_{\text{arah x}}$ (kg)	$V_{\text{arah y}}$ (kg)
1130958,54	225286,94	225286,94

4.7 Penentuan Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Distribusi horizontal gaya gempa ditentukan berdasarkan Pers. 4.8 dan 4.9.

$$F_i = C_{vx} V \quad (4.8)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (4.9)$$

Dikarenakan nilai V arah x dan y pada sturuktur portal terbuka yang bernilai sama, maka nilai F_i pada arah x dan y bernilai sama pula. Nilai k diambil dari nilai periode yang terjadi. Pada struktur ini diambil dengan interpolasi antara nilai 1 dan 2 karena nilai periode lebih besar dari 0,5 yaitu 0.569 ($0,5 < T < 2,5$). Nilai F_i masing-masing arah pada struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Gaya geser gedung tiap tingkat pada gedung dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.9. Nilai F_{ix} dan F_{iy} per lantai.

Lantai (i)	W_i (kg)	h_i (m)	$w_i \cdot H_i^k$ (kg.m)	F_i (kg)
Lantai 1	301785,31	4,3	1474674,75	23094,82
Lantai 2	301785,31	8,7	3122922,55	48907,97
Lantai 3	301785,31	13,0	4843730,84	75857,48
Lantai Atap	225602,61	17,3	4943928,81	77426,67
Total	1130958,54		14385256,94	225286,94

Tabel 4.10: Gaya geser gedung tiap lantai.

Nilai Fix dan Fiy				
Lantai (i)	Berat per lantai (kg)	Tinggi (m)	F_i (kg)	<i>Story Shear / V_x</i> (kg)
Lantai 1	301785,31	4	4726,25	4726,25
Lantai 2	301785,31	4	4726,25	9452,50
Lantai 3	301785,31	4	4726,25	14178,74
Lantai Atap	225602,61	4	3533,15	17711,90
Total	1130958,54		17711,90	

4.8 Spektrum Respon Ragam

Berdasarkan SNI-1726-2012 pasal 7.3.4, faktor redundansi (ρ) harus dikenakan pada sitem penahan gaya seismik dalam masing-masing kedua arah orthogonal. SNI-2012 pasal 7.3.4.2 menyebutkan bahwa untuk katagori dasainseismic D, E atau F nilai ρ dapat diambil = 1 bila masing masing tingkat yang

menahan lebih dari 35% gaya geser dasar pada arah yang ditinjau memenuhi persyaratan, selain dari persyaratan tersebut nilai ρ harus diambil = 1,3. Gaya geser gedung tiap lantai dengan pengecekan 35% *V base shear* dengan nilai redundansi (ρ) = 1 dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11: Pengecekan *story shear* dengan 35% gaya geser dasar redundansi 1 ($\rho=1$).

Struktur Perletakan Jepit					
No	Lantai Ke-	Arah X,Y			Cek 35% V Base Shear <Story Shear (V_x)
		Story Shear (V_x) (kg)	Base Shear (V_x) (kg)	35% V Base Shear $\rho=1$ (kg)	
1	1	23094,82	23094,82	8083,19	OK
2	2	72002,79	23094,82	8083,19	OK
3	3	147860,27	23094,82	8083,19	OK
4	Atap	225286,94	23094,82	8083,19	OK

Dikarenakan pengecekan *story shear* dengan gaya geser dasar dengan nilai redundansi 1 ($\rho=1$) sudah semua *OK*, maka kita tidak perlu melakukan pengecekan cek gaya geser dasar dengan nilai redundansi 1 ($\rho=1.3$).

4.9 Gaya Geser Analisis Respon Spektrum

Gaya geser analisis respon spektrum yang telah diproses pada program dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12: Gaya geser respon spektrum stuktur bangunan.

TABLE: <i>Base Reactions</i>			
Struktur Perletakan Jepit			
<i>Output Case</i>	<i>Step Type</i>	<i>Global FX</i>	<i>Global FY</i>
<i>Text</i>	<i>Text</i>	Kg	Kg
GEMPA X	<i>Max</i>	58476,61	18227,9
GEMPA Y	<i>Max</i>	17542,98	60759,67

Menurut (Riza, 2010), sebelum mendapatkan data hasil gaya geser analisis respon spektrum dari program terdapat faktor skala gempa arah x 100% dan arah y 30% dari arah x, yaitu:

- Faktor skala gempa arah x = $g \times I / R = 9.81 \times 1/8 = 1.266$
- Faktor skala gempa arah y = 30% arah x = 0.368
- Skala diatas untuk gempa x, untuk gempa y nilai diatas dibalik.

Menurut SNI 1726 2012 pasal 7.9.4 bahwa nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 85% nilai respon ragam yang pertama. Bila respon dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal V , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut Pers. 4.10.

$$0.85 \frac{V}{V_t} \tag{4.10}$$

Dimana V adalah gaya geser dasar nominal sebagai respon ragam yang pertama terhadap pengaruh gempa rencana menurut Pers. 4.3 sebelumnya. Hasil pengecekan pada gaya respon spektrum dengan Pers. 4.10 dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13: Pengecekan gaya geser respon spektrum.

Struktur perletakan jepit				
Arah	V	V_1	$0.85 * V_1$	Cek $V \geq 0.85 V_1$
X	225286,94	58476,61	49705,12	OK
Y	225286,94	60759,67	51645,72	OK

Pada Tabel 4.13 diatas dapat dilihat bahwa pada struktur perletakan jepit pengecekan sudah sesuai dengan syarat yang dianjurkan pada pasal 7.9.4 SNI1726:2012. Oleh karena itu, gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tinggi struktur gedung analisis ragam spektrum respons dalam suatu arah tertentu, tidak harus dikalikan nilainya dengan suatu faktor skala dengan Pers. 4.11.

$$\text{Faktor skala} = 0.85V_1/V \geq 1 \quad (4.11)$$

4.10 Pemodelan Gedung Pada Program

Pada prinsipnya hasil yang disajikan program analisa struktur bukanlah hasil mutlak seperti kondisi riil di lapangan melainkan masih berupa pendekatan yang mana intuisi seorang engineer memilik peran besar dalam menghasilkan output yang lebih valid dan dapat dipertanggung jawabkan. Secara garis besar pengguna dituntut melakukan pemodelan yang cukup merepresentasikan kondisi riil di lapangan agar hasil yang diperoleh dapat dijadikan tolak ukur.

4.10.1 Pembebanan Elemen

Jenis pembebanan yang gunakan pada program analisa struktur sebagai berikut:

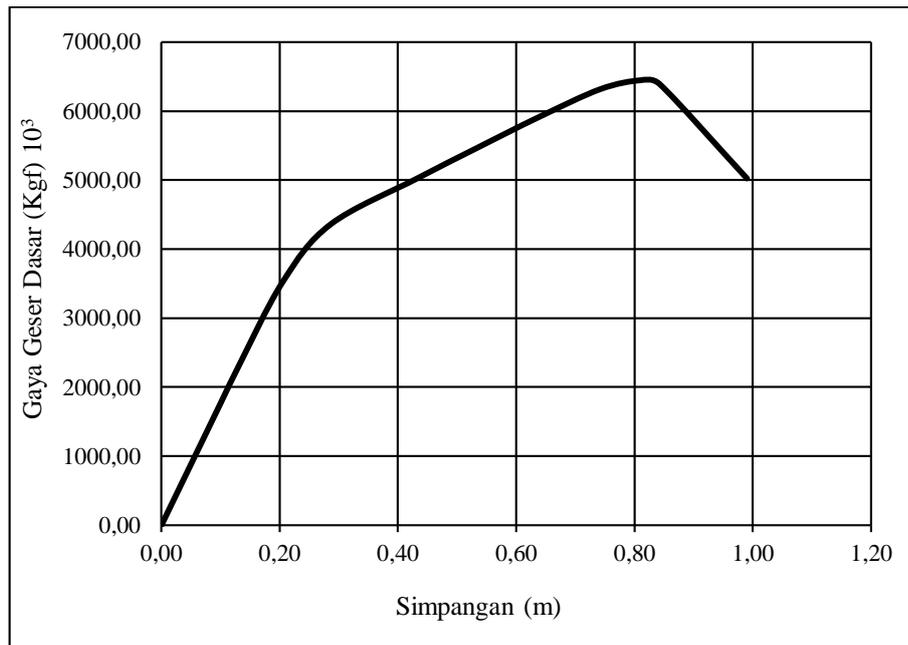
1. *Dead* = Beban dari berat sendiri elemen, seperti balok, pelat dan n kolom
2. *Super Dead* = Beban mati tambahan, seperti elemen plafon + penggantung, lantai keramik, dan lain lain.
3. *Live* = Beban hidup tereduksi.
4. *Quake* x dan y = Beban gempa
5. *Push* = Beban lateral yang yang digunakan untuk analisi *pushover*.

4.10.2 Analisis *Pushover*

Analisis *pushover* dilakukan untuk melihat kapasitas dan daktilitas dari gedung yang ditinjau. Tipe analisis *pushover* yang digunakan untuk kasus adalah kontrol *displacement*, artinya struktur didorong sampai mencapai *displacement* yang diinginkan dan atau sampai struktur tersebut runtuh. Dalam kasus ini, efek P-delta juga disertakan dalam analisis.

4.10.2.1 Pembahasan Torsi Pada Lantai Dengan Metode *Pushover*

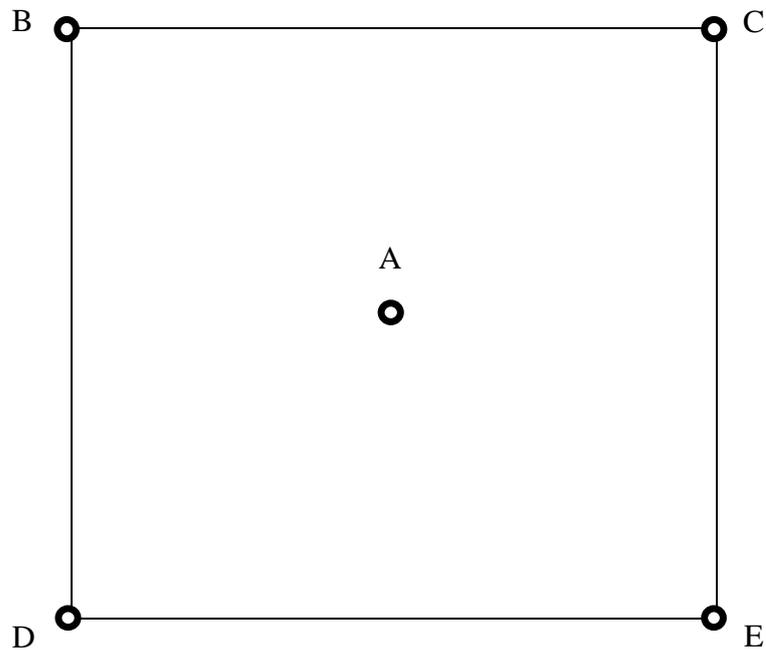
Pembahasan torsi pada lantai pada subbab ini untuk mengetahui besarnya gaya geser dasar dan rotasi yang terjadi pada lantai setelah batang balok dilemahkan. Adapun kurva *pushover* sebelum dilemahkan seperti Gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 4.1: Kurva *pushover* sebelum batang balok dilemahkan.

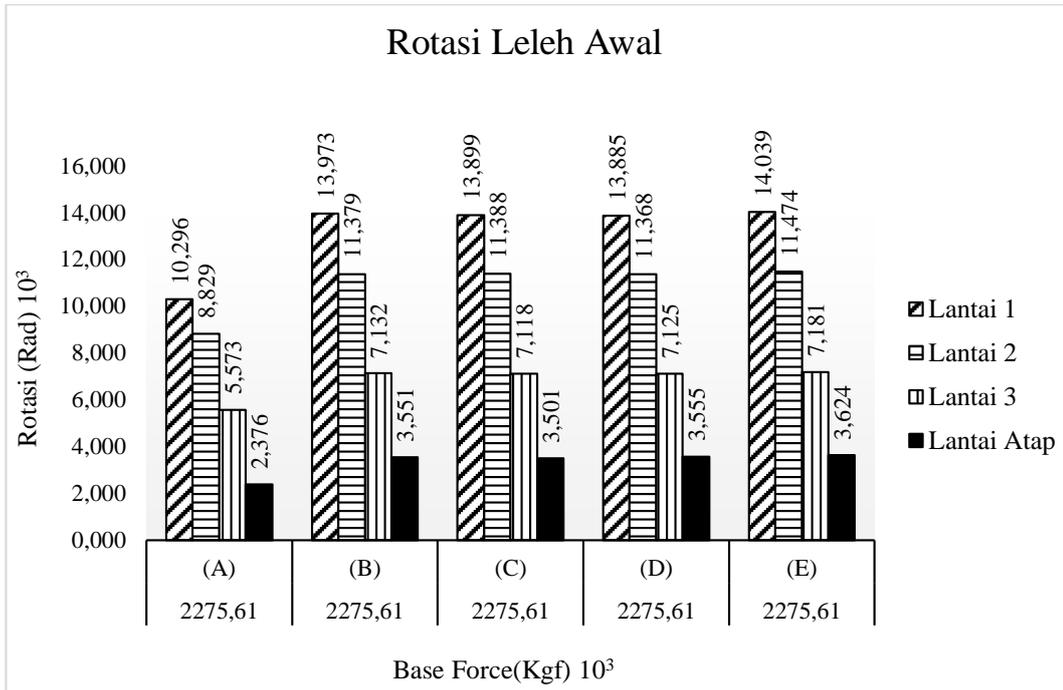
Gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara deformasi dengan gaya lateral, dimana kondisi leleh pertama (elastis) berada pada *displacement* 0,13 m dengan gaya geser dasar sebesar $2275,61 \text{ kgf} \times 10^3$ dan kondisi kapasitas ultimit berada pada *displacement* 0,81 m dengan gaya geser dasar sebesar $6450,90 \text{ kgf} \times 10^3$.

Kondisi kekuatan sisa (*residual strength*) berada pada *displacement* 0,99 m dengan gaya geser dasar sebesar $5025,90 \text{ kgf} \times 10^3$ dan kondisi elemen struktur telah mengalami kerusakan berada pada *displacement* 1 m. Diantara sendi plastis leleh pertama sampai mencapai batas ultimit terdapat IO (*immediate occupancy*), LS (*life safety*) dan CP (*collapse prevention*). Adapun IO, LS dan CP merupakan kriteria level kinerja dari struktur.

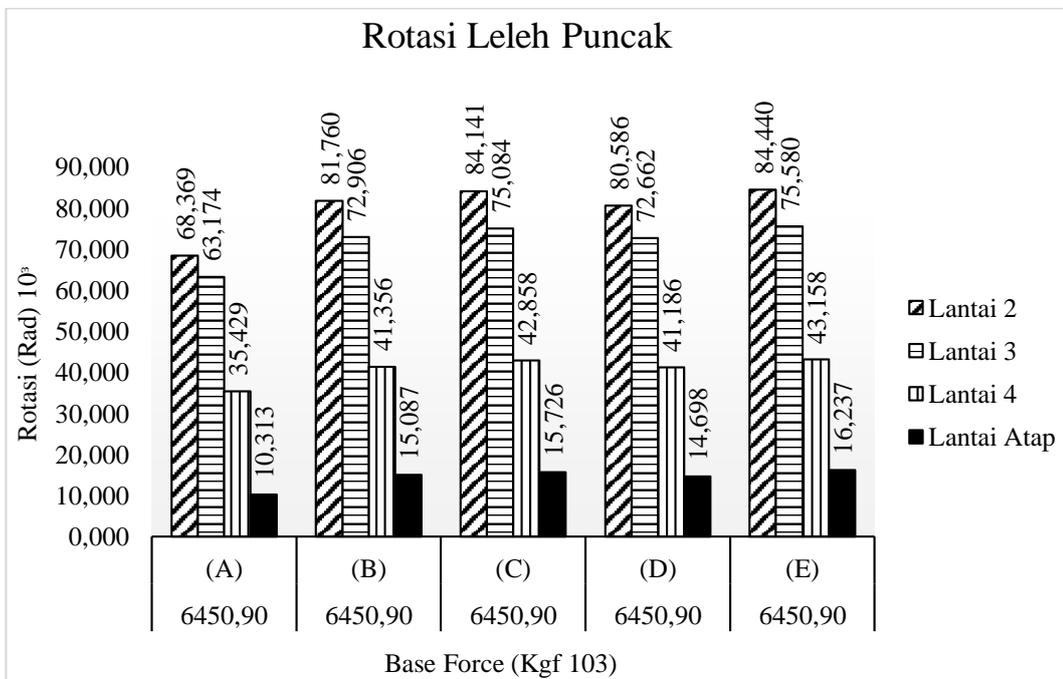


Gambar 4.2: Titik rotasi bangunan yang akan di tinjau nilai rotasinya.

Gambar 4.2 di atas menjelaskan titik acuan untuk Langkah menentukan titik peninjauan rotasi yang terjadi, dimana titik peninjauan dilakukan pada setiap sudut dan tengah pada lantai struktur. Setelah itu dicatat nilai-nilai rotasinya, dan di rangkum menjadi akumulasi grafik batang agar dapat tercapai dimanakah nilai titik rotasi yang mengalami torsi paling besar. Dan di lantai manakah titik rotasi terbesar terjadi. Adapun grafik batang untuk torsi lantai sebelum batang balok dilemahkan dapat dilihat pada Gambar 4.3 (rotasi leleh awal) dan pada Gambar 4.4 (rotasi leleh puncak).



Gambar 4.3: Rotasi sebelum balok dilemahkan pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai.

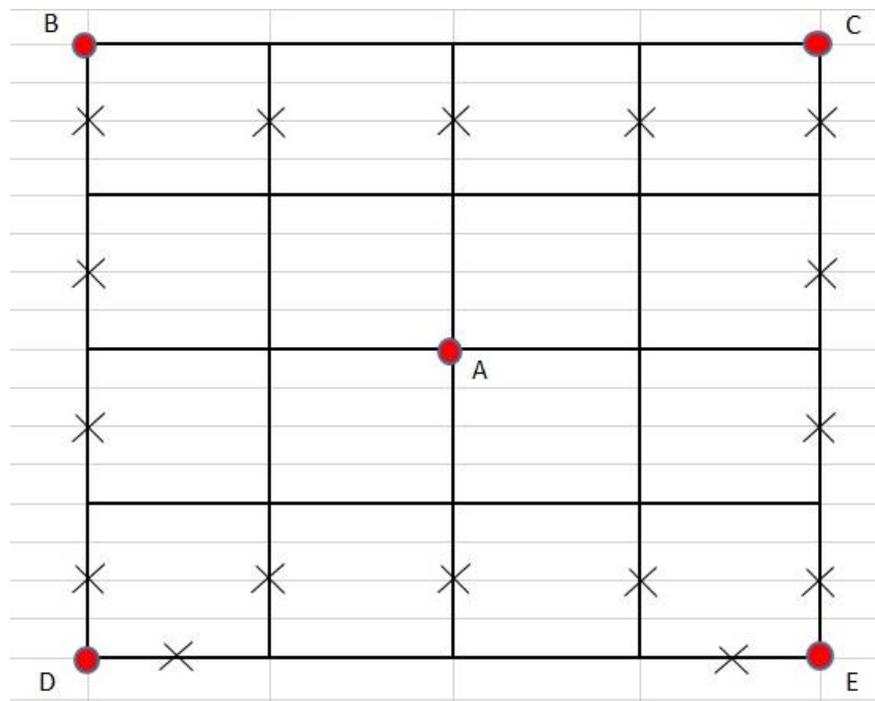


Gambar 4.4: Rotasi sebelum balok dilemahkan pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai.

Pada Gambar 4.3 dan 4.4 menunjukkan dari lantai 1 sampai lantai atap memiliki grafik yang berbeda tetapi memiliki pola keruntuhan yang sama, akan tetapi lantai atap pada setiap step mengalami torsi yang paling kecil dan lantai 1 mengalami torsi yang paling besar. Dengan nilai rotasi yang kecil menunjukkan bahwa pola keruntuhan hampir mendekati tidak ada. Gambar 4.3 rotasi yang terjadi di setiap step, sejalan dan beraturan. Pada Gambar 4.4, rotasi pada lantai 1 antara titik A,B,C mengalami kenaikan, tetapi pada saat di titik D mengalami penurunan rotasi yaitu $80,586 \text{ rad} \times 10^3$. Dan di titik E nilai rotasi mengalami kenaikan lagi yaitu $84,440 \text{ kgf} \times 10^3$ dengan gaya geser dasar sebesar $6450,90 \text{ kgf} \times 10^3$.

4.10.2.2 Torsi Pada Lantai Untuk Kondisi Perlemahan Awal

Pada tahapan ini, perlemahan akan di lakukan pada batang balok yang berada di lantai 1. Dan hanya sebagian batang balok saja yang dilemahkan, seperti gambar 4.5 yang tertera di bawah ini.

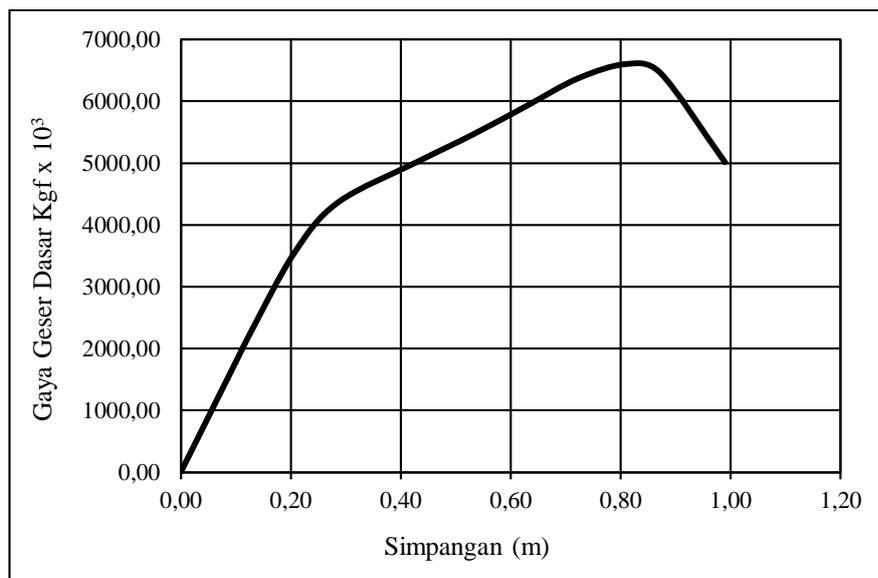


Gambar 4.5: Perlemahan awal yang akan dilakukan.

pada Gambar 4.3, tanda silang (x) merupakan batang balok pada lantai 1 yang akan dilemahkan 0,1 (10%) dari kekuatan awal balok. Adapun cara (langkah – langkah) untuk melakukan perlemahan batang balok menggunakan program analisis, adalah sebagai berikut:

1. Klik (pilih) batang balok yang akan dilemahkan kekuatannya.
2. Klik *assign* pada menu bar, pilih *frame*, kemudian pilih *Property modifiers*, kemudian pada kolom m2 axis dan m3 axis ketikkan angka 0,1.
3. Klik *apply*, dan terakhir klik *ok*.

Setelah perlemahan awal telah dilakukan, maka selanjutnya *run pushover* pada perogram analisis. Sehingga akan di dapat kurva *pushover* perlemahan awal seperti Gambar 4.6 berikut ini:

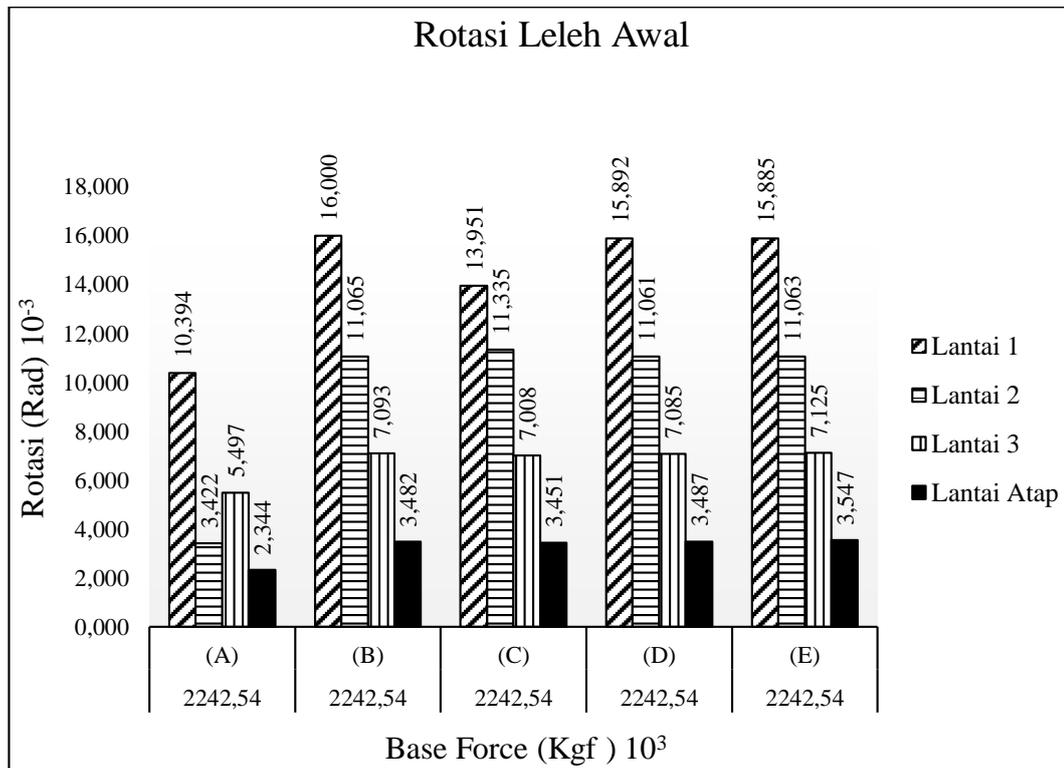


Gambar 4.6: Kurva pushover setelah batang balok dilemahkan (mengacu kepada kondisi perlemahan awal).

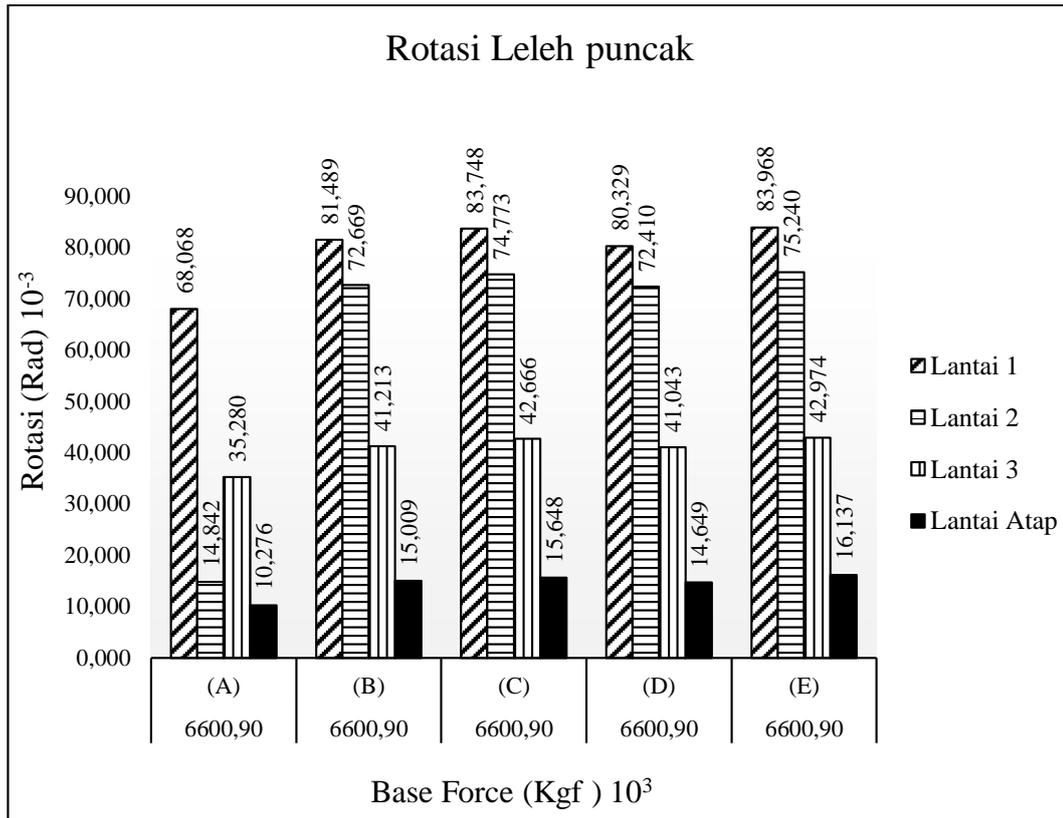
Pada Gambar 4.6 perlemahan awal, kondisi leleh pertama (elastis) berada pada posisi yang sama seperti sebelum dilemahkan yaitu pada *displacement* 0,13 m. Dan Kondisi kapasitas ultimit berada pada posisi yang sama juga seperti sebelum dilemahkan yaitu pada *displacement* 0,81 m. *Displacement* pada bangunan hampir

mencapai 1 m akan tetapi bangunan sudah rubuh seperti yang terlihat pada Gambar 4.6 kurva pushover di atas. Rubuhnya struktur diduga terjadi dikarenakan akibat dari perlemahan yang di lakukan pada batang balok di lantai 1. kekuatan bangunan menjadi berkurang akibat perlemahan yang di lakukan. Akibat dari perlemahan yang di lakukan pada balok, terdapat beberapa batang balok yang mengalami sendi plastis yang di asumsikan akan memicu terjadinya torsi pada lantai.

Untuk torsi pada lantai perlemahan awal, torsi ini sama halnya seperti rotasi pada lantai sebelum dilemahkan. Setelah dicari nilai rotasi tiap titik tengah dan sudut struktur di setiap lantai, terbentuklah berupa pola rotasi setiap lantai pada bangunan seperti pada Gambar 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.7: Rotasi pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai pada perlemahan awal.

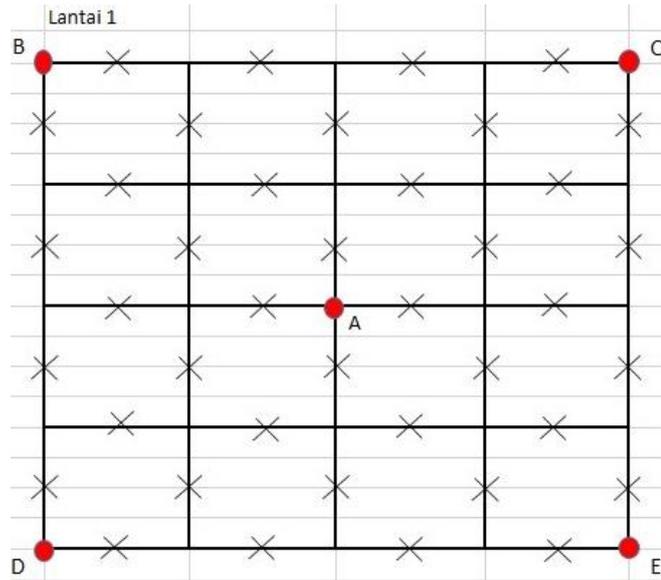


Gambar 4.8: Rotasi pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai pada perlemahan puncak.

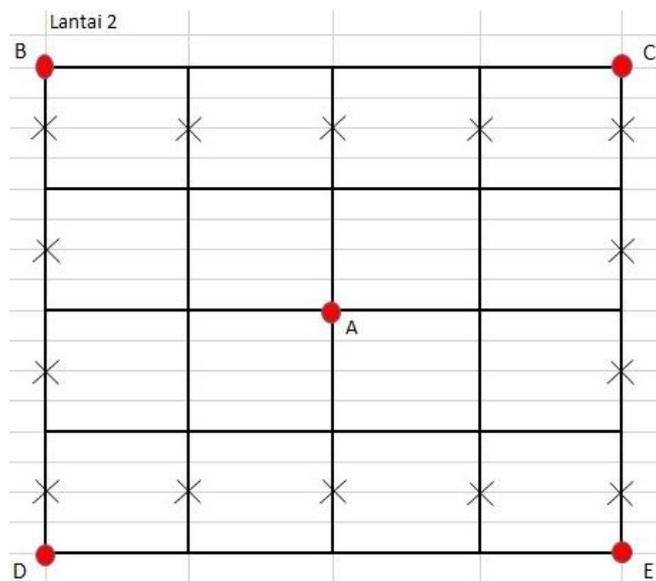
Pada Gambar 4.7 merupakan diagram menunjukkan dari lantai 1 sampai lantai atap memiliki grafik yang berbeda tetapi memiliki pola keruntuhan yang sama, akan tetapi lantai atap pada setiap step mengalami torsi yang paling kecil dan lantai 1 mengalami torsi yang paling besar. Dengan nilai rotasi yang kecil menunjukkan bahwa pola keruntuhan hampir mendekati tidak ada. Pada Gambar 4.8, rotasi pada lantai 1 antara titik A,B,C mengalami kenaikan, tetapi pada saat di titik D mengalami penurunan rotasi sebesar $80,329 \text{ rad} \times 10^3$ dan di titik E mengalami kenaikan kembali pada saat gaya geser dasar sebesar $6600.90 \text{ Kgf} \times 10^3$.

4.10.2.3 Torsi Pada Lantai Untuk Kondisi Perlemahan Puncak

Pada tahapan ini perlemahan yang akan di lakukan pada batang balok mengacu kepada kondisi perlemahan puncak yang dapat di lihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 dibawah ini:



Gambar 4.9: Perlemahan puncak pada batang balok di lantai 1.

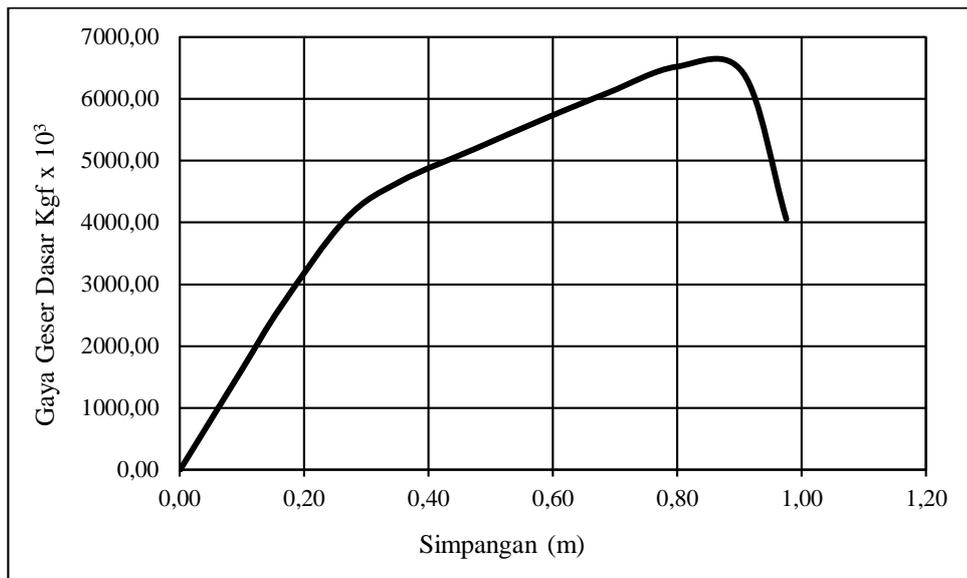


Gambar 4.10: Perlemahan puncak pada batang balok di lantai 2.

Tanda silang (x) pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 merupakan batang balok pada lantai 1 dan 2 yang akan dilemahkan 0,1 (10%) dari kekuatan awal batang balok. Adapun cara (langkah –langkah) untuk melakukan perlemahan puncak pada

batang balok menggunakan program analisis, sama seperti langkah perlemahan awal yang telah di jelaskan di atas sebelumnya.

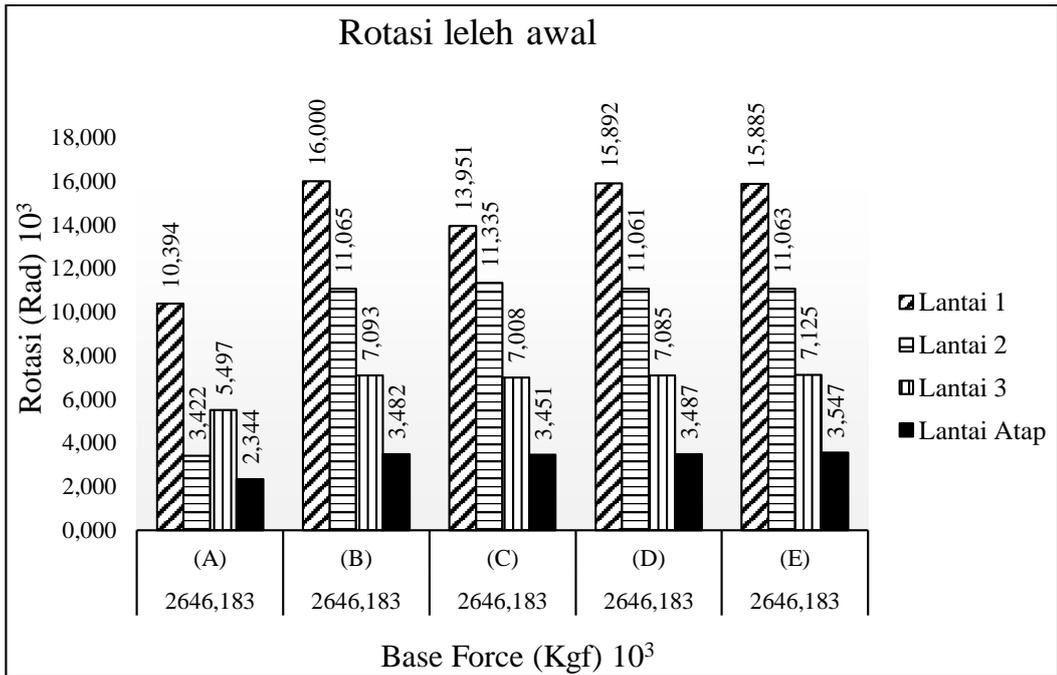
Setelah perlemahan puncak telah di lakukan, maka selanjutnya *run pushover* pada perogram analisis. Sehingga akan di dapat kurva *pushover* perlemahan puncak seperti Gambar 4.11 berikut ini:



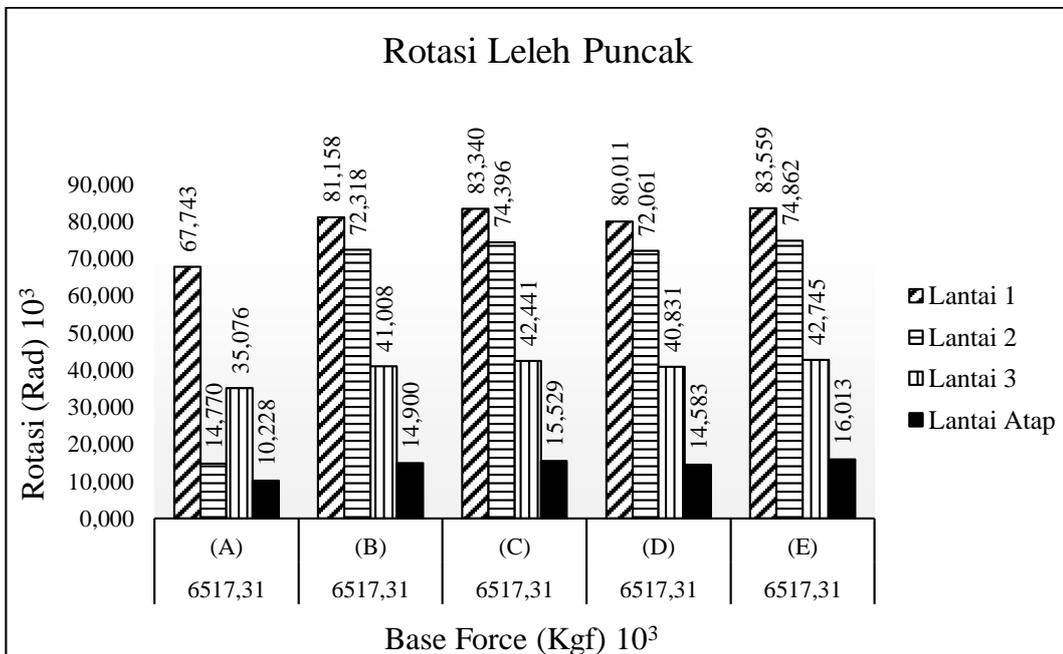
Gambar 4.11 Kurva pushover setelah batang balok dilemahkan (mengacu kepada kondisi perlemahan puncak).

Gambar 4.11 menunjukkan hubungan antara deformasi dengan gaya lateral, dimana kondisi leleh pertama (elastis) berada pada *displacement* 0,16 m dengan gaya geser dasar sebesar 2646,18 kgf x 10³ dan kondisi kapasitas ultimit berada pada *displacement* 0,80 m dengan gaya geser dasar sebesar 6517,31 kgf x 10³.

Kondisi kekuatan sisa (*residual strength*) berada pada *displacement* 0,98 m dengan gaya geser dasar sebesar 4055,72 kgf x 10³ dan kondisi elemen struktur telah mengalami kerusakan berada pada *displacement* 1 m. Untuk torsi pada lantai perlemahan puncak, torsi ini sama halnya seperti rotasi pada lantai perlemahan awal. Setelah dicari nilai rotasi tiap titik tengah dan sudut struktur di setiap lantai, terbentuklah berupa pola rotasi setiap lantai pada bangunan seperti pada Gambar 4.12 dan 4.13.



Gambar 4.12: Rotasi pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai pada perlemahan awal.



Gambar 4.13: Rotasi pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai pada perlemahan puncak.

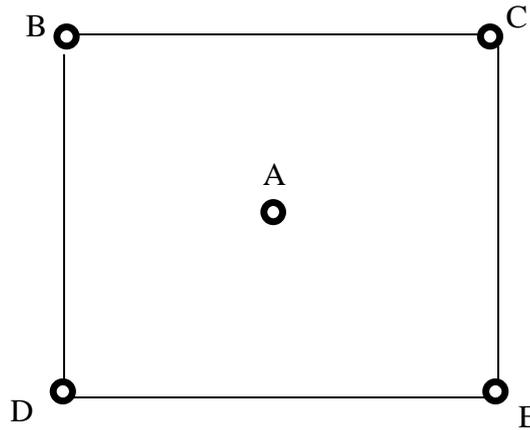
Pada Gambar 4.12 merupakan diagram menunjukkan dari lantai 1 sampai lantai atap memiliki grafik yang berbeda tetapi memiliki pola keruntuhan yang sama, akan tetapi lantai atap pada setiap titik mengalami torsi yang paling kecil diantara lantai lainnya dan lantai 1 mengalami torsi yang paling besar yang berada pada titik B sebesar $16,000 \text{ rad} \times 10^{-3}$ dengan gaya geser dasar mencapai $6517,31 \text{ kgf} \times 10^3$. Dengan nilai rotasi yang kecil menunjukkan bahwa pola keruntuhan hampir mendekati tidak ada. Pada Gambar 4.13, rotasi pada lantai 1 antara titik A,B,C mengalami kenaikan, tetapi pada saat di titik D mengalami penurunan rotasi sebesar $80,011 \text{ rad} \times 10^3$ dan di titik E mengalami kenaikan kembali sebesar $83,559 \text{ kgf} \times 10^3$ pada saat gaya geser dasar mencapai $6517,31 \text{ Kgf} \times 10^3$.

4.10.3 Analisis Respon Spektrum

Analisis respon spektrum dilakukan untuk mengestimasi penentuan *strength demand*. Estimasi kebutuhan kekuatan struktur (*strength demand*) akibat beban gempa pada prinsipnya adalah menentukan seberapa besar beban horisontal yang akan bekerja pada tiap-tiap massa. Spektrum respons dapat dipakai untuk menentukan gaya horisontal maupun simpangan struktur di mana total respons didapat melalui super posisi dari respons masing-masing ragam getar.

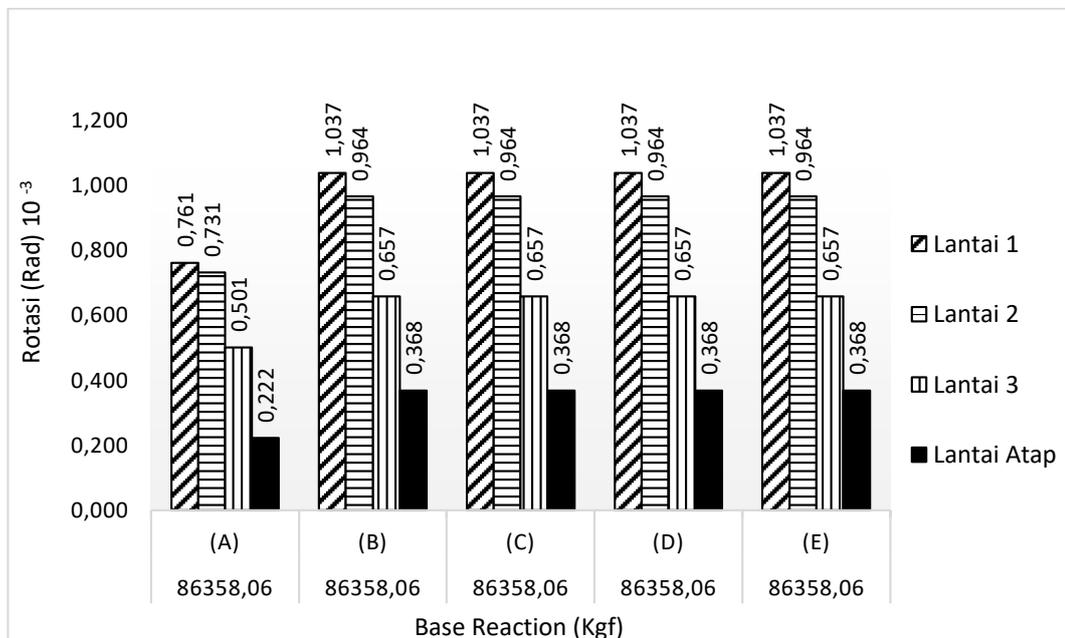
4.10.3.1 Torsi Pada Lantai Metode Respon Spektrum

Pada subbab ini, mencari torsi pada lantai dilakukan sama seperti tahap sebelumnya yaitu dengan cara melemahkan batang balok yang sama seperti metode pushover. Dan juga akan meninjau nilai rotasi di setiap titik tengah dan sudut lantai bangunan seperti Gambar 4.14. untuk mencari torsi pada lantai dilihat pada keruntuhan awal dan akhir. Akan tetapi gaya yang diberi pada bangunan ialah gaya gempa respon spektrum pada daerah kota Bengkulu.



Gambar 4.14: Titik rotasi bangunan yang akan di tinjau nilai rotasinya.

Tahap pertama ialah run bangunan gedung yang belum di lemahkan batang baloknya menggunakan gaya gempa respon spektrum Untuk mendapatkan torsi pada lantai, kemudian selanjutnya mencari nilai rotasi tiap sudut dan bagian tengah bangunan, sehingga terbentuk pola rotasi sebelum perlemahan pada lantai seperti pada Gambar 4.15.

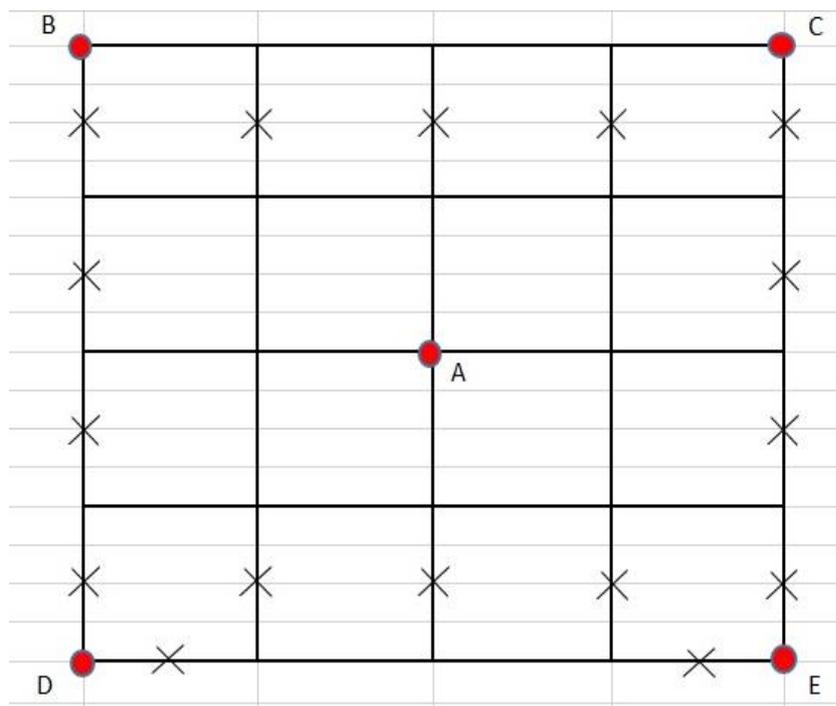


Gambar 4.15: Rotasi pada setiap titik sudut lantai dan tengah lantai pada kondisi sebelum di lemahkan.

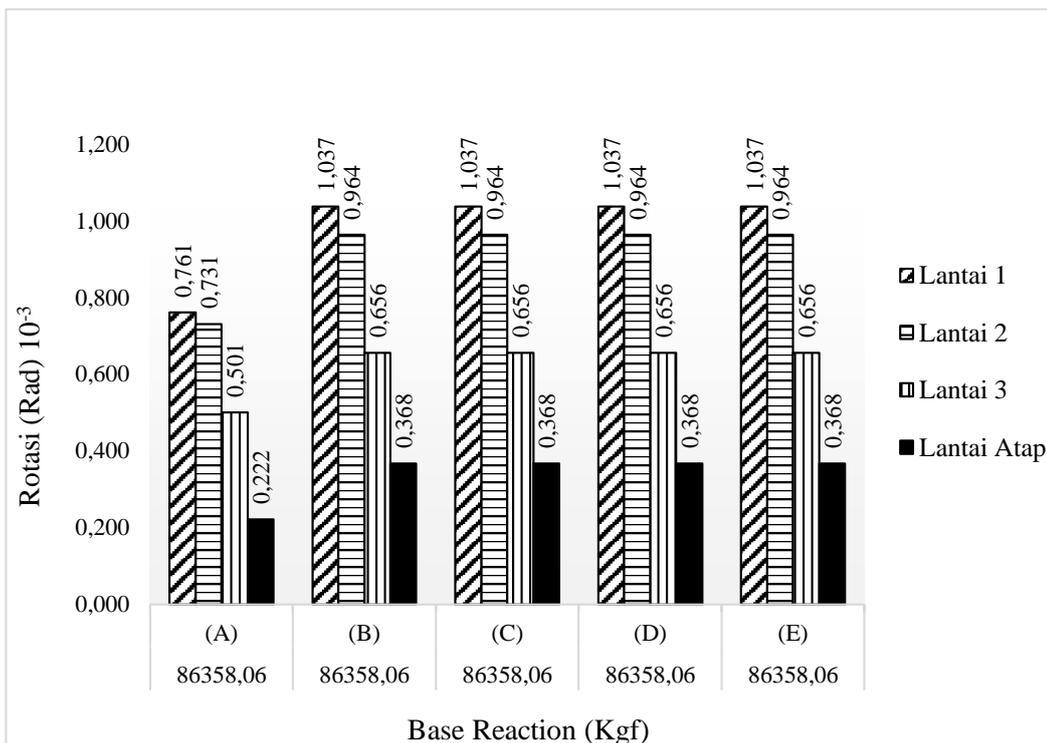
Gambar 4.15 menunjukkan pola rotasi yang terjadi pada setiap lantai beraturan. Rotasi terbesar terjadi pada lantai 1 di titik B, C, D, E dengan $R = 1,037 \times 10^{-3}$ pada base gaya geser dasar = 86358,06 kgf. Dan rotasi pada titik A di lantai atap adalah rotasi yang terkecil dengan $R = 0,222 \times 10^{-3}$ pada gaya geser dasar 86358,06 kgf.

4.10.3.2 Torsi Pada Lantai Untuk Kondisi Perlemahan Awal

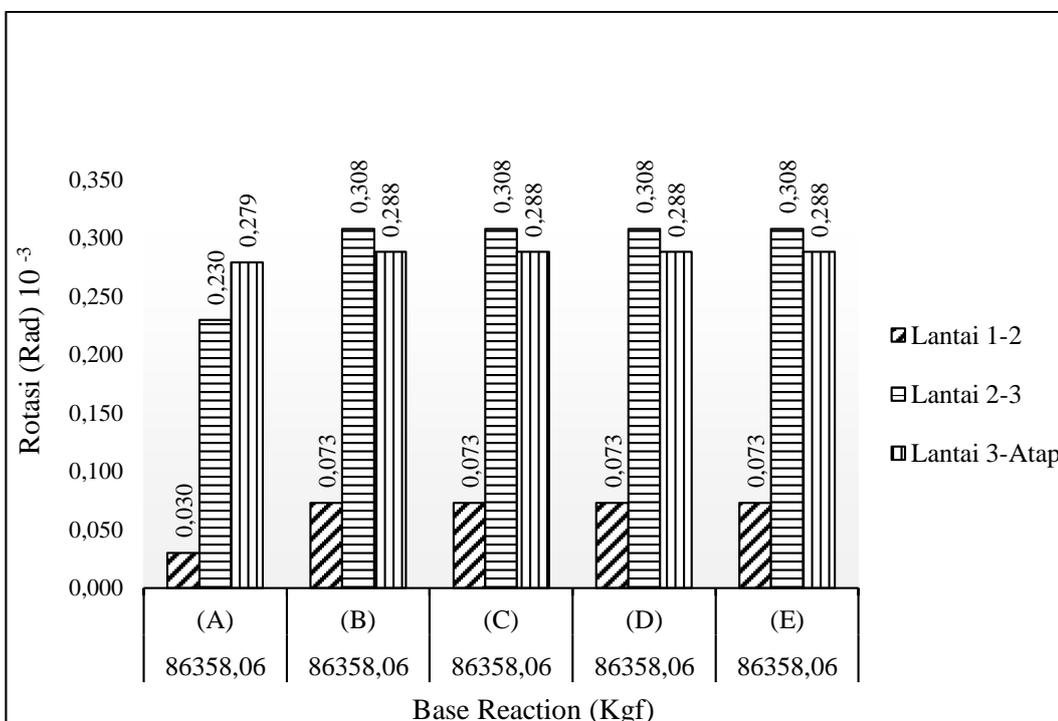
Tahap pertama ini bertujuan untuk melihat pengaruh torsi pada lantai ketika sebahagian batang balok dilemahkan. Dengan cara mengatur rasio kekuatan profil baja pada property modifier, kemudian pada pengaturan Moment of Inertia arah x dan y nilai keduanya di ubah dari angka 1 menjadi 0,1 (10%). Sehingga kekuatan balok akan berkurang 10%, Untuk mengetahui batang balok mana saja yang akan dilemahkan dapat di lihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16: Perlemahan awal yang akan dilakukan, tanda silang (x) pada gambar merupakan batang balok pada lantai 1 yang akan dilemahkan 0,1 (10%).



Gambar 4.17: Rotasi pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai pada Kondisi perlemahan awal.



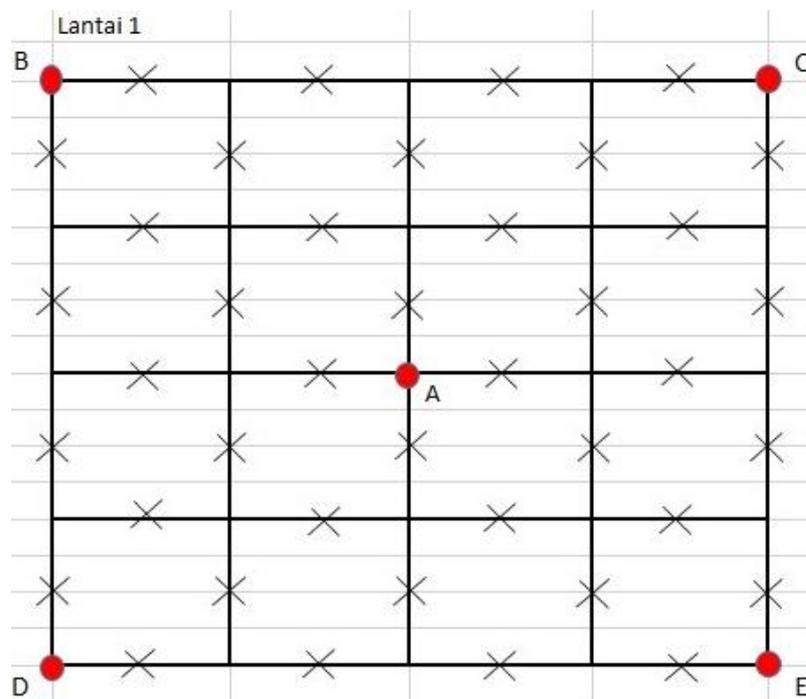
Gambar 4.18: Selisih Rotasi pada titik tengah dan titik sudut antar lantai pada kondisi perlemahan awal antar lantai.

Gambar 4.17 menunjukkan rotasi yang terjadi pada setiap lantai dengan rotasi yang beraturan. Rotasi terbesar terjadi pada lantai 1 dengan $R = 1,037 \text{ rad} \times 10^{-3}$ dan gaya geser dasar = 86358,06 kgf. Rotasi yang terjadi pada titik B,C,D,E besarnya sama untuk tiap lantainya dan rotasi pada titik A lantai atap adalah rotasi yang terkecil dengan $R = 0,222 \text{ rad} \times 10^{-3}$ pada gaya geser dasar = 86358,06 kgf.

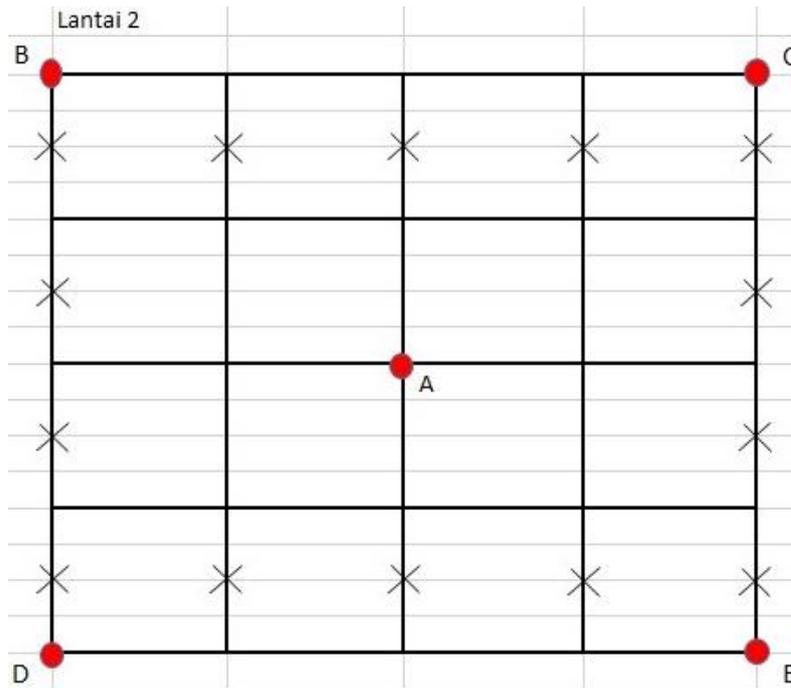
Gambar 4.18 menunjukkan selisih torsi antar lantai 2-3 terjadi paling besar dengan nilai rotasi = $0,308 \text{ rad} \times 10^{-3}$ untuk titik B,C,D, E. Dan selisih torsi paling kecil terdapat antara lantai 1 - 2 di titik A dengan nilai rotasi = $0,030 \text{ rad} \times 10^{-3}$.

4.10.3.3 Torsi Pada Lantai Untuk Kondisi Perlemahan Puncak

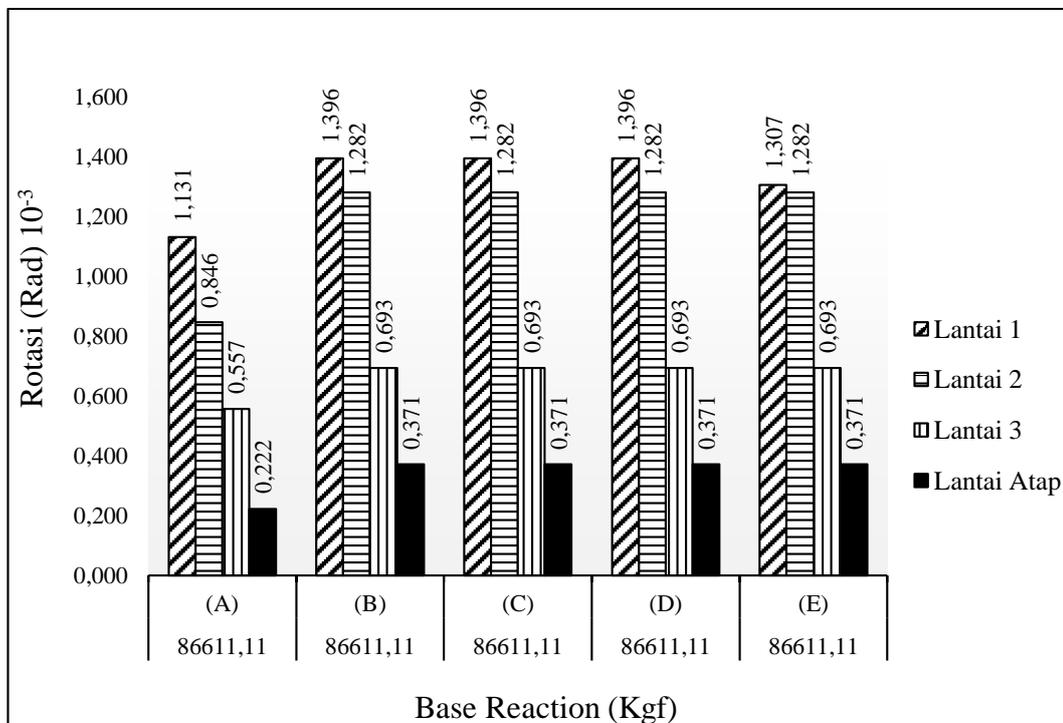
Tahap kedua ini bertujuan untuk melihat pengaruh torsi pada lantai ketika balok pada lantai 1 dan 2 dilemahkan, seperti pada Gambar: 4.19 dan Gambar: 4.20.



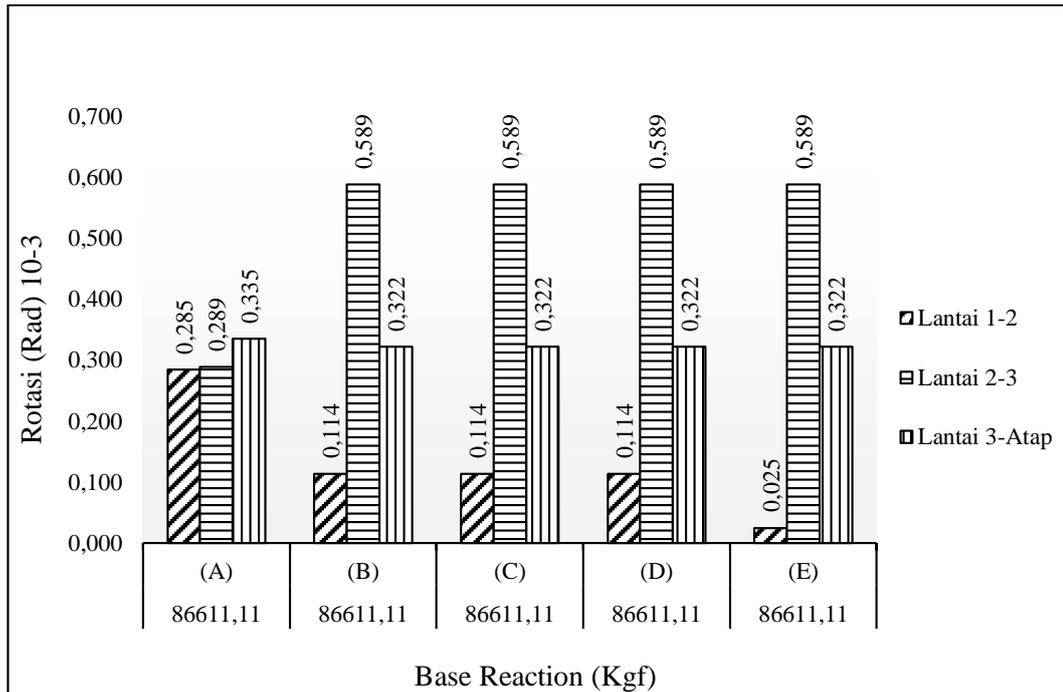
Gambar 4.19: Menunjukkan perlemahan puncak yang akan dilakukan, tanda silang (x) pada gambar merupakan batang balok pada lantai 1 yang akan dilemahkan 0,1 (10%).



Gambar 4.20: Menunjukkan perlemahan puncak yang akan dilakukan, tanda silang (x) pada gambar merupakan batang balok pada lantai 2 yang akan dilemahkan 0,1 (10%).



Gambar 4.21: Rotasi pada titik tengah dan titik sudut di setiap lantai, pada Kondisi perlemahan puncak.



Gambar 4.22: Selisih Rotasi pada titik tengah dan titik sudut antar lantai pada kondisi perlemahan puncak antar lantai.

Gambar 4.21 menunjukkan rotasi yang terjadi pada setiap lantai dengan pola rotasi yang beraturan. Rotasi terbesar terjadi pada lantai 1 dengan nilai rotasi = $1,396 \text{ rad} \times 10^{-3}$, gaya geser dasar = $86611,11 \text{ kgf}$. Nilai rotasi lantai 1,2,3,atap di titik A berbeda beda, tetapi pada titik B,C,D,E nilai rotasi tiap lantainya sama. saat yang terjadi pada titik memiliki nilai yang berbeda untuk tiap lantainya, rotasi lantai atap di titik A adalah rotasi yang terkecil dengan nilai rotasi = $0,222 \text{ rad} \times 10^{-3}$ dan gaya geser dasar $6611,11 \text{ kgf}$. Dan pada Gambar 4.22 menunjukkan selisih torsi antara lantai 2 – 3 di titik B,C,D,E sama besarnya dengan nilai rotasi serta lantai 3 – atap di titik B,C,D,E.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perbandingan dari hasil perencanaan struktur perilaku torsi pada lantai diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Pada metode analisis *pushover*, torsi lantai maksimum yang terjadi pada bangunan baja 4 lantai :

- a) Perlemahan awal:
 1. Nilai torsi maksimum pada titik leleh awal berada pada lantai 1, dengan R1 sebesar $16,000 \times 10^{-3}$ Rad.
 2. Nilai torsi maksimum pada titik leleh puncak berada pada lantai 1, dengan R1 sebesar $83,968 \times 10^{-3}$ Rad.
- b) Perlemahan puncak:
 1. Nilai torsi maksimum pada titik leleh awal berada pada lantai 1, dengan R1 sebesar $16,000 \times 10^{-3}$ Rad.
 2. Nilai torsi maksimum pada titik leleh puncak berada pada lantai 1, dengan R1 sebesar $83,559 \times 10^{-3}$ Rad.

Pada metode analisis respon spektrum, torsi lantai maksimum dan minimum yang terjadi pada bangunan baja 4 lantai :

- a) Nilai torsi maksimum pada perlemahan awal berada pada lantai 1, dengan R1 sebesar $1,037 \times 10^{-3}$ Rad.
- b) Nilai torsi maksimum pada perlemahan puncak berada pada lantai 1, dengan R1 sebesar $1,396 \times 10^{-3}$ Rad.
- c) Nilai torsi minimum pada perlemahan awal berada pada lantai atap, dengan R1 sebesar $0,368 \times 10^{-3}$ Rad.
- d) Nilai torsi minimum pada perlemahan puncak berada pada lantai atap, dengan R1 sebesar $0,371 \times 10^{-3}$ Rad.

5.2 Saran

Penulis mempunyai beberapa saran, bila dimasa depan dilakukan penelitian lanjutan :

1. Evaluasi torsi pada lantai perlu dicoba pada bangunan yang tidak simetris.
2. Parameter untuk analisis *pushover* yang digunakan sebaiknya sesuai dengan parameter perencanaan bangunan baja yang terbaru.
3. Untuk mendapatkan hasil yang akurat sebaiknya membandingkan bangunan baja tanpa dinding dengan bangunan baja dengan dinding atau penggunaan bresing.

DAFTAR PUSTAKA

- Antonius dan Widhianto, A. (2013). *Soft Storey pada Respon Dinamik Struktur Gedung Beton Bertulang Tingkat Tinggi (199S)*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- ATC-40 (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Report SSC 96-01, California Seismic Safety Commission, Penerbit: Applied Technology Council, Redwood City.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)*. Jakarta: Departemen PekerjaanUmum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)*. Jakarta: Departemen PekerjaanUmum.
- Budiono, B. dan Supriatna, L. (2011) *StudiKomparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012*. Bandung: ITB.
- Departemen PekerjaanUmum. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Dewobroto, W.(2006). *Pemrograman sebagai Sarana Pembelajaran Rekayasa, prosiding Lokakarya Pengajaran Mekanika Teknik, Konstruksi Beton dan Konstruksi Baja*. Bali: Universitas Udayana.
- Faisal, Ade. (2013) *Catatan Kuliah Pemodelan Struktur untuk Analisa Nonlinear*. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Haryono, Sri. (2010).*Kajian Penggunaan Nonlinier Static Pushover Analysis dengan Metode ATC-40,FEMA 356,FEMA 440 dan Perilaku Seismik Inelastic Time History Analysis untuk Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Pasca Gempa*. Surakarta: UTP.
- K. G. Stathopoulos dan S. A. Anagnostopoulos. (2005). *Inelastic Torsion of Multistorey Buildings Under Earthquake Excitations*. Patras: University of Patras.
- Paulay, T. dan Priestley, M.J.N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, Penerbit: ohn Wiley and Sons, New York.
- Riza, M, M. 2010. *Aplikasi Perencanaan Struktur Gedung dengan ETABS*. Yogyakarta, ARS GROUP.

Wigroho, Harianto Yoso. (2001). *Analisis Dan Perencanaan Struktur Frame Menggunakan SAP2000Versi 7.42, Edisi Kedua*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

A1. Perhitungan beban total perlantai struktur bangunan tanpa dinding Bata

1. berat lantai 4 (atap)

diketahui :

dimensi denah :	panjang	=	20 m
	lebar	=	20 m
	tinggi perlantai	=	4 m
	luasan lantai (20x20)	=	400 m ²

a) beban mati tambahan

spesi (tebal 3cm)	=	63 kg/m ²
water proofing	=	5 kg/m ²
plafond dan penggantung	=	18 kg/m ²
total	=	86 kg/m ²
total beban mati dalam kg	=	34400 kg

b) beban hidup

berat hidup atap	=	100 kg/m ²
dalam kg	=	40000 kg

koefisien reduksi = 0,8 BAB III Pers. 3.1

2. beban lantai 1-3

diketahui :

dimensi denah :	panjang	=	20 m
	lebar	=	20 m
	tinggi lantai	=	4
	luasan lantai (20X20)	=	400 m ²

a) berat mati tambahan

spesi (tebal 3cm)	=	63 kg/m ²
keramik	=	24 kg/m ²
plafond dan penggantung	=	18 kg/m ²
total	=	105 kg/m ²
total beban mati dalam kg	=	42000 kg

L1. Tabel Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung SNI 2012 hal. 56.

Parameter Percepatan Respon Spektar Desain Pada 1 Detik, S_{D1}	Koefisien C_U
≥ 0.4	1,4
0.3	1,4
0.2	1,5
0.15	1,6
≤ 0.1	1,7

b) berat hidup

luasan ruangan kantor lantai = 400 m²
 berat hidup ruangan apartemen lantai 1,2 dan 3 = 250 kg/m²
 dalam kg = 100000
 total beban hidup = 100000 kg

koefisien reduksi = 0,8 BAB III Pers. 3.1

A2. Menghitung Periode Bangunan

a) Periode minimum

$$T_{min} = T_a = C_t \cdot h_n^x$$

Nilai C_t = 0,0724 tabel 15
 x = 0,8 tabel 15
 Tinggi bangunan (h_n) = 16 m
 Maka T_a min = 0,6653 sekon

b). Periode maksimum

$$T_{max} = \min \left(\frac{C_u * T_a}{(SNI)} \right) = 0,9315 \text{ sekon}$$

$$C_u = 1,4$$

L2. Nilai parameter perioda T.

Tabel 15. Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan α

Tipe struktur	C_t	α
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

c) periode alternatif

$$N \text{ (jumlah tingkat bangunan)} = 4$$

$$T_a = 0,1$$

$$N = 0,4 \text{ detik (SNI 1727-2012 pers 26)}$$

d) periode SAP 2000

$$T_{\text{sap 2000}} = 0,569 \text{ detik (didapat dari nilai perioda modal sap)}$$

Periode min	Periode Sap	Periode maks	Periode alternatif
0,665	0,569	0,931	0,400

Control

$$\text{Priode min} < \text{Priode sap} < \text{Periode maks}$$

$$0,665 < 0,569 < 0,931$$

Di karenakan nilai periode dari sap lebih kecil dari nilai periode minimum, maka digunakan periode adalah periode minimum = 0,665

A3. Menghitung Gaya Geser Dasar V

Cs Maksimum

$$C_s = S_{DS} / (R/I_e) = 0,1029 = \text{pers 22}$$

Cs minimum

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 = 0,0362 > 0,01 \quad \text{OK}$$

Cs Hitungan

nilai Cs yg dihitung tidak boleh melebihi nilai berikut ini :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{I \left(\frac{R}{I_e} \right)} = 0,1992$$

L3. Tabel *joint reactions* respon spectrum arah x.

Tabel Joint Reactions						
Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
RSPX	1991,27	604,59	4952,24	1742,58	7667,88	0,04
RSPX	2465,18	631,79	1816,60	1779,45	8241,37	0,02
RSPX	2455,84	631,62	1809,34	1779,42	8232,65	0,01
RSPX	2465,18	631,79	1816,60	1779,45	8241,37	0,02
RSPX	1991,27	604,59	4952,24	1742,58	7667,88	0,04
RSPX	2070,40	782,31	5283,29	1977,27	7772,25	0,02
RSPX	2594,94	821,93	274,87	2029,98	8401,76	0,01
RSPX	2581,14	821,46	189,03	2029,62	8386,40	0,01
RSPX	2594,94	821,93	274,87	2029,98	8401,76	0,01
RSPX	2070,40	782,31	5283,29	1977,27	7772,25	0,02
RSPX	2071,45	769,84	5281,72	1961,11	7775,31	0,00
RSPX	2596,01	806,88	201,96	2010,28	8405,43	0,00
RSPX	2581,77	806,36	0,00	2009,82	8389,20	0,00
RSPX	2596,01	806,88	201,96	2010,28	8405,43	0,00
RSPX	2071,45	769,84	5281,72	1961,11	7775,31	0,00
RSPX	2070,40	782,31	5283,29	1977,27	7772,25	0,02
RSPX	2594,94	821,93	274,87	2029,98	8401,76	0,01
RSPX	2581,14	821,46	189,03	2029,62	8386,40	0,01

RSPX	2594,94	821,93	274,87	2029,98	8401,76	0,01
RSPX	2070,40	782,31	5283,29	1977,27	7772,25	0,02
RSPX	1991,27	604,59	4952,24	1742,58	7667,88	0,04
RSPX	2465,18	631,79	1816,60	1779,45	8241,37	0,02
RSPX	2455,84	631,62	1809,34	1779,42	8232,65	0,01
RSPX	2465,18	631,79	1816,60	1779,45	8241,37	0,02
RSPX	1991,27	604,59	4952,24	1742,58	7667,88	0,04
Total	58477,81	18228,44	64272,10	47687,80	202321,82	0,40

L4. Tabel *joint reactions* respon spectrum arah y.

Tabel Joint Reactions						
Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
RSPY	597,56	2015,15	5633,71	5808,46	2300,49	0,04
RSPY	739,56	2105,96	6031,66	5931,49	2472,43	0,02
RSPY	736,75	2105,41	6031,13	5931,40	2469,79	0,00
RSPY	739,56	2105,96	6031,66	5931,49	2472,43	0,02
RSPY	597,56	2015,15	5633,71	5808,46	2300,49	0,04
RSPY	621,12	2607,69	1666,89	6590,90	2331,68	0,02
RSPY	778,48	2739,75	630,37	6766,59	2520,53	0,02
RSPY	774,34	2738,20	630,10	6765,39	2515,92	0,00
RSPY	778,48	2739,75	630,37	6766,59	2520,53	0,02
RSPY	621,12	2607,69	1666,89	6590,90	2331,68	0,02
RSPY	621,43	2566,13	1584,51	6537,04	2332,59	0,01
RSPY	778,80	2689,58	60,59	6700,95	2521,63	0,01
RSPY	774,53	2687,87	0,00	6699,41	2516,76	0,00
RSPY	778,80	2689,58	60,59	6700,95	2521,63	0,01
RSPY	621,43	2566,13	1584,51	6537,04	2332,59	0,01
RSPY	621,12	2607,69	1666,89	6590,90	2331,68	0,02
RSPY	778,48	2739,75	630,37	6766,59	2520,53	0,02
RSPY	774,34	2738,20	630,10	6765,39	2515,92	0,00
RSPY	778,48	2739,75	630,37	6766,59	2520,53	0,02
RSPY	621,12	2607,69	1666,89	6590,90	2331,68	0,02
RSPY	597,56	2015,15	5633,71	5808,46	2300,49	0,04
RSPY	739,56	2105,96	6031,66	5931,49	2472,43	0,02
RSPY	736,75	2105,41	6031,13	5931,40	2469,79	0,00
RSPY	739,56	2105,96	6031,66	5931,49	2472,43	0,02
RSPY	597,56	2015,15	5633,71	5808,46	2300,49	0,04
TOTAL	17544,05	60760,71	72463,18	158958,73	60697,14	0,42

L5. Tabel *Base reactions*.

Base Reactions				
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	Kgf	Kgf
QUAKE X	LinRespSpec	Max	58476,61	18227,9
QUAKE Y	LinRespSpec	Max	17542,98	60759,67

k = 1,0825
 Cs = 0,1992
 Wt = 1130958,54

Interpolasi nilai k	
0,5	1
0,665	1,0825
2,5	2

Vt arah x (kg)	Vt arah y (kg)
225286,94	225286,94

L6. Distribusi horizontal gaya gempa (F_i) arah x dan y.

Lantai (i)	Wi (kg)	hi (m)	wi . Hi ^k (kg.m)	Fi (kg)	Story Shear
Lantai 1	301785,31	4,3	1474674,75	23094,82	23094,82
Lantai 2	301785,31	8,7	3122922,55	48907,97	72002,79
Lantai 3	301785,31	13,0	4843730,84	75857,48	147860,27
Lantai Atap	225602,61	17,3	4943928,81	77426,67	225286,94
Total	1130958,54		14385256,94	225286,94	

L7. Pengecekan nilai rho.

Story Shear (Vx)	Base shear x	35% V base shear	Cek 35% V Base Shear < Story Shear (Vx)
23094,82	23094,82	8083,19	OK
72002,79	23094,82	8083,19	OK
147860,27	23094,82	8083,19	OK
225286,94	23094,82	8083,19	OK

$$p = 1,3 \quad 0,35$$

Story Shear (Vx)	Base shear x	35% V base shear	Cek 35% V Base Shear < Story Shear (Vx)
23094,82	30023,26993	10508,14447	OK
72002,79	30023,26993	10508,14447	OK
147860,27	30023,26993	10508,14447	OK
225286,94	30023,26993	10508,14447	OK

Berdasarkan SNI 1726 2012 Pasal 7.9.4

$$V_t \geq V_{x,y}$$

Base Reactions	Fx	Fy	
Gempa X	58477,81	18228,44	Kg
Gempa Y	17544,05	60760,71	Kg

Evaluasai Gempa Arah X dan

Y

Vt	=	225286,94	Kg
Vx	=	58477,81	Kg
Vy	=	60760,71	Kg

Syarat :	Vx, Vy		Vt	
	Vx	<	0,85 Vt	
	58477,8	<	191493,90	OK

	Vy	<	0,85 Vt	
	60760,71	<	191493,90	OK

L8. Tabel periode bangunan analisis sap.

Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY
MODAL	Mode	1	0,569351	0	0,84
MODAL	Mode	2	0,467636	0	0,84
MODAL	Mode	3	0,46446	0,808	0,84
MODAL	Mode	4	0,179187	0,808	0,948
MODAL	Mode	5	0,140129	0,808	0,948
MODAL	Mode	6	0,135517	0,933	0,948
MODAL	Mode	7	0,100195	0,933	0,988
MODAL	Mode	8	0,073077	0,933	0,988
MODAL	Mode	9	0,071218	0,933	1
MODAL	Mode	10	0,06823	0,984	1
MODAL	Mode	11	0,049609	0,984	1
MODAL	Mode	12	0,045204	1	1

L9. Tabel pengecekan resepon spectrum memakai CQC atau SRSS.

Mode	persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%	
T1-T2	17,87	not ok	ok	SRSS
T2-T3	0,68	ok	not ok	CQC
T3-T4	61,42	not ok	ok	SRSS
T4-T5	21,80	not ok	ok	SRSS
T5-T6	3,29	ok	not ok	CQC
T6-T7	26,06	not ok	ok	SRSS
T7-T8	27,07	not ok	ok	SRSS
T8-T9	2,54	ok	not ok	CQC
T9-T10	4,20	ok	not ok	CQC
T10-T12	27,29	not ok	ok	SRSS
T11-T12	8,88	ok	not ok	CQC

L10. Tabel *pushover* sebelum dilemahkan.

TABLE: Pushover Capacity Curve									
Step	Displc	BaseForce	AtoB	BtoO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE
Unit	m	Kgf.10 ³	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit
0	0,00	0,00	520	0	0	0	0	0	0
1	0,10	1768,40	520	0	0	0	0	0	0
2	0,13	2275,61	517	3	0	0	0	0	0
3	0,21	3528,16	366	88	66	0	0	0	0
4	0,29	4360,19	328	32	160	0	0	0	0
5	0,43	5025,90	255	34	231	0	0	0	0
6	0,53	5463,02	255	0	265	0	0	0	0
7	0,64	5913,80	240	15	259	6	0	0	0
8	0,74	6322,14	215	30	251	17	0	4	0
9	0,81	6450,90	206	9	204	75	0	26	0
10	0,84	6395,90	195	20	160	46	0	53	3
11	0,99	5025,90	193	22	141	41	0	85	5

L11. Tabel *pushover* perlemahan awal.

TABLE: Pushover Capacity Curve									
Step	Displc	BaseForce	AtoB	BtoO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE
Unit	m	Kgf.10 ³	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit
0	0,00	0,00	520	0	0	0	0	0	0
1	0,10	1779,47	520	0	0	0	0	0	0
2	0,13	2242,54	519	1	0	0	0	0	0
3	0,21	3543,22	364	87	69	0	0	0	0
4	0,29	4360,92	328	32	160	0	0	0	0
5	0,43	5023,54	255	35	230	0	0	0	0
6	0,53	5460,68	255	0	265	0	0	0	0
7	0,63	5914,30	240	15	261	4	0	0	0
8	0,72	6366,63	215	30	256	17	0	2	0
9	0,81	6600,90	206	9	206	75	0	24	0
10	0,87	6460,68	195	20	160	46	0	53	4
11	0,99	5013,54	193	22	141	41	0	85	8

L11. Tabel *pushover* perlemahan puncak.

TABLE: Pushover Capacity Curve									
Step	Displc	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE
Unit	m	Kgf.10 ³	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit
0	0,00	0,00	520	0	0	0	0	0	0
1	0,10	1627,90	520	0	0	0	0	0	0
2	0,16	2646,18	516	4	0	0	0	0	0
3	0,27	4055,72	402	49	69	0	0	0	0
4	0,35	4665,14	271	113	136	0	0	0	0
5	0,47	5182,94	255	0	265	0	0	0	0
6	0,59	5684,91	251	4	265	0	0	0	0
7	0,69	6097,58	216	39	265	0	0	0	0
8	0,80	6517,31	212	23	284	1	0	0	4
9	0,91	6417,28	202	13	287	18	0	0	7
10	0,98	4055,72	193	22	211	71	0	23	12

A4. Rotasi Sebelum Dilemahkan

L12. Tabel rotasi leleh awal.

Rotasi Leleh Awal					
Base Force	Titik Joint	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Lantai Atap
2275,61	(A)	10,296	8,829	5,573	2,376
2275,61	(B)	13,973	11,379	7,132	3,551
2275,61	(C)	13,899	11,388	7,118	3,501
2275,61	(D)	13,885	11,368	7,125	3,555
2275,61	(E)	14,039	11,474	7,181	3,624

L13. Tabel rotasi leleh Puncak.

Rotasi Leleh Puncak					
Base Force	Titik Joint	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Lantai Atap
6450,90	(A)	68,369	63,174	35,429	10,313
6450,90	(B)	81,760	72,906	41,356	15,087
6450,90	(C)	84,141	75,084	42,858	15,726
6450,90	(D)	80,586	72,662	41,186	14,698
6450,90	(E)	84,440	75,580	43,158	16,237

A5. Rotasi Perlemahan Awal

L14. Tabel rotasi leleh awal.

Rotasi Leleh Awal					
Base Force	Titik Joint	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Lantai Atap
2242,54	(A)	10,394	3,422	5,497	2,344
2242,54	(B)	16,000	11,065	7,093	3,482
2242,54	(C)	13,951	11,335	7,008	3,451
2242,54	(D)	15,892	11,061	7,085	3,487
2242,54	(E)	15,885	11,063	7,125	3,547

L15. Tabel rotasi leleh Puncak.

Rotasi Leleh Puncak					
Base Force	Titik Joint	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Lantai Atap
6600,90	(A)	68,068	14,842	35,280	10,276
6600,90	(B)	81,489	72,669	41,213	15,009
6600,90	(C)	83,748	74,773	42,666	15,648
6600,90	(D)	80,329	72,410	41,043	14,649
6600,90	(E)	83,968	75,240	42,974	16,137

A6. Rotasi Perlemahan Puncak

L16. Tabel rotasi leleh awal.

Rotasi Leleh Awal					
Base Force	Titik Joint	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Lantai Atap
2646,183	(A)	10,394	3,422	5,497	2,344
2646,183	(B)	16,000	11,065	7,093	3,482
2646,183	(C)	13,951	11,335	7,008	3,451
2646,183	(D)	15,892	11,061	7,085	3,487
2646,183	(E)	15,885	11,063	7,125	3,547

L17. Tabel rotasi leleh puncak.

Rotasi leleh Puncak					
Base Force	Titik Joint	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Lantai Atap
6517,31	(A)	67,743	14,770	35,076	10,228
6517,31	(B)	81,158	72,318	41,008	14,900
6517,31	(C)	83,340	74,396	42,441	15,529
6517,31	(D)	80,011	72,061	40,831	14,583
6517,31	(E)	83,559	74,862	42,745	16,013

L18. Tabel momen m3 balok dan kolom.

TABLE: Hinges Gen - Noninteracting - Deform Control - General					
	HingeName	AssignHinge	DOFType	MRPosMoSF	MRNegMoSF
NO	KOLOM	Text	Text	Kgf-m	Kgf-m
1	1H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
2	1H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
3	2H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
4	2H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
5	3H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
6	3H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
7	4H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
8	4H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
9	21H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
10	21H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
11	52H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
12	52H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
13	53H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
14	53H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
15	54H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
16	54H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
17	55H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
18	55H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
19	56H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
20	56H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
21	57H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
22	57H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
23	58H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
24	58H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
25	59H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
26	59H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
27	60H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
28	60H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
29	61H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
30	61H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
31	62H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
32	62H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
33	63H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
34	63H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
35	64H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
36	64H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
37	65H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
38	65H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13

39	66H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
40	66H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
41	67H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
42	67H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
43	68H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
44	68H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
45	69H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
46	69H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
47	70H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
48	70H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
49	71H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
50	71H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
51	72H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
52	72H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
53	73H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
54	73H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
55	74H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
56	74H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
57	75H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
58	75H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
59	76H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
60	76H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
61	77H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
62	77H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
63	78H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
64	78H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
65	79H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
66	79H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
67	80H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
68	80H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
69	81H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
70	81H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
71	82H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
72	82H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
73	83H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
74	83H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
75	84H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
76	84H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
77	85H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
78	85H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
79	86H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
80	86H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
81	87H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13

82	87H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
83	88H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
84	88H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
85	89H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
86	89H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
87	90H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
88	90H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
89	91H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
90	91H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
91	92H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
92	92H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
93	93H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
94	93H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
95	94H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
96	94H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
97	95H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
98	95H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
99	96H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
100	96H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
101	97H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
102	97H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
103	98H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
104	98H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
105	99H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
106	99H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
107	100H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
108	100H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
109	101H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
110	101H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
111	102H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
112	102H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
113	103H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
114	103H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
115	104H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
116	104H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
117	105H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
118	105H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
119	106H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
120	106H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
121	107H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
122	107H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
123	108H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
124	108H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13

125	109H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
126	109H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
127	110H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
128	110H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
129	111H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
130	111H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
131	112H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
132	112H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
133	113H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
134	113H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
135	114H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
136	114H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
137	115H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
138	115H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
139	116H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
140	116H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
141	117H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
142	117H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
143	118H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
144	118H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
145	119H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
146	119H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
147	120H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
148	120H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
149	121H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
150	121H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
151	122H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
152	122H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
153	123H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
154	123H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
155	124H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
156	124H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
157	125H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
158	125H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
159	126H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
160	126H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
161	127H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
162	127H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
163	128H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
164	128H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
165	129H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
166	129H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
167	130H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13

168	130H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
169	131H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
170	131H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
171	132H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
172	132H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
173	133H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
174	133H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
175	134H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
176	134H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
177	135H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
178	135H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
179	136H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
180	136H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
181	137H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
182	137H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
183	138H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
184	138H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
185	139H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
186	139H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
187	140H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
188	140H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
189	141H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
190	141H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
191	142H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
192	142H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
193	143H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
194	143H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
195	144H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
196	144H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
197	145H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
198	145H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
199	146H1	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13
200	146H2	Auto	Moment M3	355051,13	355051,13

TABLE: Hinges Gen - Noninteracting - Deform Control - General					
	HingeName	AssignHinge	DOFType	MRNegMoSF	MRPosMoSF
NO	BALOK	Text	Text	Kgf-m	Kgf-m
1	149H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
2	149H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
3	150H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
4	150H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
5	151H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
6	151H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
7	153H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
8	153H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
9	154H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
10	154H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
11	155H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
12	155H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
13	156H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
14	156H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
15	157H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
16	157H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
17	158H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
18	158H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
19	159H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
20	159H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
21	160H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
22	160H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
23	161H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
24	161H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
25	162H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
26	162H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
27	163H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
28	163H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
29	164H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
30	164H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
31	165H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
32	165H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
33	166H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
34	166H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
35	167H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
36	167H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
37	168H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
38	168H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
39	169H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
40	169H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64

41	170H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
42	170H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
43	171H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
44	171H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
45	172H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
46	172H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
47	173H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
48	173H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
49	190H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
50	190H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
51	191H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
52	191H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
53	192H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
54	192H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
55	193H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
56	193H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
57	194H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
58	194H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
59	195H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
60	195H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
61	196H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
62	196H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
63	197H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
64	197H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
65	198H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
66	198H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
67	199H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
68	199H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
69	200H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
70	200H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
71	201H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
72	201H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
73	202H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
74	202H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
75	203H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
76	203H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
77	204H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
78	204H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
79	205H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
80	205H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
81	206H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
82	206H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
83	207H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64

84	207H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
85	208H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
86	208H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
87	209H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
88	209H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
89	210H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
90	210H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
91	211H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
92	211H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
93	212H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
94	212H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
95	213H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
96	213H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
97	214H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
98	214H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
99	215H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
100	215H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
101	216H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
102	216H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
103	217H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
104	217H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
105	218H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
106	218H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
107	219H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
108	219H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
109	220H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
110	220H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
111	221H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
112	221H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
113	222H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
114	222H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
115	223H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
116	223H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
117	224H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
118	224H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
119	225H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
120	225H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
121	226H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
122	226H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
123	227H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
124	227H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
125	228H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
126	228H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64

127	229H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
128	229H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
129	230H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
130	230H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
131	231H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
132	231H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
133	232H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
134	232H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
135	233H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
136	233H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
137	234H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
138	234H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
139	235H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
140	235H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
141	236H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
142	236H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
143	237H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
144	237H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
145	238H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
146	238H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
147	239H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
148	239H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
149	240H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
150	240H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
151	241H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
152	241H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
153	242H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
154	242H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
155	243H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
156	243H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
157	244H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
158	244H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
159	245H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
160	245H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
161	246H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
162	246H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
163	247H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
164	247H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
165	248H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
166	248H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
167	249H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
168	249H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
169	250H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64

170	250H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
171	251H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
172	251H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
173	252H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
174	252H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
175	253H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
176	253H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
177	254H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
178	254H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
179	255H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
180	255H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
181	256H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
182	256H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
183	257H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
184	257H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
185	258H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
186	258H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
187	259H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
188	259H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
189	260H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
190	260H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
191	261H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
192	261H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
193	262H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
194	262H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
195	263H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
196	263H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
197	264H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
198	264H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
199	265H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
200	265H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
201	266H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
202	266H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
203	267H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
204	267H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
205	268H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
206	268H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
207	269H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
208	269H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
209	270H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
210	270H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
211	271H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
212	271H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64

213	272H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
214	272H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
215	273H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
216	273H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
217	274H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
218	274H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
219	275H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
220	275H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
221	276H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
222	276H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
223	277H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
224	277H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
225	278H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
226	278H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
227	279H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
228	279H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
229	280H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
230	280H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
231	281H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
232	281H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
233	282H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
234	282H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
235	283H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
236	283H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
237	284H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
238	284H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
239	285H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
240	285H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
241	286H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
242	286H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
243	287H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
244	287H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
245	288H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
246	288H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
247	289H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
248	289H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
249	290H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
250	290H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
251	291H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
252	291H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
253	292H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
254	292H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
255	293H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64

256	293H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
257	294H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
258	294H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
259	295H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
260	295H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
261	296H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
262	296H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
263	297H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
264	297H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
265	298H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
266	298H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
267	299H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
268	299H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
269	300H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
270	300H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
271	301H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
272	301H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
273	302H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
274	302H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
275	303H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
276	303H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
277	304H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
278	304H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
279	305H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
280	305H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
281	306H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
282	306H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
283	307H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
284	307H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
285	308H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
286	308H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
287	309H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
288	309H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
289	310H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
290	310H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
291	311H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
292	311H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
293	312H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
294	312H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
295	313H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
296	313H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
297	314H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
298	314H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64

299	315H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
300	315H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
301	316H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
302	316H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
303	317H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
304	317H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
305	318H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
306	318H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
307	319H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
308	319H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
309	320H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
310	320H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
311	321H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
312	321H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
313	322H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
314	322H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
315	323H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
316	323H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
317	324H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
318	324H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
319	325H1	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64
320	325H2	Auto	Moment M3	78712,64	78712,64

A8. Pengecekan strong coloumn weak beam.

Kolom = 100 btg

Balok = 160 btg

cek SCWB = $\frac{\text{momen leleh balok}}{78712,64} / \frac{\text{momen leleh kolom}}{355051,13} < 1$ ok

= 0,222 < 1 ok

A9. Pengecekan Daktilitas.

Step	Displc	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE
Unit	m	Kgf.10 ³	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit
0	0,00	0,00	520	0	0	0	0	0	0
1	0,10	1768,40	520	0	0	0	0	0	0
2	0,13	2275,61	517	3	0	0	0	0	0
3	0,21	3528,16	366	88	66	0	0	0	0
4	0,29	4360,19	328	32	160	0	0	0	0
5	0,43	5025,90	255	34	231	0	0	0	0
6	0,53	5463,02	255	0	265	0	0	0	0
7	0,64	5913,80	240	15	259	6	0	0	0
8	0,74	6322,14	215	30	251	17	0	4	0
9	0,81	6450,90	206	9	204	75	0	26	0
10	0,84	6395,90	195	20	160	46	0	53	3
11	0,99	5025,90	193	22	141	41	0	85	5

mencari daktilitas

simpangan ultimate / simpangan leleh

$$0,81 \quad / \quad 0,13$$

$$= \quad 8$$

nilai faktor modifikasi respon yang direncanakan = 8 ok

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Wahyu Candra Rahmad Dani
Panggilan : Wahyu
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 16 Maret 1992
Jenis Kelamin : Laki – Laki
Alamat : Jl. Tanjung Selamat, Kec. Sunggal.
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Bambang Sunardi
Ibu : Sriyati
No. HP : 085296745534
E-Mail : wahyucandra554@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1307210143
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SDN 101740 Tanjung Selamat	2004
2	SMP	SMPN 41 Medan	2007
3	SMK	SMK – TI Raksana Medan	2010
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2013 sampai selesai.		