

TUGAS AKHIR

**EVALUASI PERILAKU TORSI PADA LANTAI STRUKTUR
SRPM BETON BERTULANG BERDASARKAN GABUNGAN
METODE PUSHOVER DENGAN METODE RESPON
RIWAYAT WAKTU LINIER
(*Studi Literatur*)**

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

Disusun Oleh:

**MUHAMMAD FAJAR PRATAMA
1307210181**



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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Fajar Pratama

NPM : 1307210181

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Evaluasi Perilaku Torsi Pada Lantai Struktur SRPM Beton Bertulang Berdasarkan Gabungan Metode Pushover Dengan Metode Respon Riwayat Waktu Linier.
(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, September 2018

Mengetahui dan menyetujui:

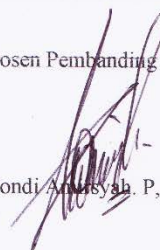
Dosen Pembimbing I / Penguji


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

Dosen Pembimbing II / Peguji


Mizanuddin Sitompul, S.T, M.T

Dosen Pembanding I / Penguji


Tondi Anweyha, 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 : Muhammad Fajar Pratama

Tempat /Tanggal Lahir : Medan / 08 Maret 1995

NPM : 1307210181

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 Beton Bertulang Berdasarkan Gabungan Metode Pushover Dengan Metode Respon Riwayat Waktu Linier”.

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

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

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

Medan, September 2018



Saya yang menyatakan,

Muhammad Fajar Pratama

ABSTRAK

EVALUASI PERILAKU TORSI PADA LANTAI STRUKTUR SRPM BETON BERTULANG BERDASARKAN GABUNGAN *PUSHOVER* DENGAN METODE RESPON RIWAYAT WAKTU LINIER (STUDI LITERATUR)

Muhammad Fajar Pratama

1307210181

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. Berdasarkan pengalaman yang telah terjadi, keruntuhan bangunan akibat bencana gempa bumi menelan korban jiwa dalam jumlah yang cukup besar. Pada saat terjadi gempa, ada kecurigaan ketika elemen kolom atau balok mengalami sendi plastis. Hal ini menyebabkan lantai mengalami torsi karena sudah tidak sesuai lagi kekuatannya dan kekakuannya. Hipotesa ini dipakai sebagai permasalahan penelitian ini dan tujuan dari penelitian ini untuk membuktikan hipotesa ini dengan metode *pushover* dan respon riwayat waktu linier. Dalam analisis yang dilakukan, torsi lantai yang ditunjukkan model bangunan pada analisis *pushover* dan analisis respon riwayat waktu berdasarkan beban gempa (SNI 1726:2012). Hasil analisis *pushover* dan analisis respon riwayat waktu yang telah menunjukkan bahwa gedung mengalami torsi pada lantai dengan nilai *pushover* maksimum pada titik leleh awal dengan $R1$ sebesar 7.79×10^{-3} m dan pada titik leleh puncak dengan $R1$ sebesar 8.29×10^{-3} m dan nilai respon riwayat waktu maksimum pada tahap pertama dengan melemahkan batang 1 baris di kolom bawah sebesar 0.83×10^{-3} m dan pada tahap kedua dengan melemahkan batang di kolom bawah secara acak sebesar 0.33×10^{-3} m.

Kata kunci: Gempa, torsi, *pushover*, respon riwayat waktu.

ABSTRACT

THE EVALUATION OF TORQUE BEHAVIOR ON THE STRUCTURAL REINFORCED CONCRETE SRPM FLOOR THROUGH THE COMBINATION OF PUSHOVER AND LINEAR TIME HISTORY METHOD (LITERATURE STUDY)

Muhammad Fajar Pratama

1307210181

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

Mizanuddin Sitompul, S.T, M.T

The necessary of confined masonry is an item which should be manifested, particularly in the in areas with high earthquake-prone for instance Indonesia. According to the incident that ever happened, the damage construction due to earthquake claimed a large number of lives. In the event of an earthquake, there is suspicion when the column element or beam encounter plastic hinge. This matter caused the floor encounter torque because of unsuitable strength and stiffness of the floor. The hypothesis are used as the research problem of the thesis and the objective of the research to establish the hypothesis by using pushover method and linear time history In the analysis carried out, the torque floor showed by construction design on the pushover analysis and time history analysis according to the seismic loading (SNI 1726:2012). Pushover analysis and time history analysis that has shown that the building has torsion on the floor with the maximum pushover value at the initial melting point with $R1$ of 7.79×10^{-3} m and at the peak melting point with $R1$ of 8.29×10^{-3} m and the maximum time history value in the first stage by weakening the rod 1 row in the bottom column by 0.83×10^{-3} m and in the second stage by randomly weakening the rod in the lower column by 0.33×10^{-3} m.

Keywords: Earthquake, torque, pushover, time history..

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah ﷻ 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 Beton Bertulang Berdasarkan Gabungan Metode Pushover Dengan Metode Respon Riwayat Waktu Linier” 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 Pimbimbing 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 Pembanding 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 Pembanding 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 ketekniksipilan kepada penulis.

7. Orang tua penulis: Suparno dan Yarti Astuti, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis dan adik Faizal Praduhanda dan Tri Aziz Tiar Pramansyah yang telah menyemangati penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis: Wahyu Candra Rahmad Dani, Dendy Syahrian, Andre Prasetya, dan lainnya di Teknik Sipil khususnya studi Struktur dan kelas B3 Malam yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.
10. Ustadz Hadi Suhara Addymasqhy Lc, M.A, selaku motivator yang selalu membimbing dan memotivasi penulis.
11. Sahabat-sahabat dan keluarga di komunitas Hijrah Thahir dan Yayasan Aksi Peduli Pelosok Negeri yang selalu mendukung dan membantu penulis dalam pengerjaan skripsi ini
12. Keluarga di Remaja Masjid Al-Yasmin 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, September 2018

Muhammad Fajar Pratama

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Definisi Torsi	5
2.2 Elastisitas	6
2.3 Tegangan	6
2.4 Regangan	11
2.5 Torsi Pada Beton Bertulang	13
2.6 Momen Torsi yang Harus Ditinjau dalam Desain Beton Bertulang	13
2.7 Tegangan Torsi pada Beton Bertulang	14
2.8 Gaya Akibat Gempa Terhadap Struktur	15
2.9 Perhitungan Beban Gempa	17
2.9.1 Faktor Keutamaan Dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	17
2.9.2 Faktor Respon Gempa (C)	19

2.9.3 Kategori Disain Seismik	27
2.9.4 Kombinasi Pembebanan	28
2.9.5 Faktor Redudansi	29
2.9.6 Arah Pembebanan	32
2.10 Analisis Gaya Lateral Ekvivalen	33
2.10.1 Geser Dasar Seismik	33
2.10.2 Perioda Alami Fundamental	34
2.10.3 Ketentuan Untuk Analisis Respon Dinamik	36
2.10.4 Distribusi Vertikal Gaya Gempa	37
2.10.5 Distribusi Horizontal Gaya Gempa	38
2.11 Analisa Menggunakan Metode <i>Pushover</i>	38
2.12 Analisa Menggunakan Metode Respon Riwayat Waktu	40
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	43
3.1 Metodologi	43
3.2 Pengumpulan Data	44
3.3 Pemodelan Struktur	45
3.3.1 Konfigurasi Struktur	46
3.3.2 Karakteristik Material	47
3.3.3 Dimensi Elemen Struktur	47
3.4 Pembebanan	48
3.5 Metode Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726 2012	49
3.6 Kombinasi Pembebanan	54
3.7 Analisis 3D dengan Program	55
3.8 Perbandingan Hasil	55
3.6 Kesimpulan	55
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	56
4.1 Tinjauan Umum	56
4.2 Hasil Analisis	56
4.3 Penentuan Berat Total per Lantai (W_t)	56
4.4 Penentuan Perioda Alami Struktur (T_1)	57
4.5 Perioda Fundamental Pendekatan (T_a)	58
4.6 Penentuan Gaya Geser seismic (V)	59

4.7 Penentuan Distribusi Vertikal Gaya Gempa	60
4.8 Spektrum Respon Ragam	61
4.9 Gaya Geser Analisis Respon Spektrum	62
4.10 Pemodelan Gedung Pada Program	65
4.10.1 Pembebanan Elemen	65
4.10.2 Analisis Pushover	66
4.10.3 Pembahasan Torsi Pada Lantai Dengan Metode Pushover	66
4.10.3.1 Torsi Pada Lantai Untuk Kondisi Leleh Awal	67
4.10.3.2 Torsi Pada Lantai Untuk Kondisi Leleh Puncak	72
4.10.4 Analisis Respon Riwayat Waktu Non Linier	77
4.10.5 Torsi Pada Lantai Metode Respon Riwayat Waktu	77
4.10.5.1 Tahap Pertama Torsi Lantai	78
4.10.5.2 Tahap Pertama Torsi Puncak	81
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	84
5.1 Kesimpulan	84
5.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	87
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1727:2012	17
Tabel 2.2 : Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726:2012	19
Tabel 2.3 : Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2012	22
Tabel 2.4 : Koefisien PGA (FPGA) berdasarkan SNI 1726:2012	23
Tabel 2.5 : Koefisien periode pendek F_a berdasarkan SNI 1726:2012	24
Tabel 2.6 : Koefisien periode Pendek F_V berdasarkan SNI 1726:2012	25
Tabel 2.7 : Katagori disain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek berdasarkan SNI 1726:2012	26
Tabel 2.8 : Katagori disain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik berdasarkan SNI 1726:2012	27
Tabel 2.9 : Faktor koefisien modifikasi respons (R_a), faktor kuat lebih sistem (Ω_0g), faktor pembesaran defleksi (C_{db}), dan batasan tinggi sistem struktur (m_c) berdasarkan SNI 1726:2012	27
Tabel 2.10: Persyaratan masing-masing tingkatan yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar (SNI 1726:2012)	31
Tabel 2.11: Nilai parameter perioda pendekatan C_r dan x berdasarkan SNI 1726:2012	35
Tabel 2.12: Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2012	36
Tabel 2.13: Spektrum respon gempa rencana (Sumber: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung (SNI 1726:2012))	41
Tabel 2.14: Koefisien Ψ untuk menghitung faktor respons gempa vertikal C_v (Sumber: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung (SNI 1726:2012))	42
Tabel 3.1 : Konfigurasi struktur	46
Tabel 3.2 : Dimensi elemen struktur	47
Tabel 3.3 : Beban hidup pada lantai gedung	48
Tabel 3.4 : Beban Mati tambahan pada lantai gedung	49
Tabel 3.5 : Interpolasi koefisien situs, F_a dan F_v (SNI 1726:2012)	50

Tabel 3.6 : Nilai SDS dan SD1 untuk kota Padang	51
Tabel 3.7 : Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	51
Tabel 3.8 : Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik	51
Tabel 3.9 : Data spektrum respon berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Padang untuk tanah lunak	53
Tabel 3.10: Tabel kombinasi pembebanan untuk $\rho = 1.3$ dan $SDS = 0.824$	54
Tabel 4.1 : Hasil berat sendiri bangunan per lantai struktur bangunan	56
Tabel 4.2 : Rekapitulasi berat total per lantai struktur bangunan	57
Tabel 4.3 : Waktu getar alami struktur bangunan	57
Tabel 4.4 : Hasil persentase nilai perioda	58
Tabel 4.5 : Nilai koefisien batas atas (C_u)	59
Tabel 4.6 : Pengecekan nilai perioda	59
Tabel 4.7 : Nilai C_s yang digunakan	60
Tabel 4.8 : Gaya geser nominal statik ekuivalen (V)	60
Tabel 4.9 : Nilai F_{ix} dan F_{iy} per lantai	61
Tabel 4.10: Gaya geser gedung tiap lantai	61
Tabel 4.11: Pengecekan story shear dengan 35% gaya geser dasar redundansi 1 ($\rho=1$)	62
Tabel 4.12: Pengecekan story shear dengan 35% gaya geser dasar redundansi 1.3 ($\rho=1.3$)	62
Tabel 4.13: Gaya geser respon spektrum stuktur bangunan	63
Tabel 4.14: Pengecekan gaya geser respon spektrum	63
Tabel 4.15: Hasil gaya geser respon spektrum setelah dikalikan faktor skala	65
Tabel 4.16: Pengecekan gaya geser respon spektrum	65
Tabel 4.17: Nilai rotasi pada analisa respon riwayat waktu	78
Tabel 4.18: Nilai rotasi pada analisa respon riwayat waktu	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Arah kerja torsi sesuai kaidah tangan kanan dan panah lengkung	5
Gambar 2.2 : Benda tampang sembarang yang dibebani oleh gaya-gaya luar	7
Gambar 2.3 : Komponen-komponen tegangan yang bekerja pada kubus kecil	8
Gambar 2.4 : Potongan melintang kubus yang melalui titik P	9
Gambar 2.5 : Komponen-komponen tegangan yang bekerja pada kubus kecil dimana gaya luar per satuan volume yang bekerja	10
Gambar 2.6 : Elemen kecil berdimensi dx dy dz	11
Gambar 2.7 : Perpindahan titik P, A, dan B	12
Gambar 2.8 : Tegangan torsi dan geser dalam balok berongga	14
Gambar 2.9 : Tegangan torsi dan geser dalam balok pejal	15
Gambar 2.10: Rangka batang ruang fiktif	15
Gambar 2.11: Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5 % (SNI 1726:2012)	20
Gambar 2.12: Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (SS) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012)	20
Gambar 2.13: Peta respon spektra percepatan 1,0 detik (S1) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012)	21
Gambar 2.14: Bentuk tipikal spektrum respon disain di permukaan tanah (SNI 1726:2012)	26
Gambar 2.15: Metode pushover	39
Gambar 3.1 : Diagram alir penelitian	43
Gambar 3.2 : Pemodelan gedung SRPM	45
Gambar 3.3 : Denah struktur	46
Gambar 3.4 : Pemodelan 3D portal terbuka	47

Gambar 3.5 : Kurva respons spektrum kota Padang dengan kondisi tanah lunak	52
Gambar 4.1 : Kurva pushover awal	66
Gambar 4.2 : Nilai rotasi bangunan	67
Gambar 4.3 : Kurva pushover struktur setelah perlemahan pada balok (mengacu kepada kondisi leleh awal pada kurva pushover awal)	67
Gambar 4.4 : Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 1	68
Gambar 4.5 : Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 2	69
Gambar 4.6 : Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 3	70
Gambar 4.7 : Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai atap	71
Gambar 4.8 : Kurva pushover struktur setelah perlemahan pada balok (mengacu kepada kondisi gaya geser maximum pada kurva pushover awal)	72
Gambar 4.9 : Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 1	73
Gambar 4.10: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 2	74
Gambar 4.11: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 3	75
Gambar 4.12: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai atap	76
Gambar 4.13: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 1	79
Gambar 4.14: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 2	79
Gambar 4.15: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 3	80
Gambar 4.16: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai atap	80
Gambar 4.17: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 1	82
Gambar 4.18: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 2	82
Gambar 4.19: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 3	83
Gambar 4.20: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai atap	83

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Print out program analisis struktur	87
Lampiran 2: Gambar rekaman gempa	108

DAFTAR SINGKATAN

ASCE	= American Society of Civil Engineers
CTBUH	= Council on Tall Buildings and Urban Habitat
CQC	= Complete Quadratic Combination
IBC	= Indoor Building Coverage
PGA	= Peak Ground Acceleration
PEER	= The Pasific Earthquake Engineering Research Center
SF	= Scale Factor
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SRSS	= Square Root of the Sum of Squares
USCS	= United Soil Classification System

DAFTAR NOTASI

a	= Tinggi penampang
b	= Lebar penampang
D	= Diameter penampang
E	= Modulus elastisitas
F_a	= Faktor amplifikasi
F_v	= Faktor amplifikasi
f'_c	= Kuat tekan beton
f_y	= Kuat leleh tulangan baja
H	= Tinggi
h	= Panjang penampang
h_c	= Tinggi efektif kolom
I	= Momen Inersia
I	= Faktor keutamaan
K	= Kekakuan
k	= eksponen yang terikat pada struktur
$M_{A,B,C}$	= Momen lentur di titik A, B, atau C
M_T	= Momen torsi
P	= Beban terpusat
q	= Berat isi material
R	= Faktor modifikasi respon
r	= Jari-jari penampang
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 = Periode awal
 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

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 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 beton bertulang 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 Beton Bertulang berdasarkan gabungan Metode *Pushover* dengan Metode Respon Riwayat Waktu Linier”.

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 riwayat waktu?

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. Bangunan difungsikan untuk bangunan sekolah.
3. Tidak memperhitungkan pengaruh struktur bawah dan tangga.
4. Struktur berdiri diatas kondisi tanah lunak di kota Padang.
5. Struktur yang ditinjau adalah SRPM beton bertulang dengan 4 lantai dan 4 bentang.
6. Penyusunan tugas akhir ini berpedoman pada peraturan-peraturan sebagai berikut:
 - a. Menggunakan peraturan *SNI 2847 2013* untuk beton.
 - 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*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan skripsi 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 riwayat waktu.

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

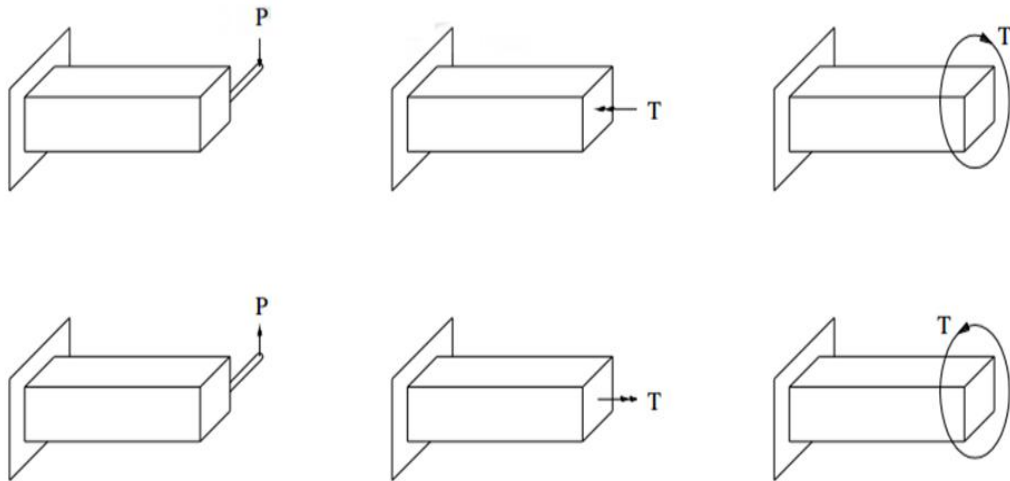
Merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dan saran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Torsi

Erwin (2009) berpendapat bahwa torsi adalah puntir yang terjadi pada batang lurus apabila batang tersebut dibebani momen yang cenderung menghasilkan rotasi terhadap sumbu longitudinal batang. Sebagai contoh dalam kehidupan sehari-hari yaitu jika seseorang memutar obeng, maka tangannya memberikan torsi ke obeng.



Gambar 2.1: Arah kerja torsi sesuai kaidah tangan kanan dan panah lengkung

Demikian pula halnya dengan komponen struktur suatu bangunan. Jika diperhatikan lebih seksama seperti Gambar 2.1, sebenarnya balok-balok pada bangunan mengalami torsi akibat beban-beban pada pelat. Demikian pula halnya dengan kolom. Namun torsi pada kolom kebanyakan diakibatkan oleh gaya-gaya yang arahnya horizontal seperti gaya angin ataupun gempa. Berikut ini beberapa ilustrasi yang memperlihatkan adanya torsi yang terjadi pada balok dan kolom.

Torsi timbul karena adanya gaya-gaya yang membentuk kopel yang cenderung memuntir batang terhadap sumbu longitudinalnya. Seperti diketahui dari statika, momen kopel merupakan hasil kali dari gaya dan jarak tegak lurus antara garis kerja

gaya. Satuan untuk momen pada USCS adalah (lb-ft) dan (lb-in), sedangkan untuk satuan SI adalah (N.m).

Untuk mudahnya, momen kopel sering dinyatakan dengan vektor dalam bentuk panah berkepala ganda. Panah ini berarah tegak lurus bidang yang mengandung kopel, sehingga dalam hal ini kedua panah sejajar dengan sumbu batang. Arah momen ditunjukkan dengan kaidah tangan kanan untuk vektor momen yaitu dengan menggunakan tangan kanan, empat jari selain jempol dilipat untuk menunjukkan momen sehingga jempol akan menunjuk arah vektor. Representasi momen yang lain adalah dengan menggunakan panah lengkung yang mempunyai arah torsi.

Momen yang menghasilkan puntir pada suatu batang disebut momen puntir atau momen torsi. Batang yang menyalurkan daya melalui rotasi disebut poros atau as (*shaft*). Dalam tugas akhir ini, *shaft* yang akan dibahas secara khusus adalah *shaft* yang dalam bidang teknik struktur bangunan banyak dijumpai yaitu pada balok dan kolom struktur beton bertulang.

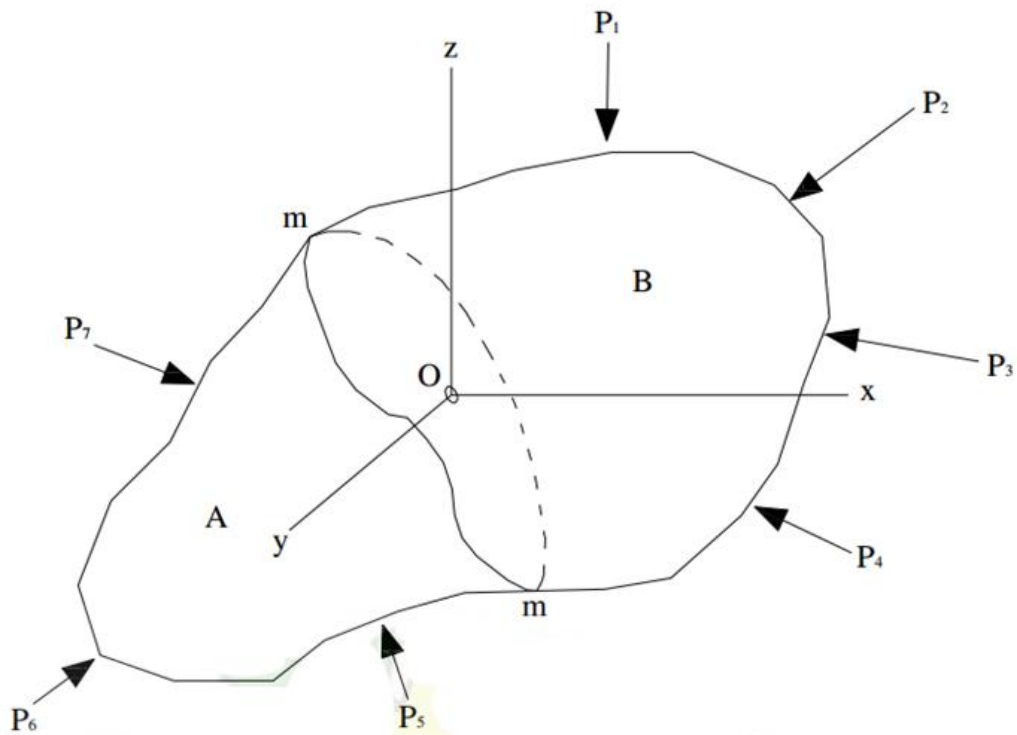
2.2 Elastisitas

Elastisitas ialah sifat suatu bahan apabila gaya luar mengakibatkan perubahan bentuk (deformation) tidak melebihi batas tertentu, maka perubahan bentuk akan hilang setelah gaya dilepas. Hampir semua bahan teknik memiliki sifat elastisitas ini.

Dalam pembahasan torsi dalam tugas akhir ini, bahan-bahan akan dianggap bersifat elastis sempurna yaitu benda akan kembali seperti semula secara utuh setelah gaya yang bekerja padanya dilepas.

2.3 Tegangan

Tegangan didefinisikan sebagai intensitas gaya yang bekerja pada tiap satuan luas bahan. Untuk menjelaskan ini, maka akan ditinjau sebuah benda yang dalam keadaan setimbang seperti terlihat pada Gambar 2.2. Akibat kerja gaya luar P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 , P_6 , dan P_7 , maka akan terjadi gaya dalam di antara benda. Untuk mempelajari besar gaya ini pada titik sembarang O, maka benda diandaikan dibagi menjadi dua bagian A dan B oleh penampang mm yang melalui titik O (Erwin,2009).



Gambar 2.2: Benda tampang sembarang yang dibebani oleh gaya-gaya luar

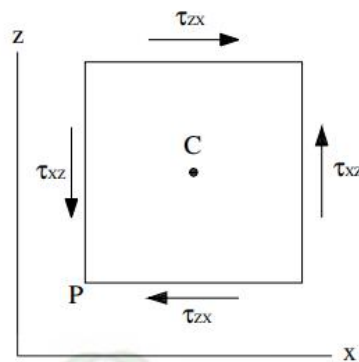
Kemudian tinjaulah salah satu bagian ini, misalnya A. Bagian ini dapat dinyatakan dalam keadaan setimbang akibat gaya luar $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6,$ dan P_7 , dan gaya dalam terbagi di sepanjang penampang mm yang merupakan kerja bahan. Oleh karena intensitas distribusi ini, tegangan dapat diperoleh dengan membagi gaya tarik total P dengan luas potongan penampang A .

Untuk memperoleh besar gaya yang bekerja pada luasan kecil δA , misalnya dari potongan penampang mm pada titik O , dapat diamati bahwa gaya yang bekerja pada elemen luas ini diakibatkan oleh kerja bahan bagian B terhadap bagian A yang dapat diubah menjadi sebuah resultante δP . Apabila tekanan diberikan pada luas elemen δA , harga batas $\delta P / \delta A$ akan menghasilkan besar tegangan yang bekerja pada potongan penampang mm pada titik O dan arah batas resultante δP adalah arah tegangan.

Umumnya arah tegangan ini miring terhadap luas δA tempat gaya bekerja sehingga dapat diuraikan menjadi dua komponen tegangan yaitu *tegangan normal*

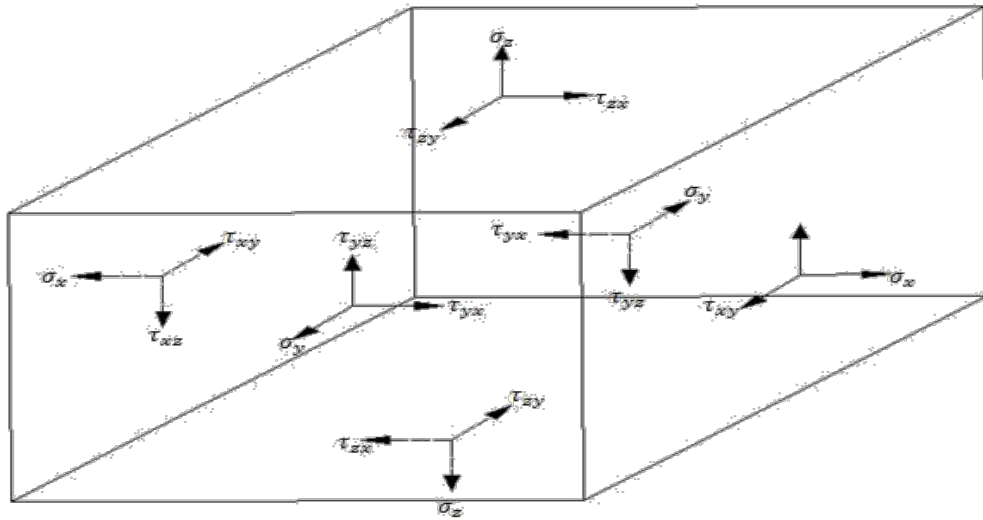
yang tegak lurus terhadap luas dan *tegangan geser* yang bekerja pada bidang luas δA .

Tegangan normal dinotasikan dengan huruf σ dan tegangan geser dengan huruf τ . Untuk menunjukkan arah bidang dimana tegangan tersebut bekerja, digunakan *subscript* terhadap huruf-huruf ini. Tegangan normal menggunakan sebuah *subscript* yang menunjukkan arah tegangan yang sejajar terhadap sumbu koordinat tersebut, sedangkan tegangan geser menggunakan dua buah *subscript* dimana huruf pertama menunjukkan arah normal terhadap bidang yang ditinjau dan huruf kedua menunjukkan arah komponen tegangan. Gambar 2.3 menunjukkan arah komponen-komponen tegangan yang bekerja pada suatu elemen kubus kecil pada titik O pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3: Komponen-komponen tegangan yang bekerja pada kubus kecil

Untuk menjelaskan tegangan yang bekerja pada keenam sisi elemen ini diperlukan tiga simbol $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ untuk tegangan normal dan symbol $\tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{xz}, \tau_{zx}, \tau_{yz}, \tau_{zy}$ untuk tegangan geser. Dengan meninjau kesetimbangan elemen secara sederhana, maka jumlah simbol tegangan geser dapat dikurangi menjadi tiga.



Gambar 2.4: Potongan melintang kubus yang melalui titik P

Apabila momen gaya yang bekerja pada elemen terhadap garis yang melalui titik tengah C dan sejajar sumbu x , maka hanya tegangan permukaan yang diperlihatkan pada Gambar 2.4. yang perlu ditinjau. Gaya benda, seperti berat elemen, dapat diabaikan karena semakin kecil ukuran elemen, maka gaya benda yang bekerja padanya berkurang sebesar ukuran linier pangkat tiga. Sedangkan gaya permukaan berkurang sebesar ukuran linear kuadrat. Oleh karena itu, untuk elemen yang sangat kecil, besar gaya benda sangat kecil jika dibandingkan dengan gaya permukaan sehingga dapat dihilangkan ketika menghitung momen.

Dengan cara yang sama, orde momen akibat ketidak-merataan distribusi gaya normal lebih tinggi dibandingkan dengan orde momen akibat gaya geser dan menjadi nol dalam limit. Juga gaya pada masing-masing sisi dapat ditinjau sebagai luas sisi kali tegangan di tengah. Jika ukuran elemen kecil pada Gambar 2.4. adalah dx , dy , dz , maka momen gaya terhadap P, maka persamaan 2.1 kesetimbangan elemen ini adalah :

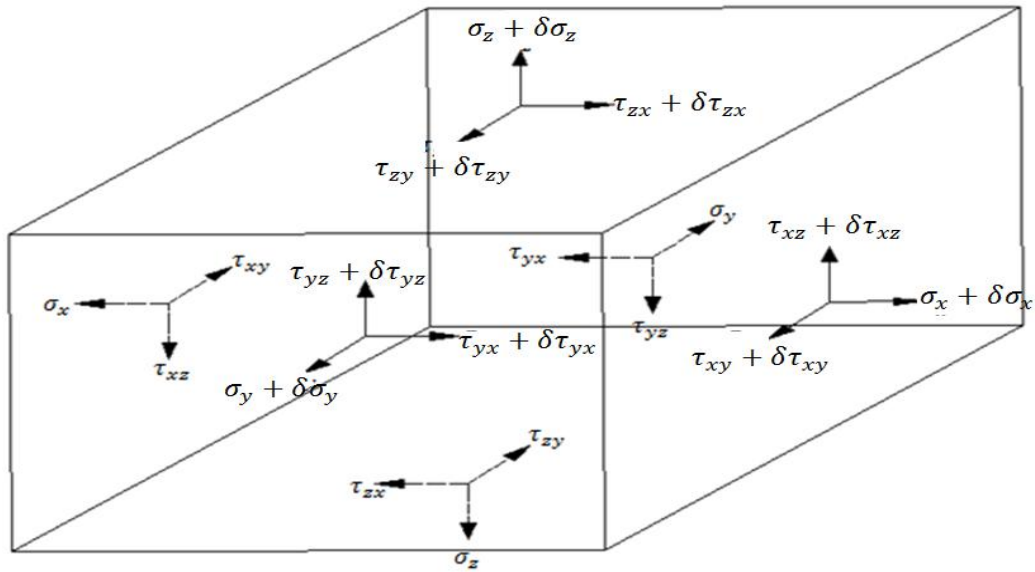
$$\tau_{xz} dx dy dz = \tau_{zx} dx dy dz \quad (2.1)$$

Dua persamaan 2.2 dapat diperoleh dengan cara yang sama sehingga didapatkan:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \quad \tau_{xz} = \tau_{zx} \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} \quad (2.2)$$

Dengan demikian enam besaran $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{xz} = \tau_{zx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}$ cukup untuk menjelaskan tegangan yang bekerja pada koordinat bidang melalui sebuah titik. Besaran-besaran ini disebut *komponen tegangan* pada suatu titik.

Jika kubus pada Gambar 2.3. diberikan suatu komponen gaya per satuan volume sebesar X, Y, Z pada masing-masing sumbu $x, y,$ dan z maka gambar komponen tegangan dalam Gambar 2.3. akan menjadi seperti pada Gambar 2.5. di bawah ini.



Gambar 2.5: Komponen-komponen tegangan yang bekerja pada kubus kecil dimana gaya luar per satuan volume yang bekerja

Sesudah dibagi dengan $\delta x, \delta y, \delta z,$ maka akan didapatkan persamaan kesetimbangan yaitu:

$$\begin{aligned} \frac{\delta \sigma_x}{\delta x} + \frac{\delta \tau_{yx}}{\delta y} + \frac{\delta \tau_{zx}}{\delta z} + X &= 0 \\ \frac{\delta \sigma_y}{\delta y} + \frac{\delta \tau_{xy}}{\delta x} + \frac{\delta \tau_{zy}}{\delta z} + Y &= 0 \\ \frac{\delta \sigma_z}{\delta z} + \frac{\delta \tau_{xz}}{\delta x} + \frac{\delta \tau_{yz}}{\delta y} + Z &= 0 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Persamaan 2.3 ini harus dipenuhi di semua titik di seluruh volume benda. Tegangan berubah di seluruh volume benda, dan apabila sampai pada permukaan,

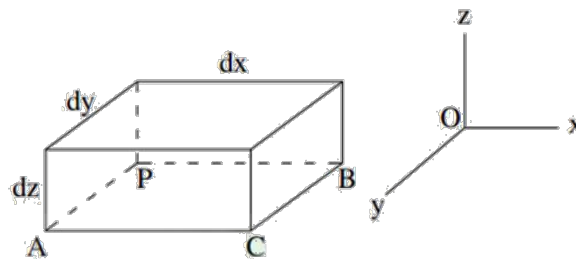
tegangan-tegangan ini harus sedemikian rupa sehingga setimbang dengan gaya luar yang bekerja pada permukaan benda (Timoshenko, S., 1958).

2.4 Regangan

Erwin (2009) menyatakan bahwa regangan didefinisikan sebagai suatu perbandingan antara perubahan dimensi suatu bahan dengan dimensi awalnya. Karena merupakan rasio antara dua panjang, maka regangan ini merupakan besaran tak berdimensi, artinya regangan tidak mempunyai satuan. Dengan demikian, regangan dinyatakan hanya dengan suatu bilangan, tidak bergantung pada sistem satuan apapun. Harga numerik dari regangan biasanya sangat kecil karena batang yang terbuat dari bahan struktural hanya mengalami perubahan panjang yang kecil apabila dibebani.

Dalam membahas perubahan bentuk benda elastis, selalu dianggap bahwa benda terkekang sepenuhnya sehingga tidak bisa bergerak sebagai benda kaku sehingga tidak mungkin ada perpindahan partikel benda tanpa perubahan bentuk benda tersebut.

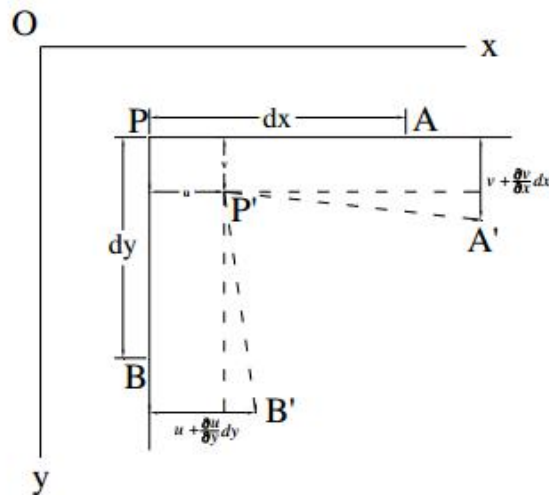
Pada pembahasan ini yang ditinjau hanya perubahan bentuk yang kecil yang biasa terjadi pada struktur teknik. Perpindahan kecil partikel yang berubah bentuk ini diuraikan ke dalam komponen u , v , w berturut-turut sejajar dengan sumbu koordinat. Besar komponen ini dianggap sangat kecil dan bervariasi di seluruh volume benda.



Gambar 2.6: Elemen kecil berdimensi $dx dy dz$

Tinjau elemen kecil $dx dy dz$ dari sebuah benda elastis seperti terlihat pada Gambar 2.6. Apabila benda mengalami perubahan bentuk dan u , v , w merupakan komponen perpindahan titik P , perpindahan titik di dekatnya, A , dalam arah x pada

sumbu x adalah orde pertama dalam dx , yaitu $u + (\delta u/\delta x) dx$ akibat pertambahan fungsi u sebesar $(\delta u/\delta x) dx$ sesuai dengan pertambahan panjang elemen PA akibat perubahan bentuk adalah $(\delta u/\delta x) dx$. Sedangkan *satuan perpanjangan* (*unit elongation*) pada titik P dalam arah x adalah $(\delta u/\delta x)$. Dengan cara yang sama, maka diperoleh satuan perpanjangan dalam arah y dan z adalah $(\delta v/\delta y)$ dan $(\delta w/\delta z)$.



Gambar 2.7: Perpindahan titik P, A, dan B

Sekarang tinjaulah pelentingan sudut antara elemen PA dan PB dalam Gambar 2.7. Apabila u dan v adalah perpindahan titik P dalam arah x dan y , perpindahan titik A dalam arah y dan titik B dalam arah x berturut-turut adalah $v + (\delta v/\delta x) dx$ dan $u + (\delta u/\delta y) dy$. Akibat perpindahan ini, maka $P'A'$ merupakan arah baru elemen PA yang letaknya miring terhadap arah awal dengan sudut kecil yang ditunjukkan pada gambar, yaitu sama dengan $(\delta v/\delta x)$. Dengan cara yang sama arah $P'B'$ miring terhadap PB dengan sudut kecil $(\delta u/\delta y)$. Dari sini dapat dilihat bahwa sudut awal APB yaitu sudut antara kedua elemen PA dan PB berkurang sebesar $(\delta v/\delta x) + (\delta u/\delta y)$. Sudut ini adalah *regangan geser* (*shearing strain*) antara bidang xz dan yz . Regangan geser antara bidang xy dan xz dan yx dan yz dapat diperoleh dengan cara yang sama.

Selanjutnya kita menggunakan huruf untuk satuan perpanjangan dan huruf γ untuk regangan geser. Untuk menunjukkan arah regangan digunakan *subscript*

yang sama terhadap huruf ini sama seperti untuk komponen tegangan. Kemudian diperoleh dari pembahasan di atas beberapa besaran persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\delta u}{\delta x} & \epsilon_y &= \frac{\delta v}{\delta y} & \epsilon_z &= \frac{\delta w}{\delta z} \\ \gamma_{xy} = \gamma_{yx} &= \frac{\delta u}{\delta y} + \frac{\delta v}{\delta x} & \gamma_{xz} = \gamma_{zx} &= \frac{\delta u}{\delta z} + \frac{\delta w}{\delta x} & \gamma_{yz} = \gamma_{zy} &= \frac{\delta v}{\delta z} + \frac{\delta w}{\delta y} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Keenam besaran ini disebut sebagai *komponen regangan geser* (Timoshenko, S., 1958).

2.5 Tulangan Torsi pada Beton Bertulang

Batang beton bertulang yang menerima gaya torsi besar akan runtuh secara mendadak jika tidak diberikan tulangan torsi. Penambahan tulangan torsi tidak mengubah besar torsi yang akan menyebabkan retak tarik diagonal, melainkan mencegah batang tersebut terpisah. Oleh karena itu, tulangan torsi ini akan mampu menahan momen torsi yang cukup besar tanpa runtuh. Pengujian menunjukkan bahwa tulangan longitudinal dan sengkang tertutup (atau spiral) perlu dipasang untuk menahan sejumlah retak tarik diagonal yang terjadi pada seluruh permukaan dari batang yang menerima gaya torsi cukup besar (Jack C. McCormac, 2004).

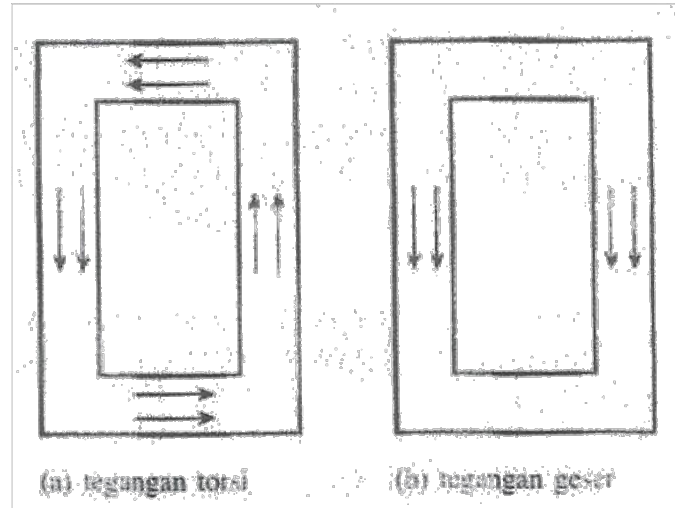
2.6 Momen Torsi yang Harus Ditinjau dalam Desain Beton Bertulang

Jack C. McCormac (2004) menyatakan bahwa momen torsi dikenal sebagai torsi keseimbangan dan torsi kompatibilitas. Berikut penjelasannya :

- Torsi keseimbangan. Untuk struktur statis tertentu, hanya ada satu alur di mana momen torsi dapat dipindahkan ke tumpuan. Jenis momen torsi ini disebut torsi keseimbangan atau torsi statis tertentu dan tidak dapat direduksi oleh redistribusi gaya dalam atau oleh rotasi batang.
- Torsi kompatibilitas. Momen torsi pada bagian tertentu dari struktur statis tak tentu dapat direduksi cukup besar jika bagian struktur tersebut retak akibat torsi dan berotasi. Hasilnya adalah redistribusi gaya dalam struktur. Dalam beberapa bagian dari struktur yang ditinjau memuntir untuk mempertahankan deformasi dari kompatibilitas struktur.

2.7 Tegangan Torsi pada Beton Bertulang

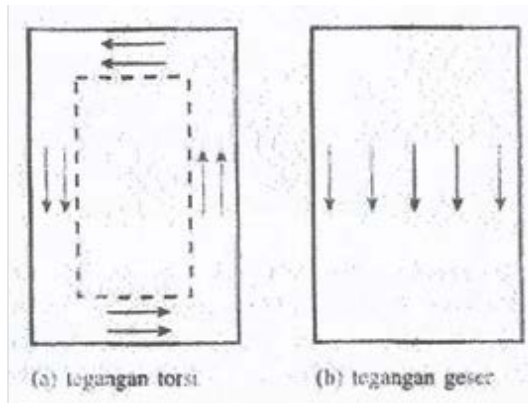
Tegangan torsi ditambahkan pada tegangan geser pada satu sisi dari balok dan dikurangkan dari tegangan geser pada sisi lainnya seperti terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.8: Tegangan torsi dan geser dalam balok berongga

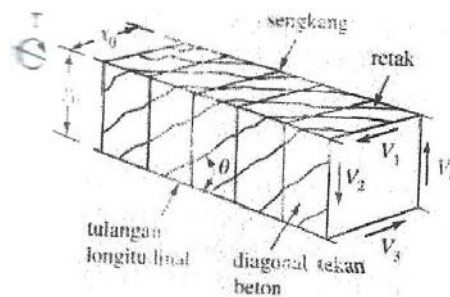
Tegangan torsi mendekati pusat balok pejal sangat rendah. Oleh karenanya, balok berongga diasumsikan mempunyai kekuatan torsi yang hampir sama seperti balok pejal dengan dimensi luar yang sama (Jack C. McCormac, 2004).

Dalam penampang pejal, tegangan geser akibat torsi T_u terkonsentrasi pada “tube” luar dari batang, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.9 (a), sedangkan tegangan geser akibat V_u tersebar sepanjang lebar penampang solid, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.9 (b). Akibatnya, kedua jenis tegangan geser akibat geser dan torsi dikombinasikan dengan rumus akar pangkat dua yang ditunjukkan dalam subbab berikutnya.



Gambar 2.9: Tegangan torsi dan geser dalam balok pejal

Setelah retak, ketahanan beton terhadap torsi diasumsikan untuk diabaikan. Retak torsi cenderung membentuk spiral di sekeliling batang membentuk sudut sekitar 45° dengan sumbu longitudinal batang. Torsi diasumsikan ditahan oleh rangka batang ruang efektif yang terletak di luar "tube" dari batang beton. Rangka ini diperlihatkan pada Gambar 2.11. Tulangan longitudinal di sudut batang dan sengkang transversal tertutup bekerja sebagai batang tarik dalam "rangka" tersebut, sedangkan beton diagonal di antara sengkang yang bekerja sebagai batang tekan. Beton yang retak masih mampu memikul tegangan tekan (Jack C. McCormac, 2004).



Gambar 2.10: Rangka batang ruang fiktif

2.8 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. 2.5 berikut.

$$F = m.a \quad (2.5)$$

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.

2.9 Perhitungan Beban Gempa

2.9.1 Faktor Keutamaan Dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 1 SNI 1727:2012 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1: Kategori risiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1727:2012.

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

Tabel 2.1: *Lanjutan.*

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<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 • Fasilitas penitipan anak • Penjara 	III
<p>Bangunan untuk orang jompo</p> <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 	III
<p>Gedung dan struktur lainnya yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bangunan-bangunan monumental • Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan • Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat 	IV

Tabel 2.1: *Lanjutan.*

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung dan struktur lainnya yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai dan tempat perlindungan darurat lainnya • Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat • Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat • Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. 	IV

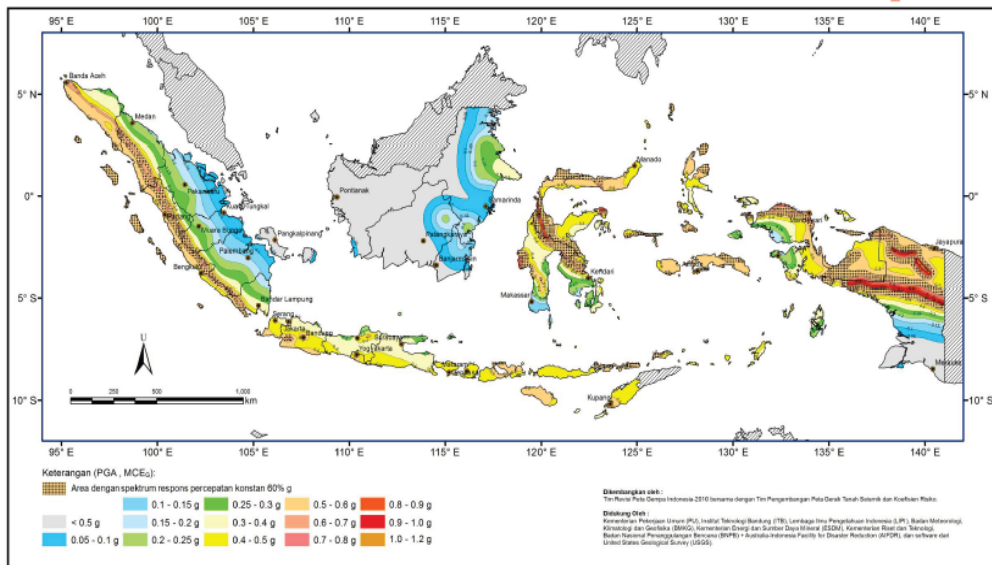
Tabel 2.2: Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726:2012.

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

2.9.2 Faktor Respon Gempa (C)

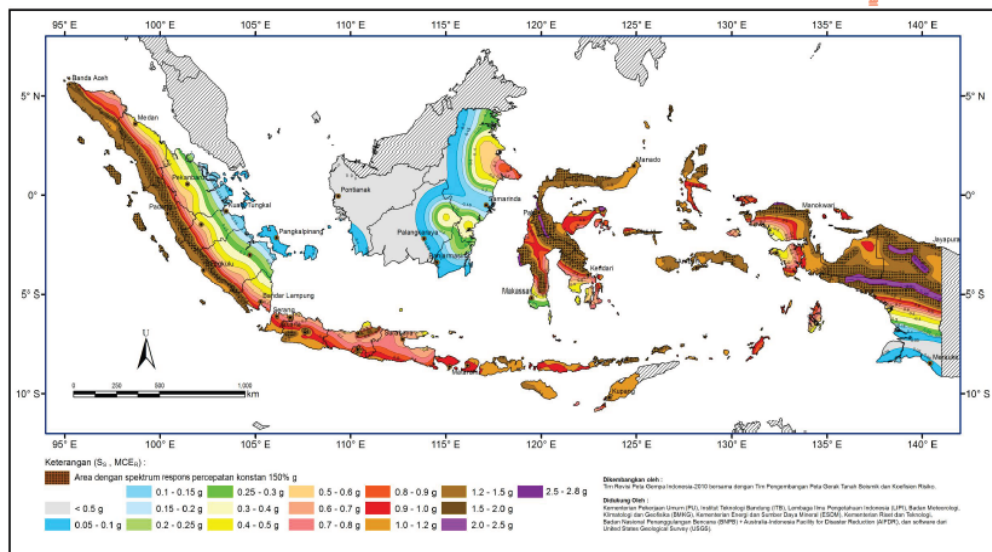
Berdasarkan SNI 1726:2012, didapat peta periode ulang 2500 tahun disajikan pada gambar 2.12. sampai 2.14. dan cara mendapatkan respon spektranya.

SNI 1726:2012

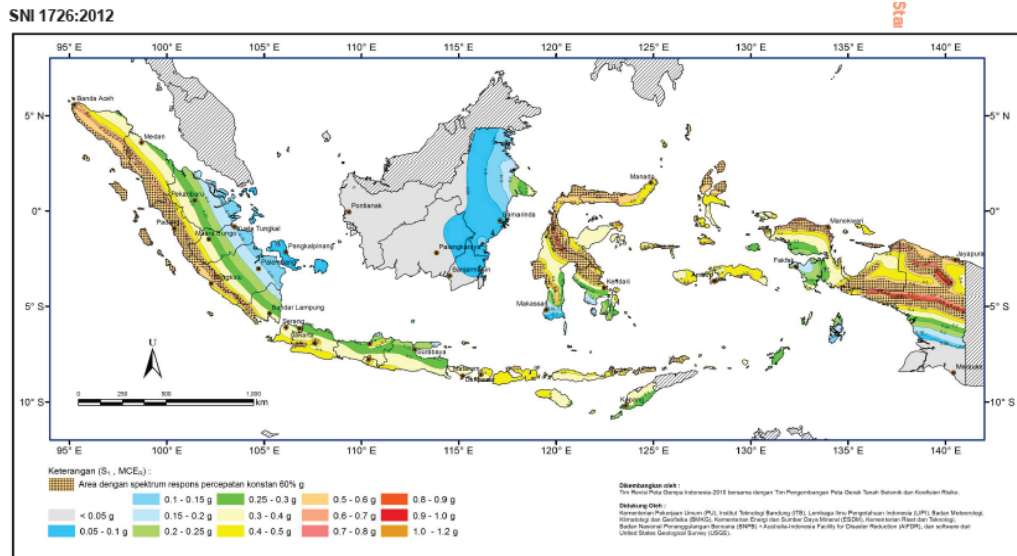


Gambar 2.11: Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012).

SNI 1726:2012



Gambar 2.12: 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).



Gambar 2.13: 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 2.3, 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 2.3.

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 2.3: Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2012.

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kP		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti pasal 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> • Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah • Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) • Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plasitisitas $PI > 75$) • Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$m dengan $S_u < 50$ kPa 		

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

terlampau 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5%. Besarnya F_{PGA} tergantung dari klasifikasi situs yang didasarkan pada Tabel 2.6 dan nilainya ditentukan sesuai Tabel 2.4.

Tabel 2.4: 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 Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Keterangan:

PGA = Nilai PGA di batuan dasar SE mengacu pada peta gempa SNI 1726:2012 (Gambar 2.11).

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

Percepatan tanah puncak dapat diperoleh dengan menggunakan Pers. 2.6.

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \quad (2.6)$$

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. 2.7. da 2.8. :

$$S_{Ms} = F_a \cdot S_s \quad (2.7)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.8)$$

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 2.5. dan 2.6. memberikan nilai-nilai F_a dan F_v untuk berbagai klasifikasi situs.

Tabel 2.5: 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
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 2.6: 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. 2.9. dan 2.10.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.9)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.10)$$

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 2.15. dan mengikuti ketentuan berikut:

1. Untuk periode lebih kecil dari T_0 , respon spektra percepatan, S_a didapatkan dari Pers. 2.11.

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.11)$$

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. 2.12.

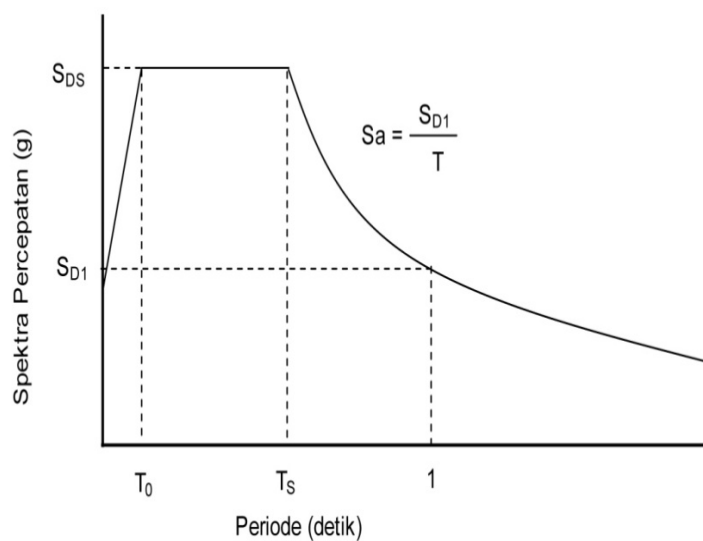
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.12)$$

Dimana:

Untuk nilai T_0 dan T_s dapat ditentukan dengan Pers. 2.13 dan 2.14.

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.13)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.14)$$



Gambar 2.14: Bentuk tipikal spektrum respon disain di permukaan tanah (SNI 1726:2012).

2.9.3 Kategori Disain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori disain seismik yang mengikuti syarat-syarat pada Tabel 2.7 dan Tabel 2.8 sebagai berikut :

Tabel 2.7: 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 2.8: 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 2.9. Sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 2.9 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya disain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat disain.

Tabel 2.9: 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 perembesan 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 beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5/2	TB	TB	TB	TB	TB

2.9.4 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

- E_Y = 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. 2.15.

$$E = E_h + E_v \quad (2.15)$$

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (5) dan (6), E harus didefinisikan sesuai dengan Pers. 2.16.

$$E = E_h - E_v \quad (2.16)$$

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. 2.17.

$$E_h = \rho \cdot Q_E \quad (2.17)$$

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. 2.18.

$$E_v = 0,2 S_{DS} DL \quad (2.18)$$

Dimana:

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

2.9.5 Faktor Redudansi

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

- 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. 2.19.

$$F_{px} = 0,2 S_{DS} \cdot I_{ex} \cdot W_{px} \quad (2.19)$$

Dan F_{px} tidak boleh kurang dari Pers. 2.20.

$$F_{px} = 0,4 S_{DS} \cdot I_{ex} \cdot W_{px} \quad (2.20)$$

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 2.10: 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 ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal 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 ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal tipe b)
Lainnya	Tidak ada persyaratan

- 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 2.10.
 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.

2.9.6 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.

2.10 Analisis Gaya Lateral Ekuivalen

2.10.1 Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2012, geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan Pers. 2.21.

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

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 2.22.

$$C_s = \frac{Sds}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.22)$$

Nilai C_s maksimum di atas tidak perlu melebihi nilai C_s hasil hitungan pada Pers 2.23.

2. C_s hasil hitungan

$$C_s = \frac{S_{d1}}{T \left(\frac{R}{I} \right)} \quad (2.23)$$

C_s hasil hitungan harus tidak kurang dari C_s minimum pada Pers 2.24.

3. C_s minimum

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

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 2.25:

$$C_s = \frac{0,5 \cdot S_1}{\frac{R}{I}} \quad (2.25)$$

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.

2.10.2 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. 2.26.

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

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 2.11.

x = Ditentukan dari Tabel 2.11.

Tabel 2.11: 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 dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan beresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua strukur lainnya	0,0488	0,75

2. Perioda fundamental pendekatan maksimum (T_a maksimum) ditentukan dari Pers. 2.27.

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

Dimana:

T_a maksimum = Nilai batas atas perioda bangunan

C_u = Ditentukan dari Tabel 2.12.

Tabel 2.12: Koefisien untuk batas atas pada perioda 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

2.10.3 Ketentuan Untuk Analisis Respon Dinamik

Berdasarkan Studi Kompirasi 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 Kuadratik 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. 2.28. berikut :

$$V_t = 0,85 V_1 \quad (2.28)$$

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. 2.29.

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,85 V_t}{v_t} \leq 1 \quad (2.29)$$

Dimana:

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

V_1 = Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekuivalen.

2.10.4 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.3. gaya gempa lateral (F_1) yang timbul disemua tingkat harus ditentukan dari Pers. 2.30 dan 2.31.

Dimana :

$$F_i = C_{vx} \cdot V \quad (2.30)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.31)$$

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 ditempatkan 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.

2.10.5 Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012, geser tingkat disain gempa disemua tingkat (V_x) harus ditentukan dari Pers. 2.32.

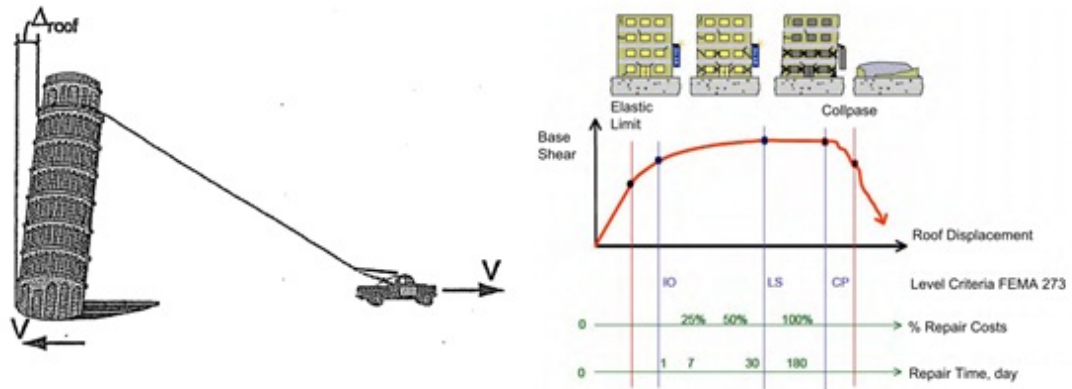
$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2.32)$$

Dimana:

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

2.11 Analisa Menggunakan Metode *Pushover*

Mengenai tentang analisa puhover 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 2.16.



Gambar 2.16: 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 $P-\Delta$.

2.12 Analisa Menggunakan Metode Respon Riwayat Waktu

Gerakan tanah akibat gempa bumi umumnya direkam pada permukaan tanah bebas. Di dalam analisis dan desain struktur tahan gempa penentuan beban rencana yang bekerja pada struktur serta mengetahui periode dasar tanah yang bersesuaian dengan respon maksimum yang terjadi merupakan masalah yang penting. Atas dasar kondisi geologi dan riwayat gempa yang terjadi pada tiap-tiap gempa tersebut, kemudian ditetapkan besar-kecilnya percepatan tanah maksimum akibat gempa yang mungkin terjadi. Berdasarkan besar-kecilnya percepatan tanah akibat gempa tersebut, maka negara membuat perangkat yakni Spektrum Respons. Analisis yang dapat dilakukan untuk mendapatkan parameter ini adalah dengan menggunakan analisis respons spektrum.

Respon Spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur, lawan respons-respons maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Ada dua tahapan yang harus dilakukan untuk mendapatkan kurva respons spektrum di suatu lokasi yang ditinjau (*Site Specific Responce Spectrum*) :

1. Pertama, Tahapan analisis resiko gempa yaitu penentuan besarnya beban gempa yang akan dipergunakan sebagai parameter input pergerakan di batuan dasar dikaitkan dengan resiko terjadinya suatu intensitas gempa di tempat tersebut dan periode ulang dari gempa yang bersangkutan serta kriteria perancangan atau masa guna (*Design Lifetime*) struktur yang akan dibangun.
2. Tahapan untuk mendapatkan respon dinamik tanah akibat gempa dengan mempertimbangkan pengaruh lapisan deposit tanah di atas batuan dasar, dalam hal ini pengaruh geometri dan sifat-sifat dinamik tanah.

Mengingat pada kisaran waktu getar alami pendek $0 \leq T \leq 0.2$ detik terdapat ketidakpastian, baik dalam karakteristik gerakan tanah maupun dalam tingkat daktilitas struktur. Faktor Respon Gempa (C) menurut Spektrum Respons Gempa Rencana dinyatakan dalam percepatan Gravitasi (g) dan T adalah waktu getar alami struktur gedung (detik). Untuk $T = 0$ nilai C tersebut sama dengan A_0 , dimana A_0

adalah percepatan puncak muka tanah. Dengan menetapkan percepatan respon maksimum (A_m) seperti pers 2.33.

$$A_m = 2.5 A_o \quad (2.33)$$

Untuk waktu getar alami sudut T_c (tanah keras: 0.5 detik; tanah sedang: 0.6; tanah lunak: 1.0) seperti di Tabel 2.13 dan faktor respons gempa C ditentukan dengan persamaan 2.34 dan 2.35 berikut:

Untuk $T \leq C$

$$C = A_m \quad (2.34)$$

Untuk $T > T_c$

$$C = \frac{A_r}{T}, \text{ dengan } A_r = A_m T_c \quad (2.35)$$

Tabel 2.13: Spektrum respon gempa rencana (Sumber: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung (SNI 1726:2012))

Wilayah gempa	Tanah keras $T_c = 0.5$ det		Tanah sedang $T_c = 0.6$ det		Tanah lunak $T_c = 1.0$ det	
	A_m	A_r	A_m	A_r	A_m	A_r
1	0.10	0.05	0.13	0.08	0.20	0.20
2	0.30	0.15	0.38	0.23	0.50	0.50
3	0.45	0.23	0.55	0.33	0.75	0.75
4	0.60	0.30	0.70	0.42	0.85	0.85
5	0.70	0.35	0.83	0.50	0.90	0.90
6	0.83	0.42	0.90	0.54	0.95	0.95

Faktor respon gempa vertikal C_v dihitung dengan persamaan 2.36.

$$C_v = \Psi A_o I \quad (2.36)$$

Dimana:

C_v = Faktor respon gempa vertical

Ψ = Koefisien Ψ tergantung wilayah gempa (Tabel 2.14)

I = Faktor keutamaan gedung

Tabel 2.14: Koefisien Ψ untuk menghitung faktor respons gempa vertikal C_v (Sumber: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung (SNI 1726:2012))

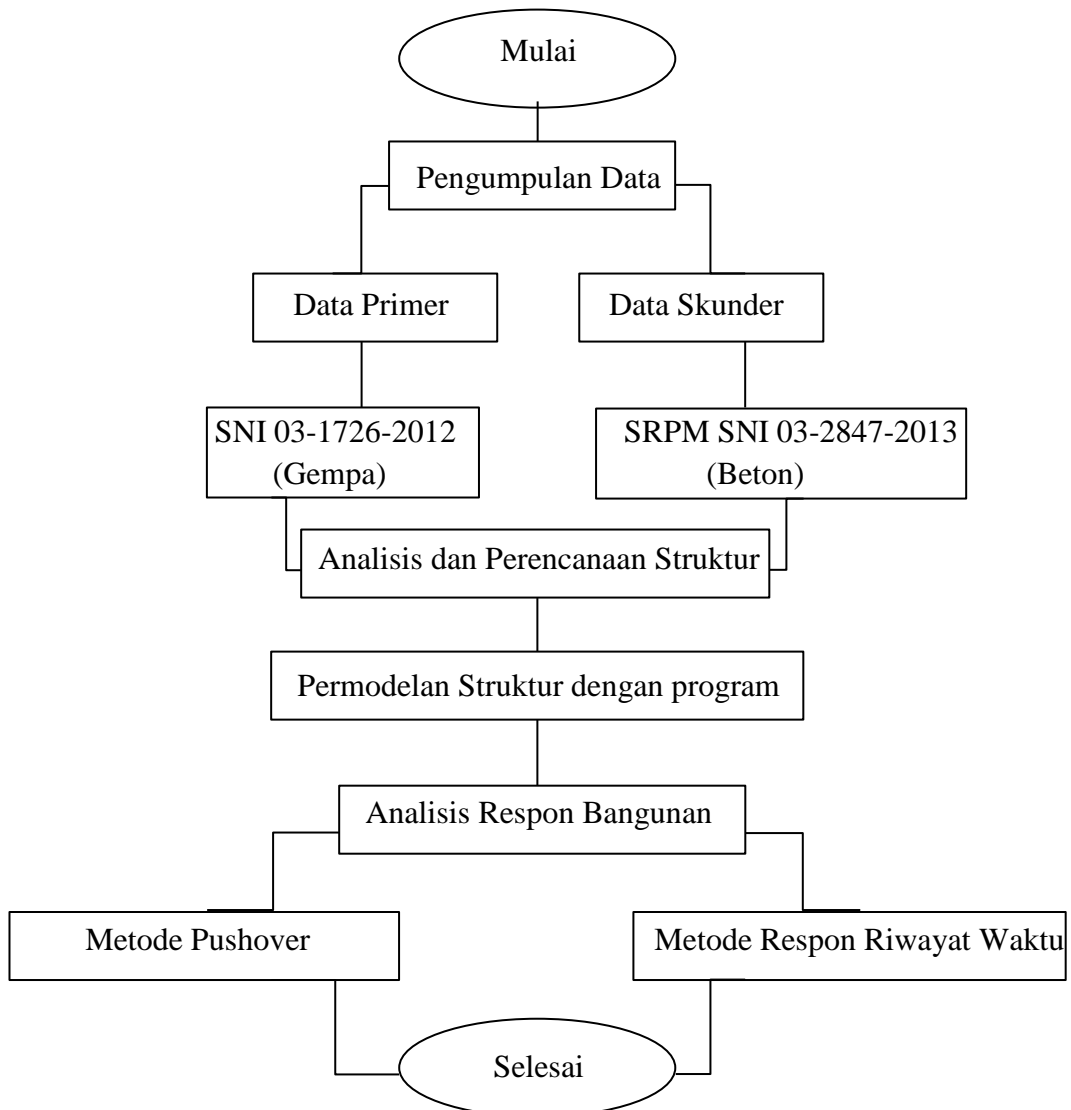
Wilayah gempa	Ψ
1	0.5
2	0.5
3	0.5
4	0.6
5	0.7
6	0.8

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi

Metodologi dalam penelitian struktur gedung dengan fungsi sebagai gedung sekolah di wilayah Padang ini terdiri dari dua metode analisis, yaitu metode analisis pushover dan metode respon riwayat waktu 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 Sekolah
Jenis Struktur	: Gedung struktur beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK)
Jumlah lantai	: 4 Tingkat
Tinggi lantai dasar	: 4,50 m
Tinggi lantai tipikal	: 4,00 m
Tinggi bangunan keseluruhan	: 16,5 m
Tebal pelat	: 0,12 m
Struktur atap	: Pelat beton
Struktur bangunan	: Beton bertulang
• Mutu beton	: 30 MPa
• Tulangan	:
○ Mutu tulangan lentur (f_u)	: 550 MPa
• Tulangan Sengkang	:
○ Mutu tulangan lentur (f_u)	: 390 MPa
Kategori bentuk bangunan	: Beraturan

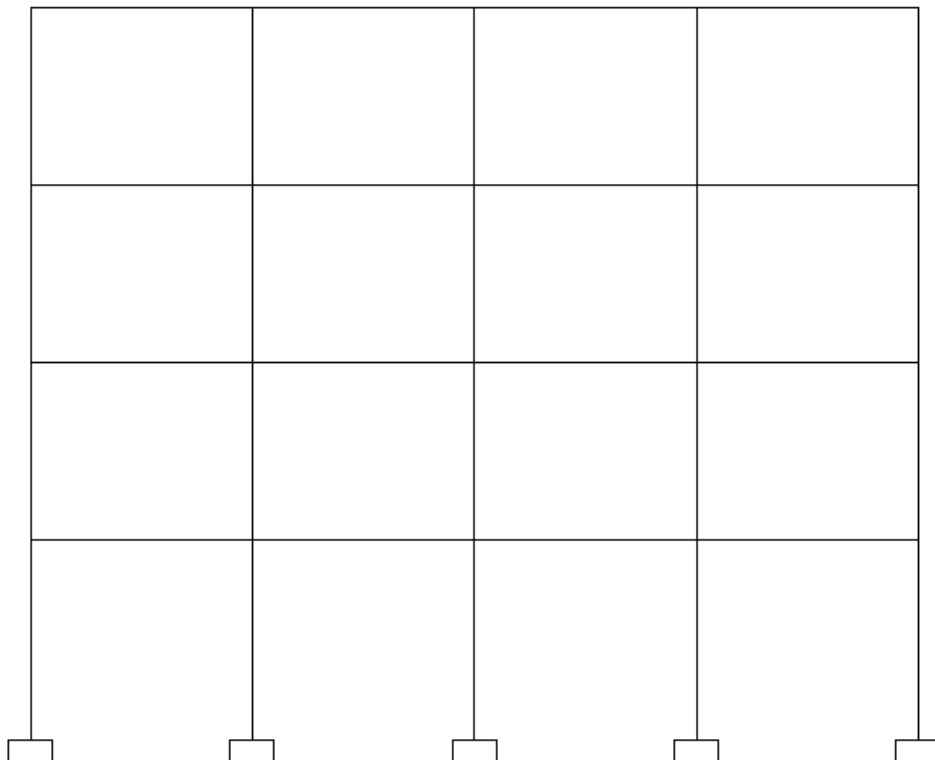
Tahap awal dari penelitian ini adalah mempelajari literatur-literatur yang berkaitan dengan penelitian. Studi literatur dilakukan untuk menganalisa ragam gempa dengan metode *pushover*. Setelah desain pemodelan struktur dilakukan kemudian dilanjutkan dengan memberi beban gaya horizontal (*pushover*)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

Model terdiri dari 4 lantai dengan 4 bentang seperti Gambar 3.2. Tinggi untuk lantai pertama pada kedua model adalah 4.50 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 sekolah. Untuk *preliminary design* ditetapkan dimensi balok 60 x 30 cm, kolom 60 x 60 cm, dan tebal plat lantai dan atap 12 cm.

Gedung sekolah yang dimaksud disini merupakan struktur beton bertulang. Elemen kolom dan balok dimodelkan sebagai *frame* dan pelat dimodelkan sebagai *membrane*.



Gambar 3.2: Pemodelan gedung SRPM

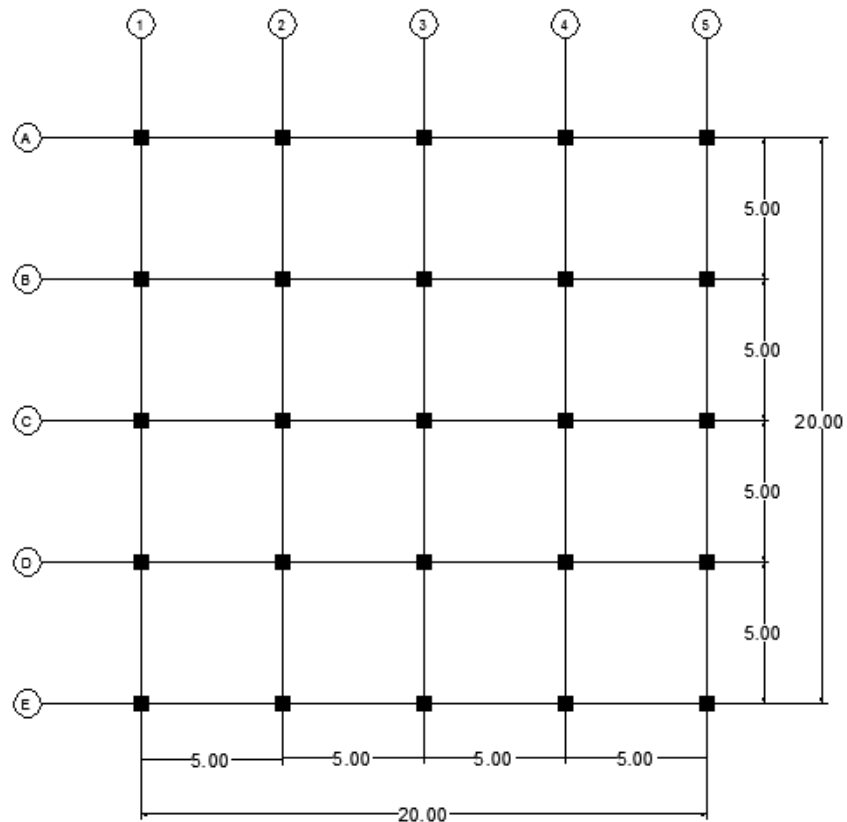
3.3.1 Konfigurasi Struktur

Pemodelan struktur dilakukan dengan program SAP 2000 di mana dimensi elemen-elemen struktur diasumsikan seperti Tabel 3.1 dibawah ini :

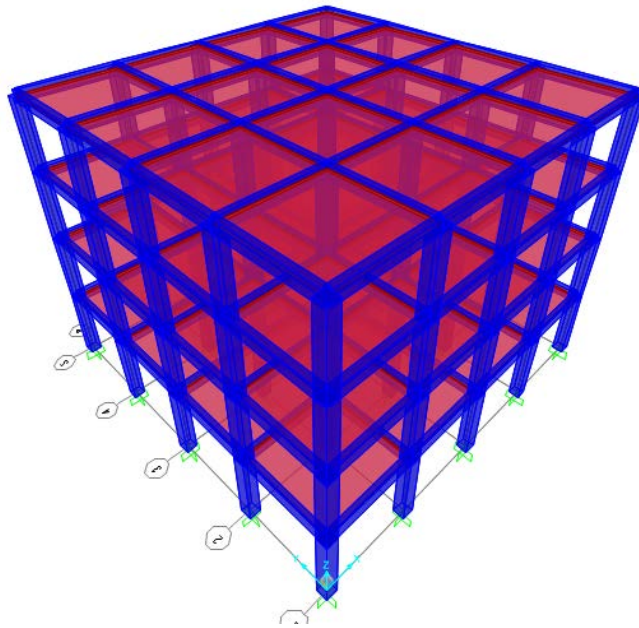
Tabel 3.1: Konfigurasi struktur

Jumah Tingkat	4 Tingkat
Tinggi Bangunan	16.5 m
Tinggi Lantai Dasar	4.5 m
Tinggi Antar Lantai	4.0 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 struktur



Gambar 3.4 Pemodelan 3D portal terbuka

3.3.2 Karakteristik Material

Gedung yang direncanakan merupakan struktur beton bertulang. Untuk kolom, balok, dan pelat digunakan material beton dengan $f'c = 30$ MPa. Untuk tulangan lentur digunakan baja dengan mutu 400 MPa dan tulangan geser dengan mutu 550 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 3.2 dibawah:

Tabel 3.2: Dimensi elemen struktur

Elemen	Ukuran
Balok	60 cm × 30 cm
Kolom	60 cm × 60 cm
Tebal Pelat Lantai	12 cm
Tebal Pelat Atap	12 cm

3.4 Pembebanan

Berdasarkan sub SNI 1727 2013 diperoleh data beban hidup seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Beban hidup pada lantai gedung.

Hunian atau Penggunaan	Beban Merata (kg/m ²)
Gedung perkantoran	
Ruang arsip dan computer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian	
Lobi dan koridor lantai pertama	479
kantor	240
koridor diatas lantai pertama	383
Tangga dan jalan keluar	479
Atap datar	96

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

$$L = L_o \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{K_{LLAT}}} \right)$$
$$L = L_o \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{4 \times 400}} \right) \quad (3.1)$$
$$L = 0.36L_o$$

Berat sendiri komponen struktur sudah dihitung secara otomatis oleh program berdasarkan input data dimensi dan karakteristik material yang direncanakan. Sedangkan untuk beban mati tambahan berdasarkan PPPURG 1987 Pasal 2.1.1 diperoleh data seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4: 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
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

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

b) Untuk lantai atap:

Beban mati tambahan

- Spesi (tebal 3cm) = 63 kg/m²
 - Plafond dan penggantung = 18 kg/m²
 - *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 sekolah, dengan kategori resiko IV dan faktor keutamaan gempa adalah 1,50. Bangunan direncanakan berada dikota Padang.

Penentuan kategori desain seismik dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menentukan nilai spektral percepatan (S_s) dan spektral percepatan (S_1) untuk kota

Padang yang dapat dilihat pada Peta Zonasi Gempa tahun 2012 yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dibawah ini.

Berdasarkan Peta Zonasi Gempa 2012 dan menurut Puskim, maka:

- $PGA = 0.502 \text{ g}$
- $S_s = 1.373 \text{ g}$
- $S_1 = 0.6 \text{ g}$

Untuk kategori resiko bangunan adalah IV dan faktor keutamaan gempa I_e adalah 1,50. 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 3.5.

Tabel 3.5: Interpolasi koefisien situs, F_a dan F_v (SNI 1726:2012).

Koefisien situs F_a dan F_v , untuk kota Padang		
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_{M1}).

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

$$S_{MS} = 0,9 \times 1,373 = 1,236$$

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

$$S_{M1} = 2,4 \times 0,6 = 1,440$$

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

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

$$S_{D1} = \mu \times S_{M1}$$

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 3.6: Nilai S_{DS} dan S_{D1} untuk kota Padang.

Nilai S_{DS} , dan S_{D1} untuk kota Padang		
Kelas situs	$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS}$	$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1}$
SE – tanah lunak	$2/3 \times 1,236 = 0,82$	$2/3 \times 1,440 = 0,960$

Tabel 3.7: 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 3.8: 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 3.6 – 3.8 diatas untuk penentuan kategori desain seismik untuk kota Padang adalah kategori desain seismik D.

4) Penentuan nilai T_0 dan T_s

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{0,960}{0,820} = 1,017$$

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

$$T_0 = 0,2 \times 1,017 = 0.203$$

5) Penentuan nilai S_a

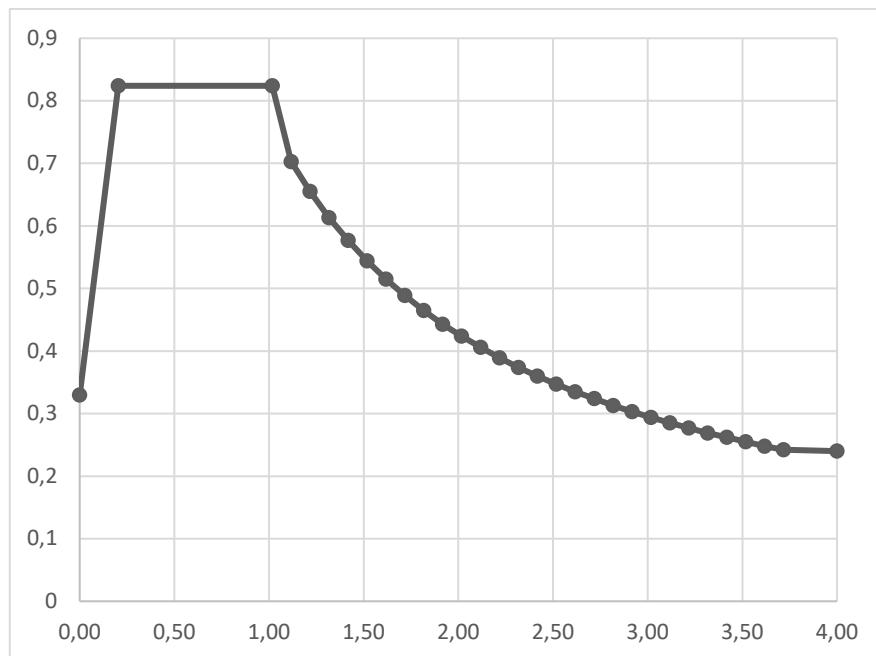
- Untuk periode lebih kecil dari T_0 , respon spektrum percepatan desain (S_a) diperoleh dari persamaan berikut:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.2)$$

- 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}

- Untuk periode yang lebih besar dari T_s , spektrum respon percepatan desain (S_a) diperoleh dari persamaan berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.3)$$



Gambar 3.5: Kurva respons spektrum kota Padang dengan kondisi tanah lunak

Nilai yang dimasukkan ke program untuk *Define Response Spektrum Function* adalah nilai yang ada pada Tabel 3.9 dengan cara *copy data* dan *paste* ke program.

Tabel 3.9: Data spektrum respon berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Padang untuk tanah lunak.

No	Periode		Spectral Acceleration	
	T(dt)		C (g)	
1	T _{awal}	0.000	(0.4*S _{ds})	0.330
2	T ₀	0.203	SDS	0.824
3	T _s	1.017	SDS	0.824
3	T _n	1.117	S _a =SD1/T	0.703
4		1.217		0.655
5		1.317		0.613
6		1.417		0.577
7		1.517		0.544
8		1.617		0.515
9		1.717		0.489
10		1.817		0.465
11		1.917		0.443
12		2.017		0.424
13		2.117		0.406
14		2.217		0.389
15		2.317		0.374
16		2.417		0.360
17		2.517		0.347
18		2.617		0.335
19		2.717		0.324
20		2.817		0.313
21		2.917		0.303
22		3.017		0.294
23		3.117		0.285
24		3.217		0.277
25		3.317		0.269
26		3.417		0.262
27		3.517		0.255
28		3.617		0.248
29		3.717		0.242
30		4.000		0.240

Nilai spektrum respon tersebut dikalikan dengan faktor skala yang besarnya ditentukan dengan persamaan 3.4 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor skala} &= \frac{I}{R} \times g & (3.4) \\
 &= 1.50/8 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 1.839375
 \end{aligned}$$

3.6 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah kombinasi pembebanan metode ultimit. Untuk struktur dengan kategori desain seismik D, $\rho = 1.3$ dan $S_{DS} = 0.824$. Adapun kombinasi pembebanan yang digunakan adalah pada tabel 3.10:

Tabel 3.10: Tabel kombinasi pembebanan untuk $\rho = 1.3$ dan $S_{DS} = 0.824$.

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 kolom dan balok sebagai berikut:

1. Pada hasil pushover awal, hal pertama adalah menentukan titik leleh awal dan titik leleh puncak untuk melemahkan batang kolom dan balok.
2. Membandingkan momen SF pada sendi plastis dengan momen 3-3 pada bangunan.
3. Jika momen SF pada sendi plastis lebih kecil daripada momen pada bangunan maka batang pada balok dan kolom dilemahkan jika lebih besar maka tidak dilemahkan.
4. Langkah selanjutnya memilih batang dilemahkan dan menggunakan *property modifier* pada program lalu menurunkan kekuatan awal sebanyak 10%.

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

3.1 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 riwayat waktu

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 lantai.

3.2 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 dapat dilihat dari Tabel 4.1.

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

<i>Group</i>	<i>SelfMass</i>	<i>SelfWeight</i>	<i>TotalMass</i> X	<i>TotalMass</i> Y	<i>TotalMass</i> Z
ALL	117,471.32	1,152,000.00	117,471.32	117,471.32	117,471.32
Lantai 1	29,367.83	288,000.00	29,367.83	29,367.83	29,367.83
Lantai 2	29,367.83	288,000.00	29,367.83	29,367.83	29,367.83
Lantai 3	29,367.83	288,000.00	29,367.83	29,367.83	29,367.83
Lantai 4	27,409.97	268,800.00	27,409.97	27,409.97	27,409.97

3.3 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	Beban Hidup	Total Beban (Wt)
1	288,000	297,600	36,000	621,600
2	288,000	297,600	36,000	621,600
3	288,000	297,600	36,000	621,600
4	268,800	120,665	16,000	405,465
Total				2,270,265

3.4 Penentuan Periode Alami Struktur (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	0.457281	0.136	0.697
2	0.457281	0.833	0.833
3	0.416911	0.833	0.833
4	0.141938	0.834	0.943
5	0.141938	0.945	0.945
6	0.129948	0.945	0.945
7	0.077791	0.977	0.954
8	0.077791	0.987	0.987
9	0.071649	0.987	0.987
10	0.054484	0.997	0.99
11	0.054484	1	1
12	0.050297	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.

<i>Mode</i>	<i>Persentase (%)</i>	<i>CQC < 15%</i>	<i>SRSS > 15%</i>
T1-T2	0.0	OK	NO OK
T2-T3	8.83	OK	NO OK
T3-T4	65.95	NO OK	OK
T4-T5	0.00	OK	NO OK
T5-T6	8.45	OK	NO OK
T6-T7	40.14	NO OK	OK
T7-T8	0.00	OK	NO OK
T8-T9	7.90	OK	NO OK
T9-T10	23.96	NO OK	OK
T10-T12	0.00	OK	NO OK
T11-T12	7.68	OK	NO OK

3.5 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.

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

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

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 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

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	0.560	0.548	OK
Y	0.400	0.560	0.548	OK

3.6 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. 4.4 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 Tambahan - 0.5*S1/(R/I)	CS Yg digunakan
T1	0.275	0.584	0.100	0.100	0.275
T2	0.275	0.584	0.100	0.100	0.275

Dari Tabel 4.7 diatas telah disepakatn 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)
2270265.00	624322.88	624322.88

3.7 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. Pada sub bab 2.9, 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 0.548 ($0,5 < T < 2,5$). Nilai F_i masing-masing arah pada struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel 4.9.

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	621600.00	4.1	2441068.07	84231.47
Lantai 2	621600.00	7.6	4204497.54	145080.34
Lantai 3	621600.00	11.3	6167658.83	212821.17
Lantai 4	405465.00	15.1	5279950.05	182189.90
Total	2270265.00		18093174.49	624322.88

Gaya geser gedung tiap tingkat pada gedung dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10: Gaya geser gedung tiap lantai.

Nilai Fix dan Fiy				
Lantai (i)	Berat per lantai (kg)	Tinggi (m)	Fi (kg)	Story Shear / Vx (kg)
Lantai 4	621600.00	4	84231.47	168462.93
Lantai 3	621600.00	4	145080.34	229311.81
Lantai 2	621600.00	4	212821.17	442132.98
Lantai 1	405465.00	4	182189.90	624322.88
Total	2270265.00	16.00	128115.00	

3.8 Spektrum Respon Ragam

Berdasarkan SNI-1726-2012 pasal 7.3.4, faktor redundansi (ρ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya seismik dalam masing-masing kedua arah orthogonal. SNI-2012 pasal 7.3.4.2 menyebutkan bahwa untuk katagori desain seismik 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	Arah X,Y			Cek 35% V Base Shear
		Story Shear	Base Shear	35% V Base Shear	
	Ke-				

		(V _x) (kg)	(V _x) (kg)	p=1 (kg)	< Story Shear (V _x)
1	4	168462.93	624322.88	218513.01	NOT OK
2	3	229311.81	624322.88	218513.01	OK
3	2	442132.98	624322.88	218513.01	OK
4	1	624322.88	624322.88	218513.01	OK

Dikarenakan pengecekan *story shear* dengan gaya geser dasar dengan nilai redundansi 1 ($\rho=1$) tidak semua OK, maka kita akan cek gaya geser dasar dengan nilai redundansi 1 ($\rho=1.3$) seperti pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12: Pengecekan *story shear* dengan 35% gaya geser dasar redundansi 1.3 ($\rho=1.3$).

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 p=1 (kg)	
1	4	219001.82	624322.88	218513.01	OK
2	3	298105.36	624322.88	218513.01	OK
3	2	574772.87	624322.88	218513.01	OK
4	1	811619.74	624322.88	218513.01	OK

3.9 Gaya Geser Analisis Respon Spektrum

Gaya geser analisis respon spektrum yang telah diproses pada program dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13: Gaya geser respon spektrum stuktur bangunan.

TABLE: Base Reactions			
Struktur perletakan jepit			
OutputCase	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Kg	Kg

GEMPA X	<i>Max</i>	242305	72393.52
GEMPA Y	<i>Max</i>	72393.52	242305

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 = $g \times I / R = 9.81 \times 1.50 / 8 = 1.8394$
- Faktor skala gempa arah y = 30% arah x = 0.5518
- 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.

$$0.85 \frac{V}{V_t} \quad (4.10)$$

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 4.14.

Tabel 4.14: Pengecekan gaya geser respon spektrum.

Struktur perletakan jepit				
Arah	V	V ₁	0.85*V ₁	Cek $V \geq 0.85V_1$
X	242305	624322.88	530674.44	<i>NOT OK</i>
Y	242305	624322.88	530674.44	<i>NOT OK</i>

Pada Tabel 4.14 diatas dapat dilihat bahwa pada struktur perletakan jepit pengecekan tidak sesuai syarat yang dianjurkan sesuai pasal 7.9.4 SNI 1726:2012. Oleh karena itu, untuk memenuhi persyaratan menurut pasal 7.9.4, maka gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh Gempa Rencana sepanjang tinggi struktur gedung analisis ragam spektrum respons dalam suatu arah tertentu, harus dikalikan nilainya dengan suatu Faktor Skala dengan Pers. 4.11.

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

Dengan menggunakan Pers. 4.11, mencari faktor skala untuk memenuhi persyaratan dengan hasil faktor skala sebagai berikut:

1. Gempa X

- $F_x \Rightarrow U1 = (0.85 \times 624322.88) / 242305 = 2.199$
- $F_y \Rightarrow U2 = (0.85 \times 624322.88) / 72393.52 = 7.330$

2. Gempa Y

- $F_x \Rightarrow U1 = (0.85 \times 624322.88) / 72393.52 = 7.330$
- $F_y \Rightarrow U2 = (0.85 \times 624322.88) / 242305 = 2.199$

Dari hasil faktor skala diatas dikalikan dengan faktor skala gempa arah x dan y pada program adapun pengaliannya sebagai berikut:

1. Gempa X

- $F_x \Rightarrow U1 = 2.113 \times 3.27 = 7.191 (\geq 1)$
- $F_y \Rightarrow U2 = 7.043 \times 0.981 = 7.191 (\geq 1)$

2. Gempa Y

- $F_x \Rightarrow U1 = 7.043 \times 0.3679 = 7.191 (\geq 1)$
- $F_y \Rightarrow U2 = 2.113 \times 1.2263 = 7.191 (\geq 1)$

Gempa di arah X dan Y di kalikan dengan faktor skala sehingga didapatkan hasil gaya geser respon spektrum yang berbeda sehingga memenuhi persyaratan yang ditentukan menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.4. Hasil dan pengecekannya dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan 4.16.

Tabel 4.15: Hasil gaya geser respon spektrum setelah dikalikan faktor skala.

TABLE: Base Reactions			
Struktur perletakan jepit			
<i>OutputCase</i>	<i>StepType</i>	<i>GlobalFX</i>	<i>GlobalFY</i>
<i>Text</i>	<i>Text</i>	Kg	Kg
GEMPA X	<i>Max</i>	540906.8	162276.6
GEMPA Y	<i>Max</i>	162276.6	540906.8

Tabel 4.16: Pengecekan gaya geser respon spektrum.

Struktur perletakan jepit				
Arah	V	V ₁	0.85*V ₁	Cek $V \geq 0.85V_1$
X	540906.8	624322.88	530674.44	OK
Y	540906.8	624322.88	530674.44	OK

3.10 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 memiliki 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 digunakan pada program analisa struktur sebagai berikut:

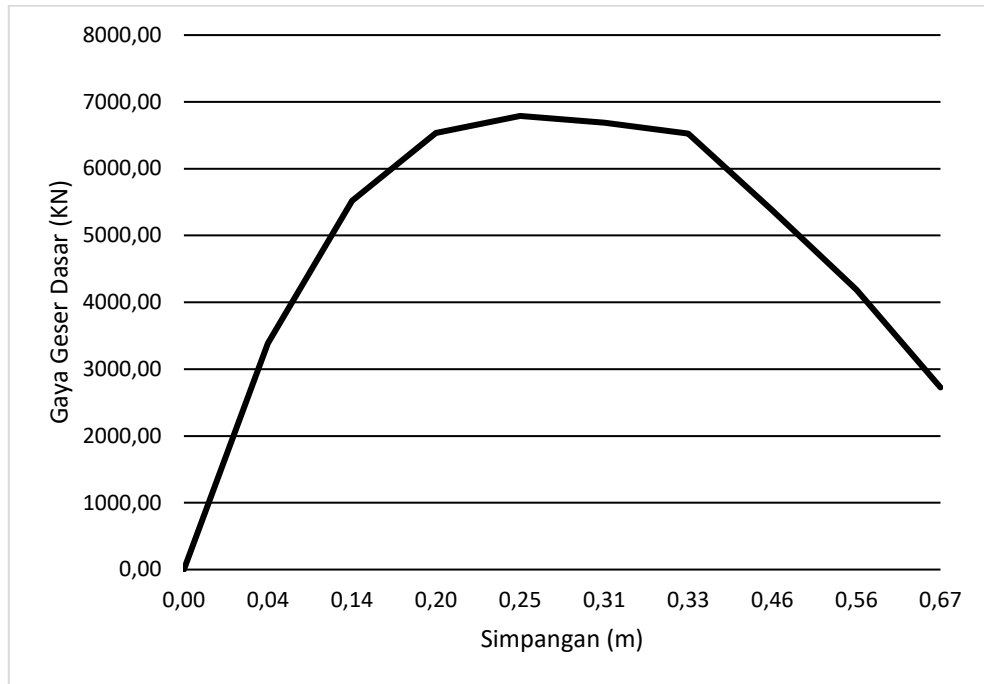
- Dead =Beban dari berat sendiri elemen, seperti balok, pelat dan kolom.
- Super Dead =Beban mati tambahan, seperti elemen plafon + penggantung, lantai keramik, dan lain lain.
- Live =Beban hidup tereduksi.
- Quake x dan y =Beban gempa
- Push =Beban lateral yang yang digunakan untuk analisis pushover.

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.

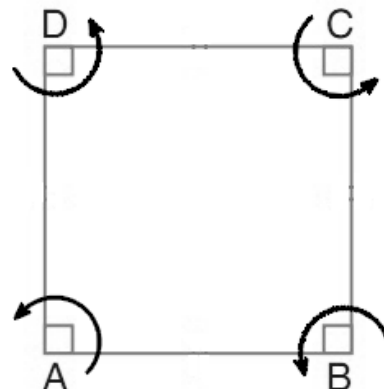
4.10.3 Pembahasan Torsi Pada Lantai Dengan Metode Pushover

Pembahasan torsi pada lantai pada subbab ini untuk mengetahui gaya geser dasar dan rotasi titik pada lantai yang di ketahui setelah batang balok dan kolom dilemahkan. Adapun kurva pushover awal seperti Gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 4.1: Kurva pushover awal

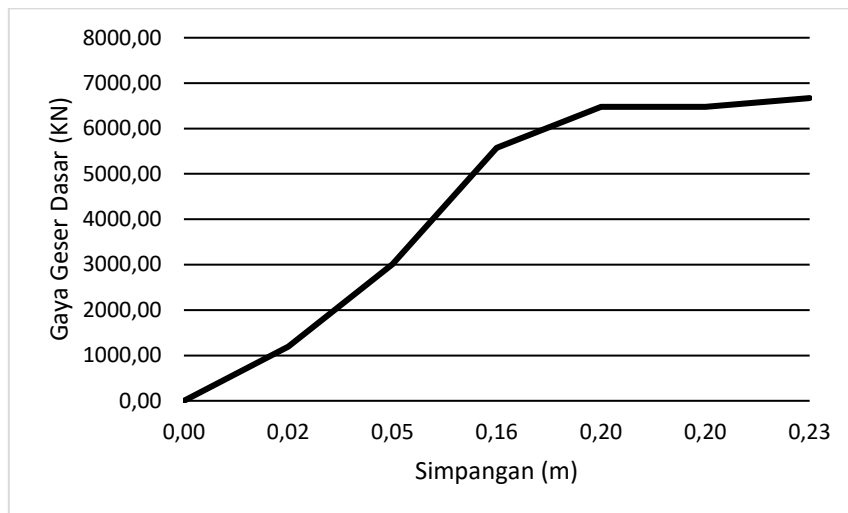
Dari kurva pushover pada gambar diatas diketahui titik leleh awal dan puncak yang akan dilemahkan batang balok dan kolomnya. Setelah dilemahkan, tiap sudut lantai seperti Gambar 4.2 akan dicatat nilainya dan di rangkum menjadi akumulasi grafik batang agar dapat tercapai dimana step yang bakal mengalami torsi yang besar.



Gambar 4.2: Nilai rotasi bangunan

4.10.3.1 Torsi Pada Lantai Untuk Kondisi Leleh Awal

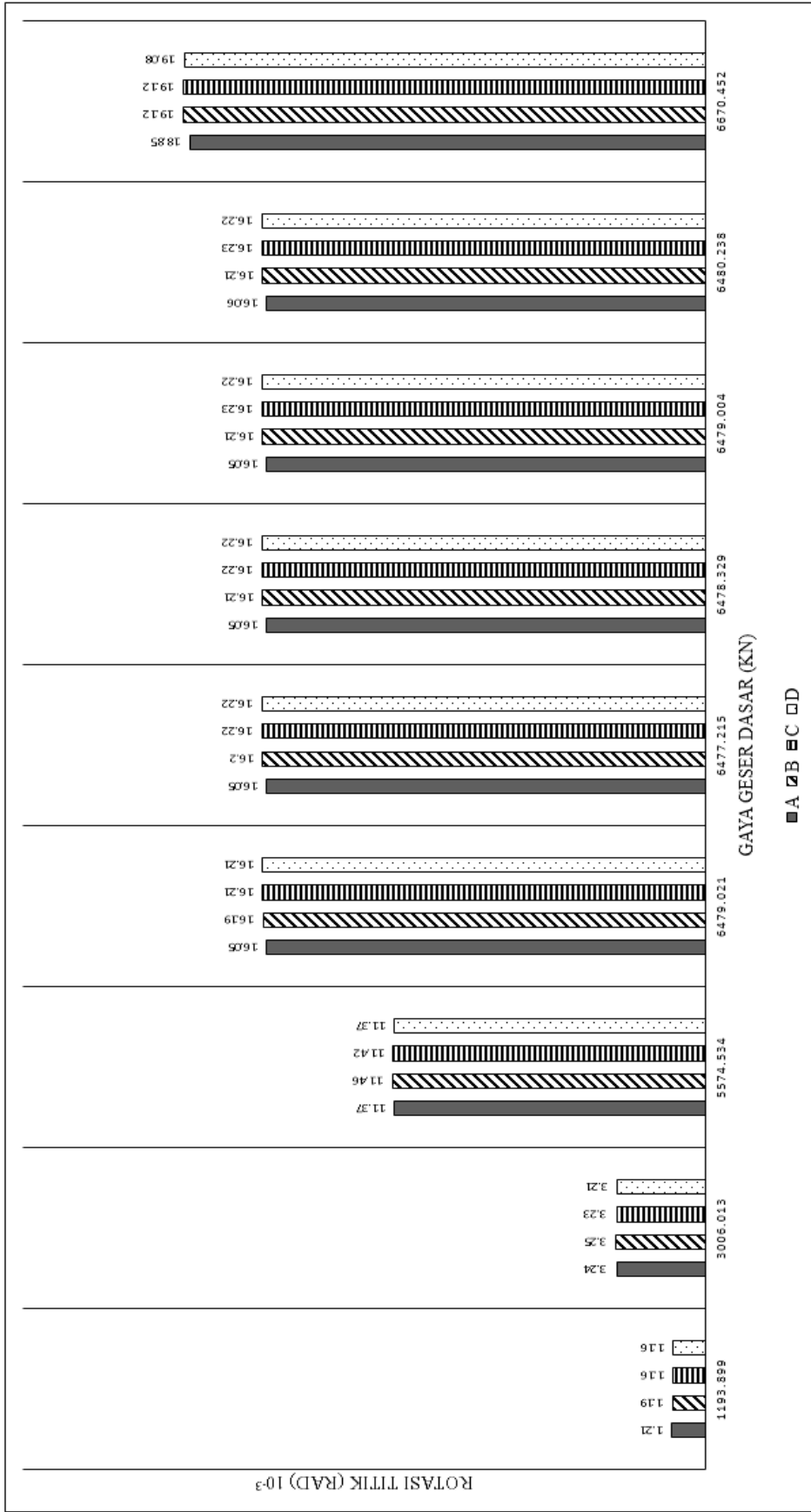
Kurva pushover pada Gambar 4.3 menunjukkan perubahan setelah sebahagian balok di lemahkan.



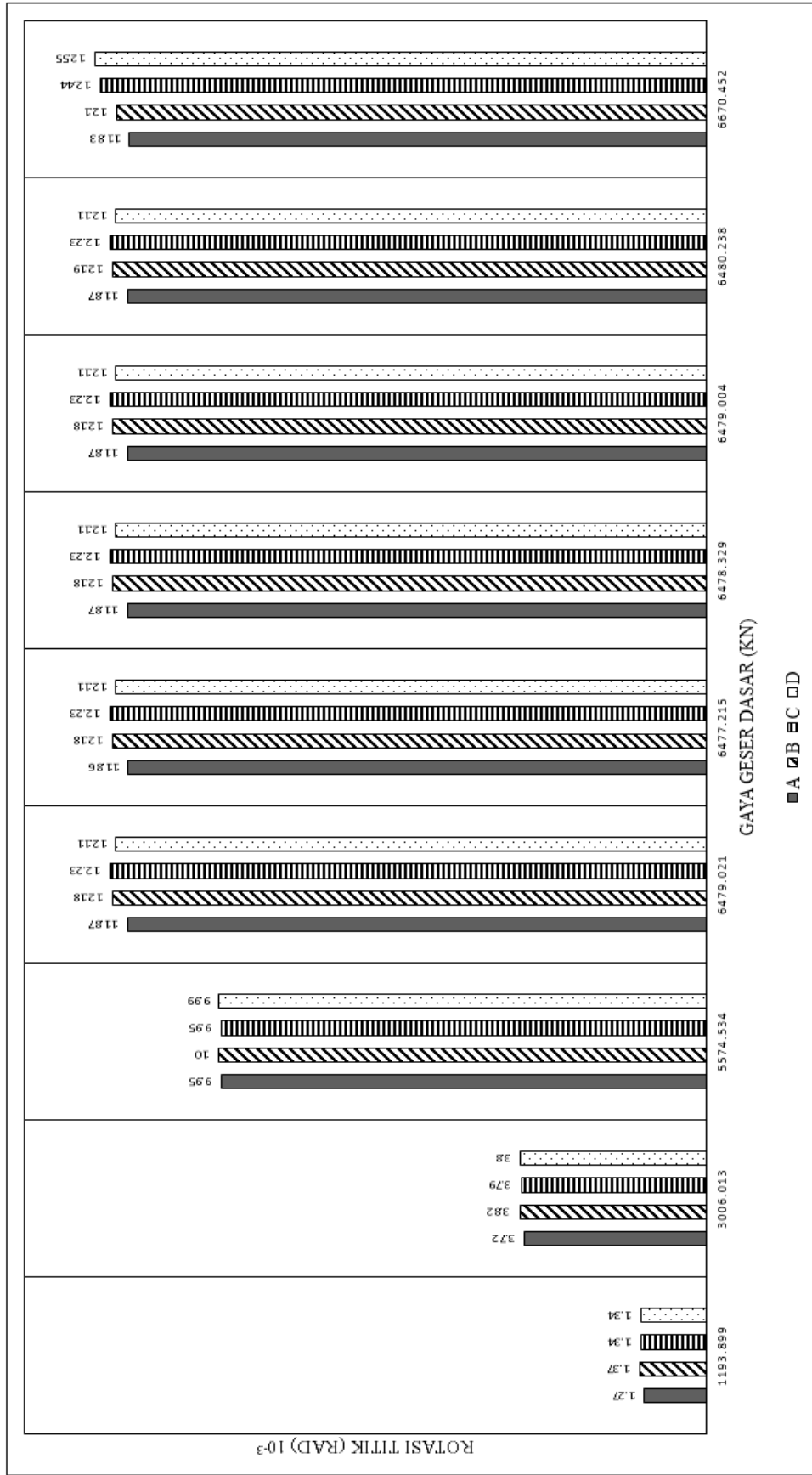
Gambar 4.3: Kurva pushover struktur setelah perlemahan pada balok (mengacu kepada kondisi leleh awal pada kurva pushover awal)

Di titik leleh awal, gaya geser pada bangunan tidak mencapai 1 m sudah rubuh seperti di gambarkan kurva pushover di atas, dikarenakan disetiap lantai hanya sebagian balok yang di lemahkan mempergaruhi kekuatan bangunan tersebut.

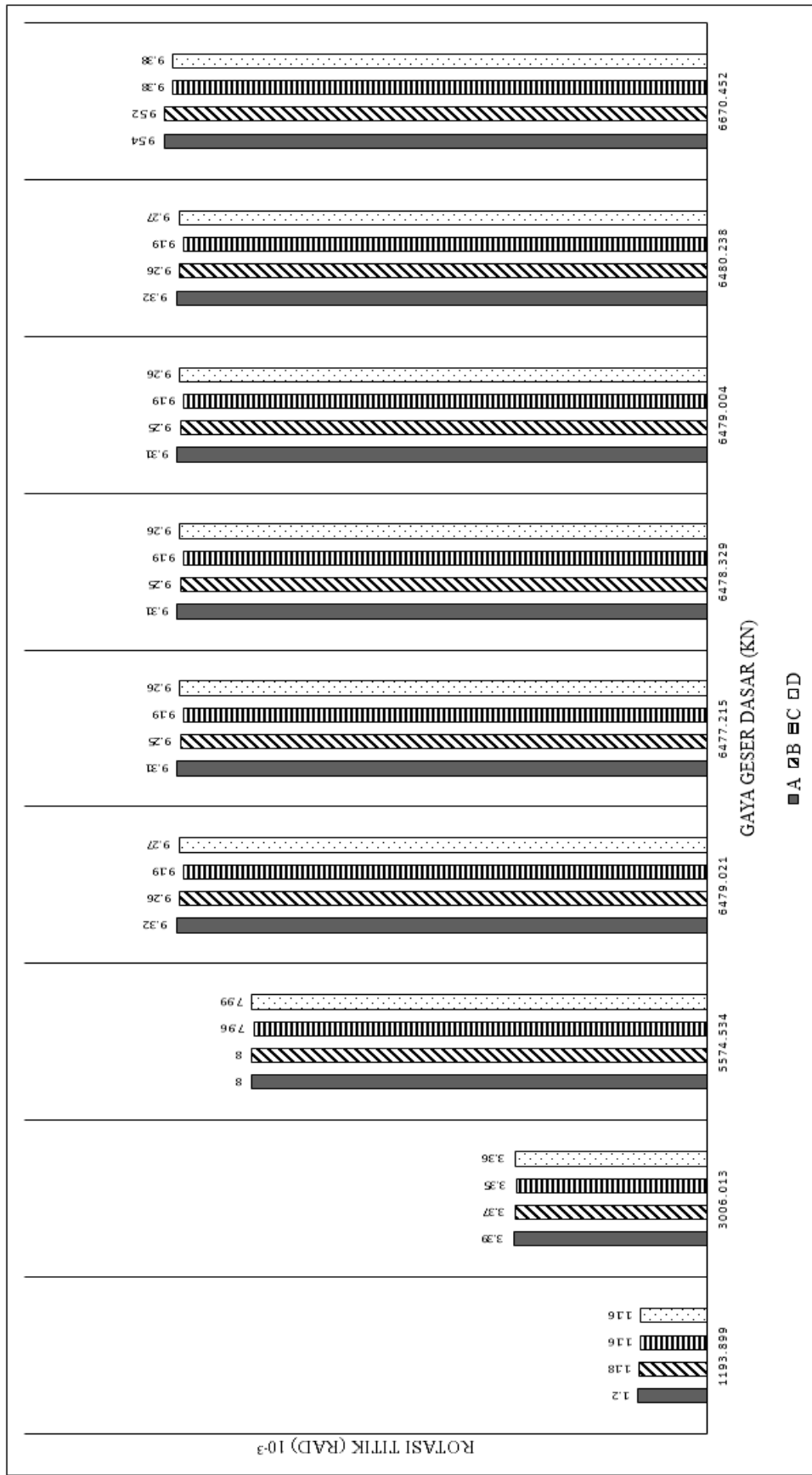
Untuk torsi pada lantai, torsi ini sama halnya seperti rotasi pada lantai. Setelah dicari nilai tiap sudutnya, terbentuk pola rotasi pada bangunan seperti pada Gambar 4.4 – 4.7.



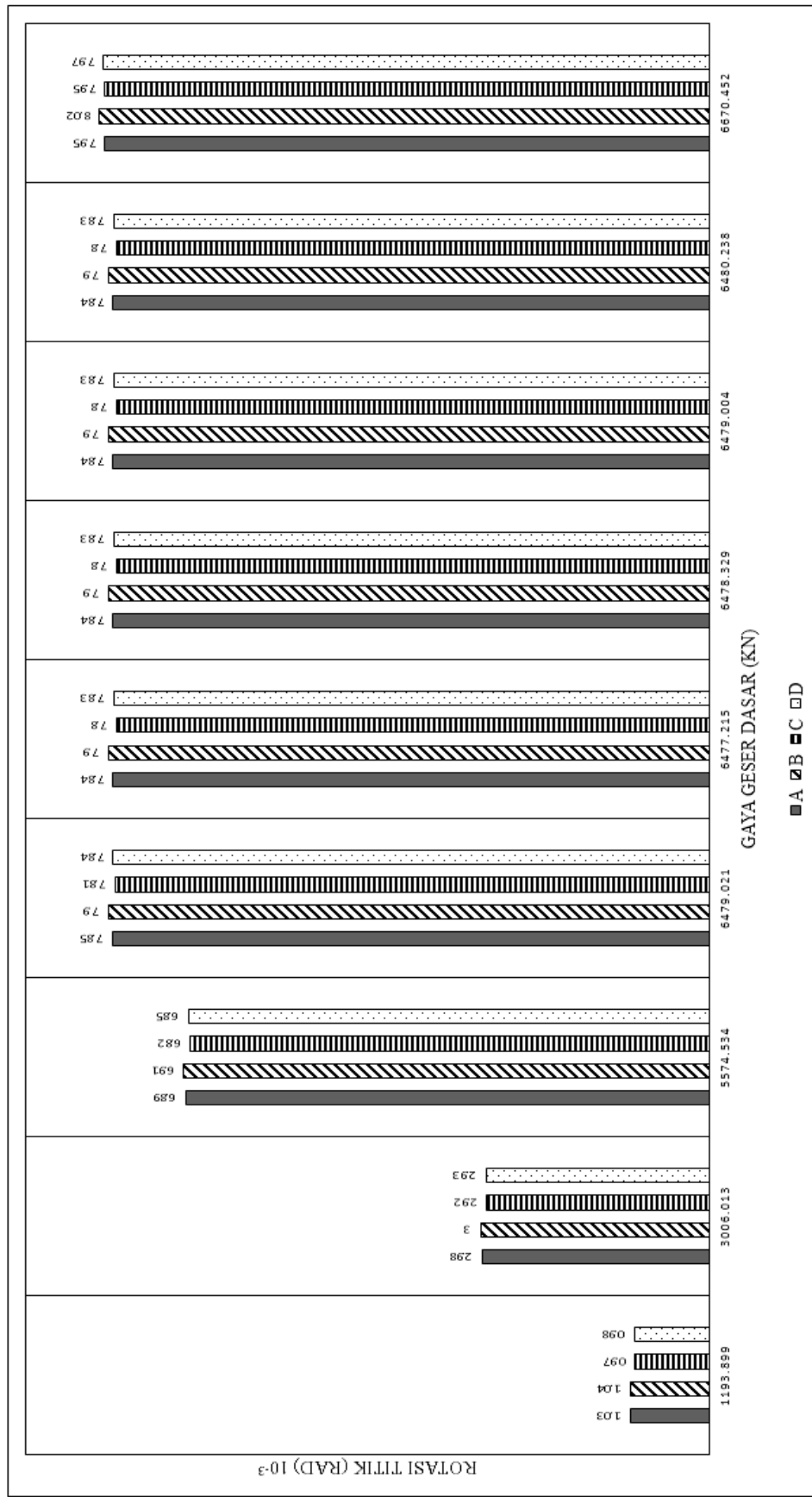
Gambar 4.4: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 1



Gambar 4.5: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 2



Gambar 4.6: Rotasi pada setiap titik sudut rantai pada lantai 3

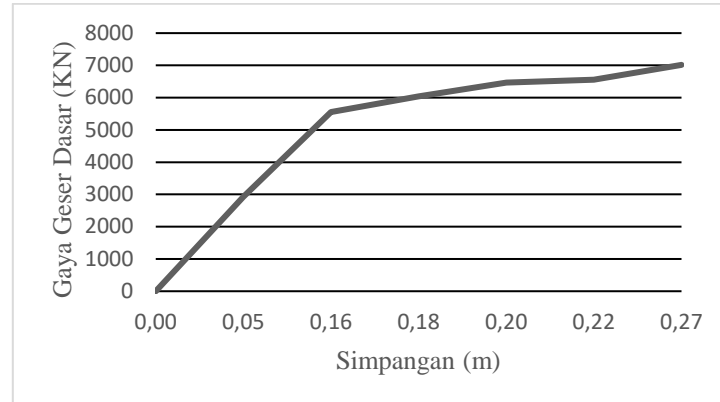


Gambar 4.7: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai atap

Pada Gambar 4.4 – 4.7 merupakan diagram menunjukkan dari lantai 1 sampai lantai atap memiliki grafik yang berbeda tetapi memiliki pola keruntuhan yang sama, yaitu pada saat step ketiga atau saat gaya geser dasar di titik 5574.53 KN. Tetapi dengan rotasi yang kecil menunjukkan pola keruntuhan hampir mendekati tidak ada. Gambar 4.4, rotasi yang terjadi di setiap step, sejalan dan beraturan. Pada Gambar 4.5, pada saat step akhir atau saat gaya geser dasar di titik 6670.45 KN, step mengalami kekacauan karena di setiap titik mengalami perpindahan yang tidak sejalan. Pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 atap mengalami rotasi pada lantai tetap di step akhir perpindahan rotasi sama seperti sebelumnya, tidak seperti di lantai 1 yang mengalami perpindahan rotasi pada step akhir yang jauh dari step sebelumnya.

4.10.3.2 Torsi Pada Lantai Untuk Kondisi Leleh Puncak

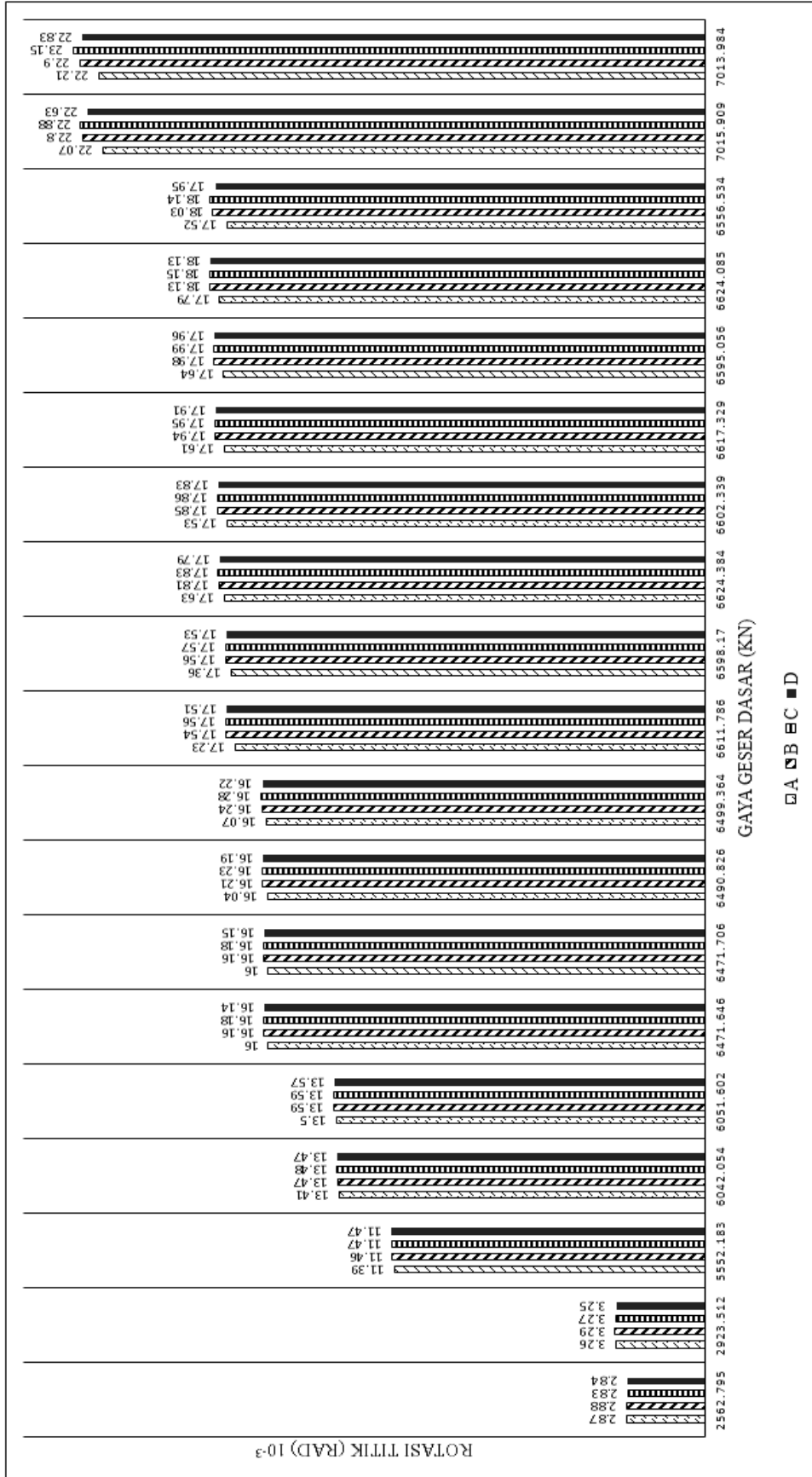
Kurva pushover pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa perubahan setelah seluruh batang balok di lemahkan.



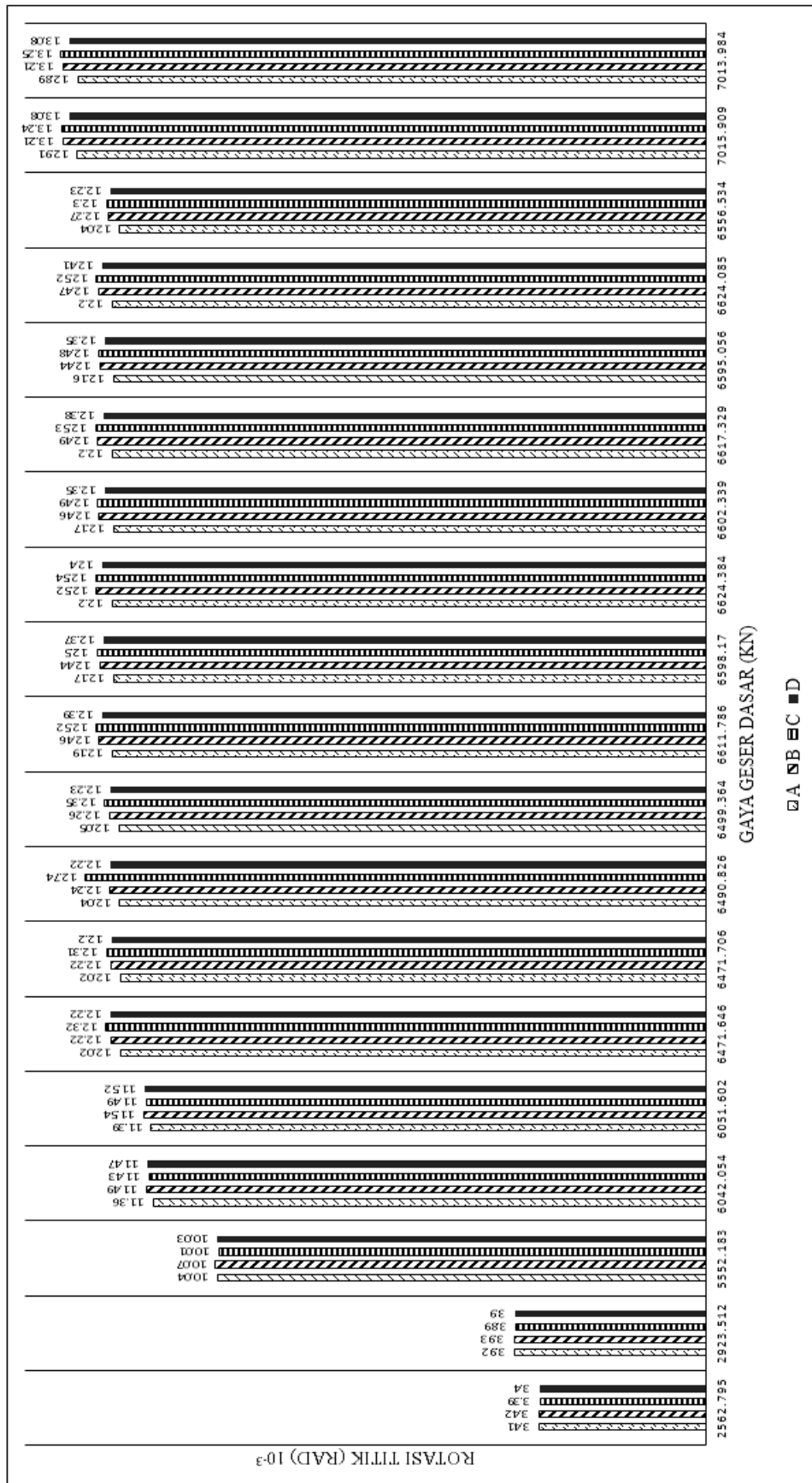
Gambar 4.8: Kurva pushover struktur setelah perlemahan pada balok (mengacu kepada kondisi gaya geser maximum pada kurva pushover awal)

Di titik leleh awal, gaya geser pada bangunan tidak mencapai 1 m sudah hancur atau rubuh seperti di gambarkan kurva pushover di atas, dikarenakan seluruh balok pada bangunan yang di lemahkan mempengaruhi kekuatan bangunan tersebut.

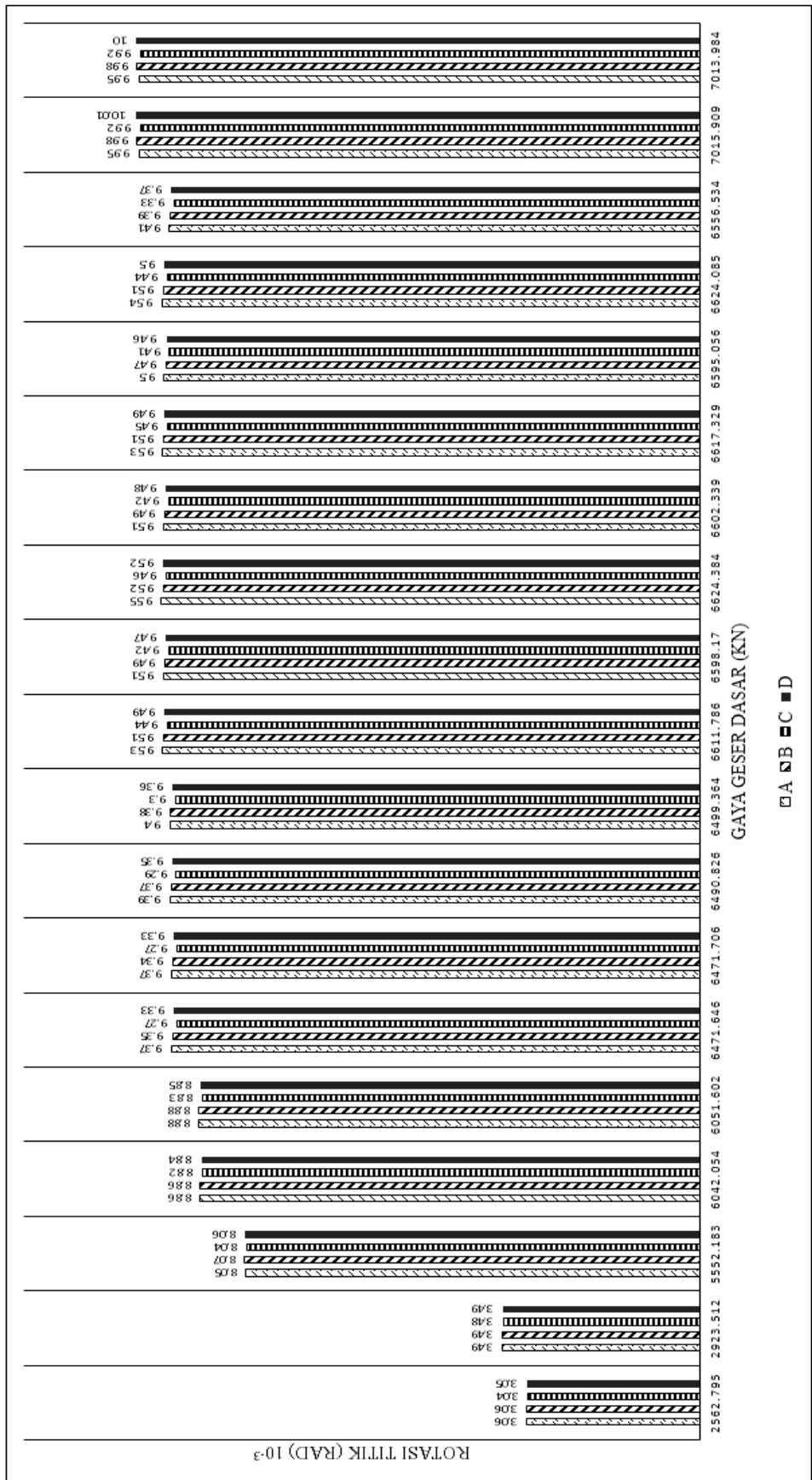
Untuk torsi pada lantai, torsi ini sama halnya seperti rotasi pada lantai. Setelah dicari nilai tiap sudutnya, terbentuk pola rotasi pada bangunan seperti pada Gambar 4.9 – 4.12.

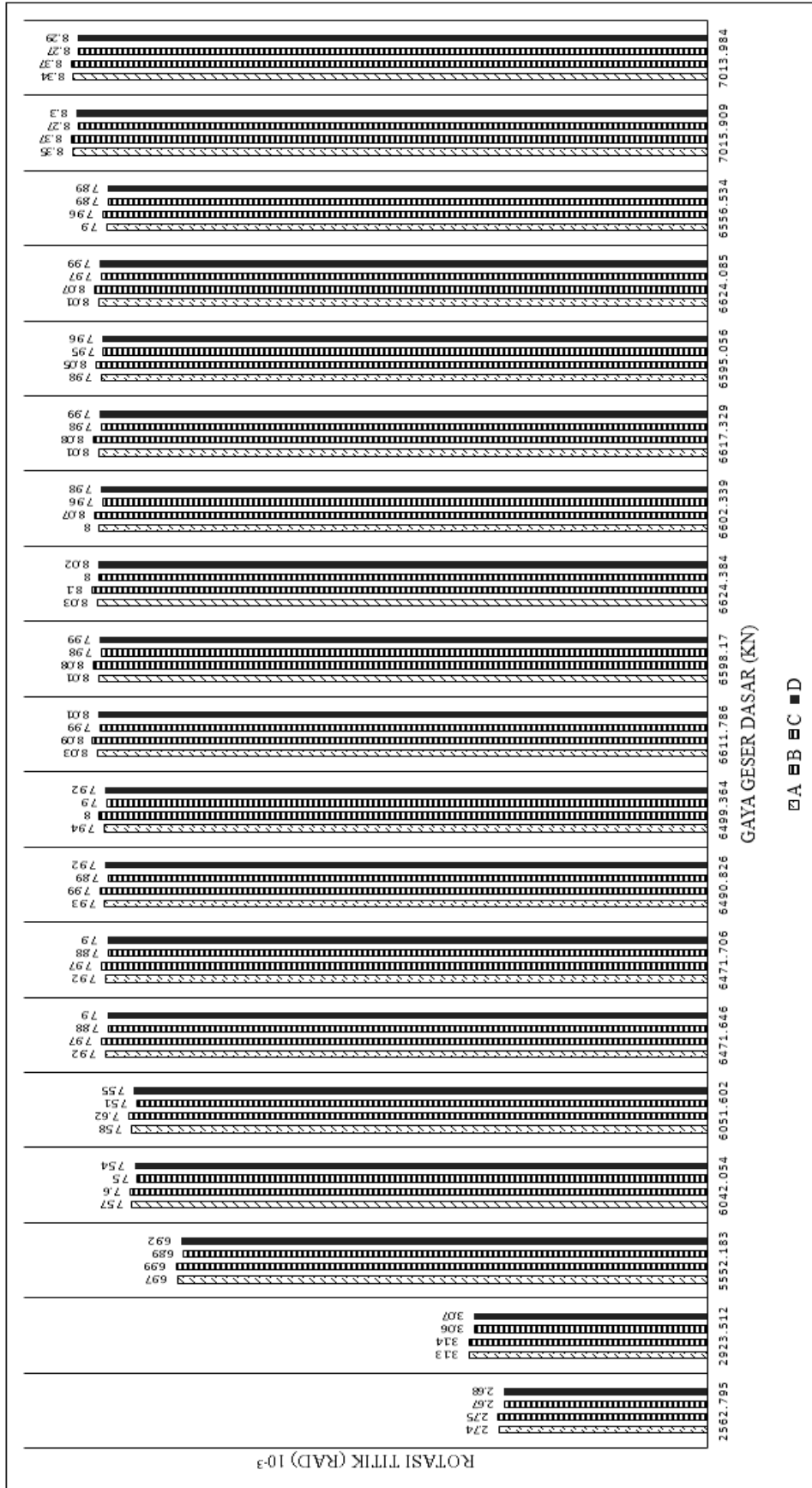


Gambar 4.9: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 1



Gambar 4.10: Rotasi pada setiap titik sudut rantai pada lantai 2





Gambar 4.12: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai atap

Pada Gambar 4.9 – 4.12 merupakan diagram menunjukkan dari lantai 1 sampai lantai atap memiliki grafik yang berbeda tetapi memiliki pola keruntuhan yang sama, yaitu pada saat step ketiga atau saat gaya geser dasar di titik 5552.18 KN dan pola keruntuhan total berada pada step ke-17 atau saat gaya geser dasar di titik 7015.91 KN. Tetapi dengan rotasi yang kecil menunjukkan pola keruntuhan hampir mendekati tidak ada. Pada Gambar 4.9, rotasi yang terjadi di setiap step, sejalan dan rotasi seluruhnya tidak beraturan. Gambar 4.10, pada saat 2 step akhir atau saat gaya geser dasar di titik 7015.984 KN dan 7013.984 KN, step mengalami kekacauan karena di setiap titik mengalami perpindahan rotasi yang tidak sejalan. Pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12, atap mengalami rotasi pada lantai di step akhir perpindahan rotasi tidak jauh dengan step sebelumnya, tidak seperti di lantai 1 yang mengalami perpindahan rotasi pada step akhir yang jauh dari step sebelumnya.

4.10.4 Analisis Respon Riwayat Waktu Non Linier

Analisa ini dilakukan setelah analisa linear (analisa statik ekuivalen, metode respon spektrum dan analisa respon riwayat waktu linear) dan analisa pushover dilaksanakan. Analisa ini memerlukan rekaman percepatan gempa (*strong motion record*) sebagai input getaran. Rekaman gempa bisa diambil dari database di internet dimana rekaman gempa ini akan dimasukkan ke dalam program Analisa struktur. Untuk redaman, umumnya dipakai formulasi Rayleigh yaitu rasio redaman 0,01 s/d 0,05 untuk rentang perioda alami 0,2T s/d 1,5T. Menurut PEER (2010) rasio redaman < 0,025 dipakai untuk gedung tinggi, sedangkan menurut CTBUH rasio redamannya 0,01 s/d 0,02. Adapun rekaman gempa yang akan diuji akan ditampilkan pada lampiran.

4.10.5 Torsi Pada Lantai Metode Respon Riwayat Waktu

Pada subbab ini, mencari torsi pada lantai di lakukan pada 2 tahap, tahap pertama melemah kolom dasar setiap 1 baris dan tahap kedua melemah kolom dasar secara acak. Kedua cara tersebut akan dibandingkan dengan 3 rekaman gempa dan setiap 1 rekaman gempa akan di pantau setiap sudut lantai sama halnya dengan pushover.

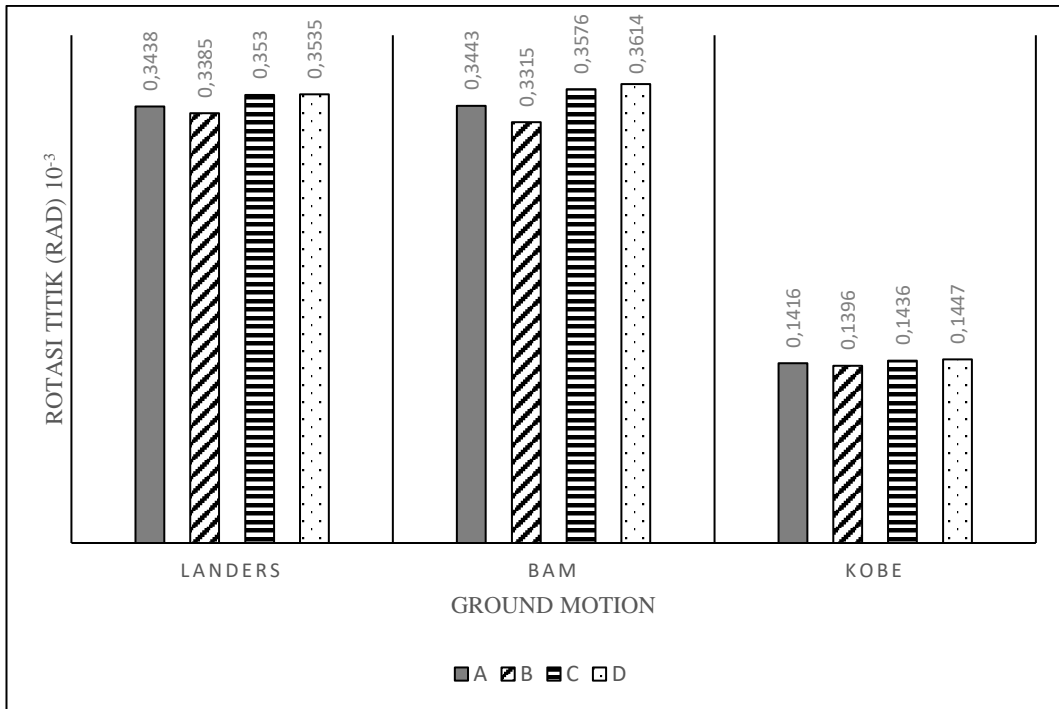
4.10.5.1 Tahap Pertama Torsi Lantai

Tahap pertama ini bertujuan untuk melihat pengaruh torsi pada lantai ketika 1 baris pada kolom dasar di lemahkan.

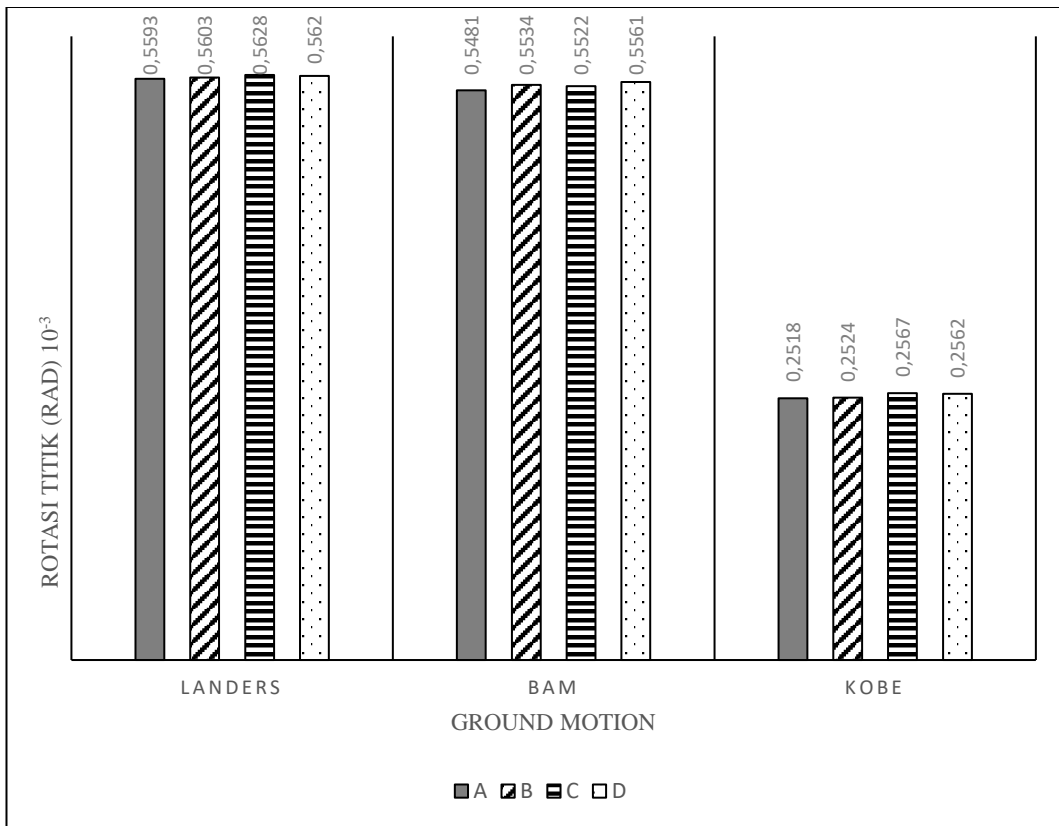
Tabel 4.17: Nilai rotasi pada analisa respon riwayat waktu

Lt. 1				
Ground Motion Place	titik frame (m)			
	26	46	50	30
LANDERS	0.0003438	0.0003385	0.000353	0.0003535
BAM	0.0003443	0.0003315	0.0003576	0.0003614
KOBE	0.0001416	0.0001396	0.0001436	0.0001447
Lt. 2				
Ground Motion Place	titik frame (m)			
	51	71	75	55
LANDERS	0.0005593	0.0005603	0.0005628	0.000562
BAM	0.0005481	0.0005534	0.0005522	0.0005561
KOBE	0.0002518	0.0002524	0.0002567	0.0002562
Lt. 3				
Ground Motion Place	titik frame (m)			
	76	96	100	80
LANDERS	0.0006562	0.0006565	0.0006602	0.0006602
BAM	0.0006397	0.00064	0.0006406	0.000641
KOBE	0.0003338	0.0003334	0.0003339	0.0003356
Lt. atap				
Ground Motion Place	titik frame (m)			
	101	121	125	105
LANDERS	0.0007273	0.0007273	0.0007234	0.0007232
BAM	0.0008167	0.0008158	0.0008247	0.0008249
KOBE	0.0004238	0.0004235	0.0004235	0.0004236

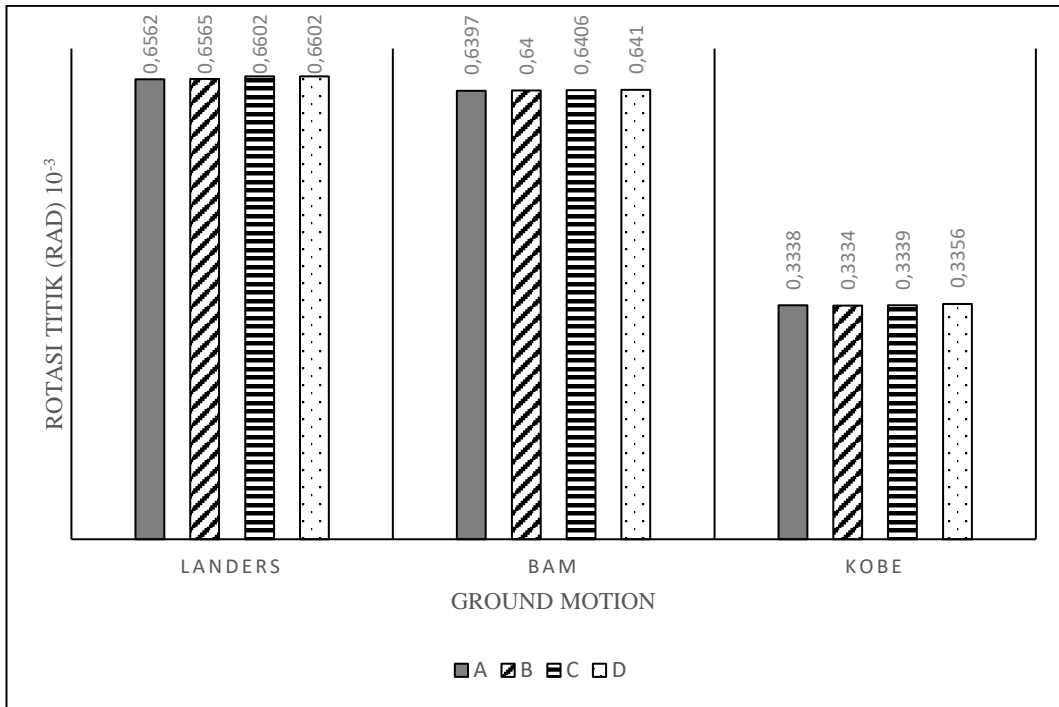
Pada Tabel 4.17, nilai pada rekaman Landers 1992 di lantai 1 sampai lantai 3 adalah yang maximal, sedangkan pada lantai atap, rekaman gempa BAM 2003 lebih maximal dibanding Landers 1992.



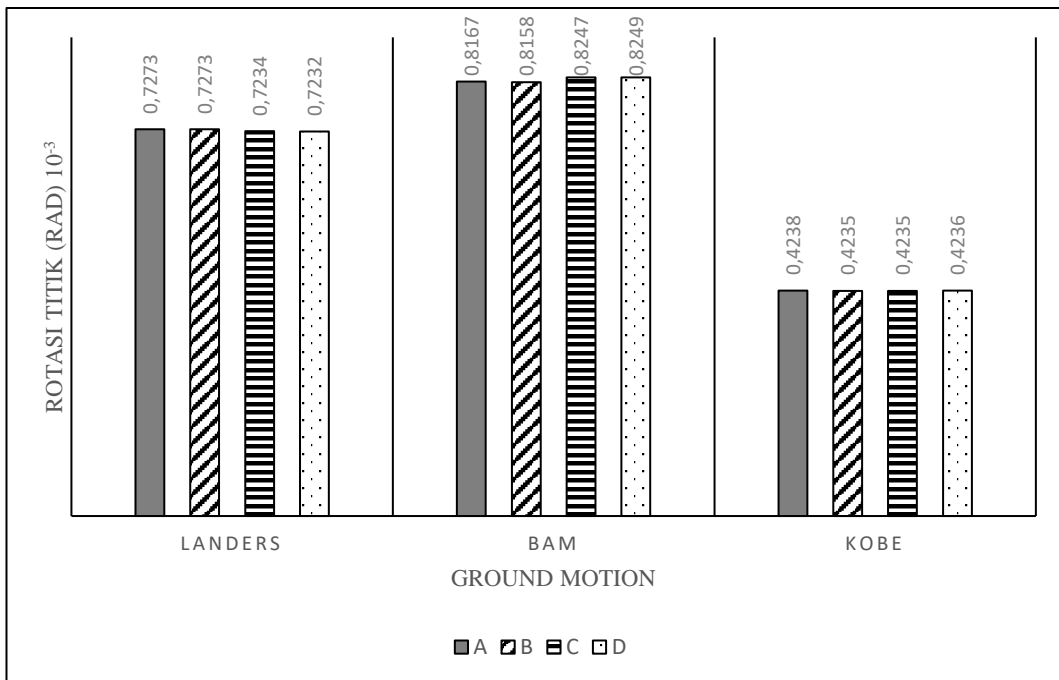
Gambar 4.13: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 1



Gambar 4.14: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 2



Gambar 4.15: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 3



Gambar 4.16: Rotasi pada setiap titik sudut lantai lantai atap

Gambar 4.14 – 4.16 menunjukkan diagram batang dari hasil rekaman gempa di program stuktur analisis, disini menunjukkan jika dibandingkan dengan metode

pushover, pola runtuh dan nilai rotasi pada metode respon riwayat waktu tidak terlalu berpengaruh.

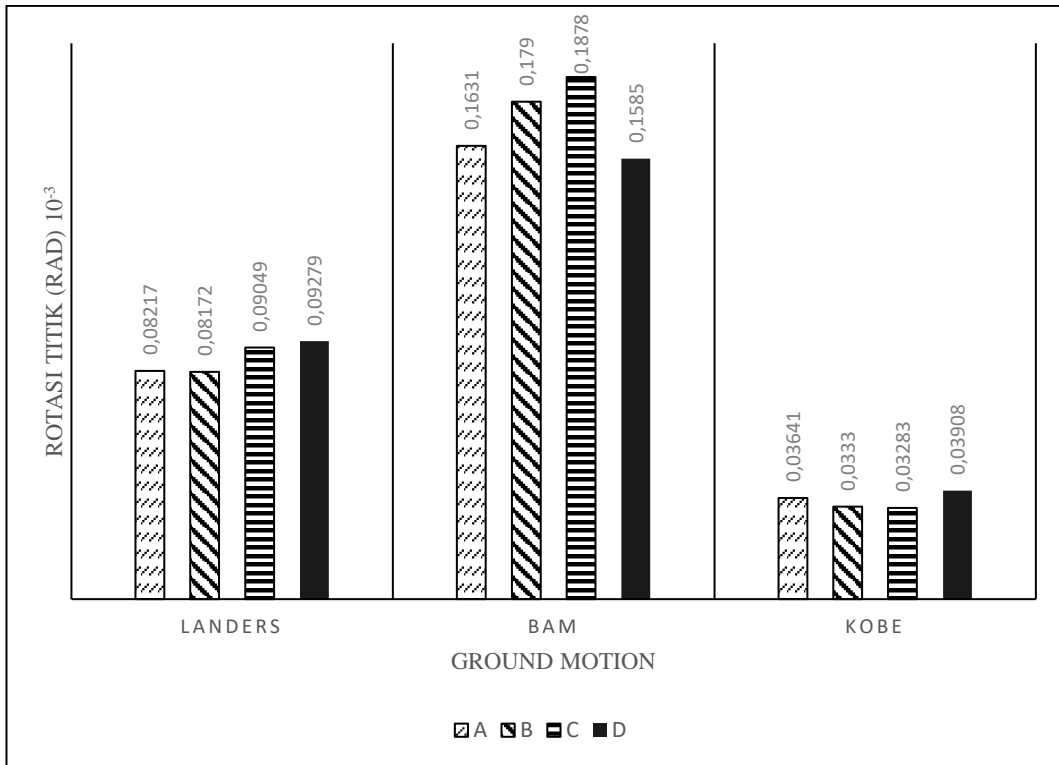
4.10.5.2 Tahap Kedua Torsi Lantai

Tahap kedua ini bertujuan untuk melihat pengaruh torsi pada lantai ketika kolom dasar dilemahkan secara acak.

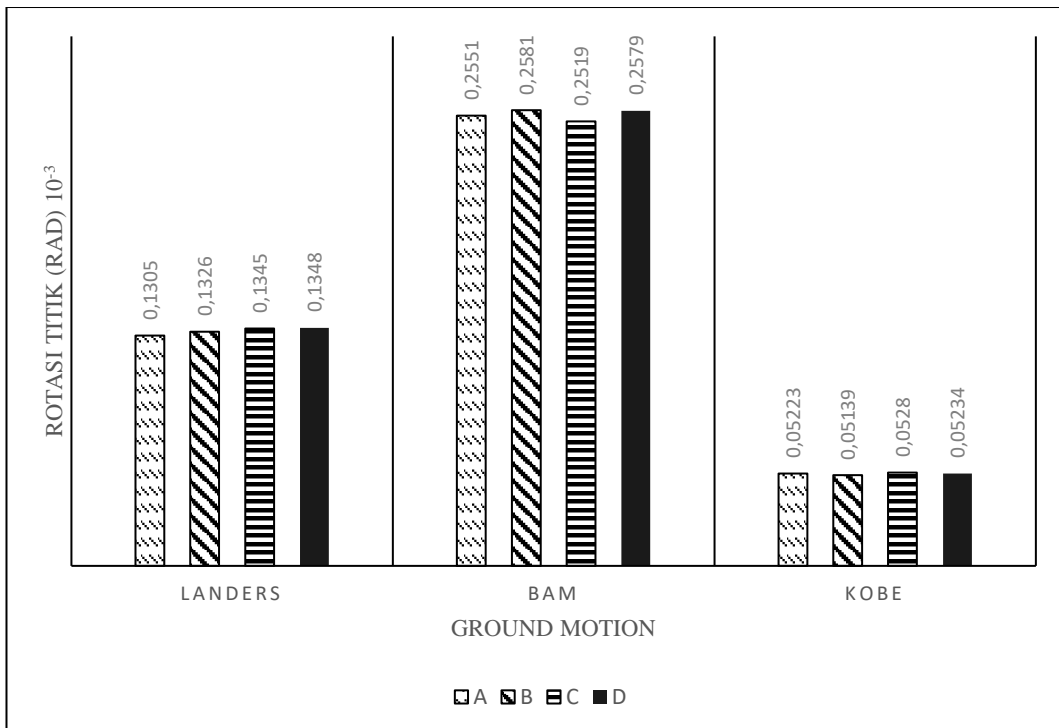
Tabel 4.18: Nilai rotasi pada analisa respon riwayat waktu

Lt. 1				
Ground Mount Name	titik frame (m)			
	26	46	50	30
LANDERS	0.00008217	0.00008172	0.00009049	0.00009279
BAM	0.0001631	0.000179	0.0001878	0.0001585
KOBE	0.00003641	0.0000333	0.00003283	0.00003908
Lt. 2				
Ground Mount Name	titik frame (m)			
	51	71	75	55
LANDERS	0.0001305	0.0001326	0.0001345	0.0001348
BAM	0.0002551	0.0002581	0.0002519	0.0002579
KOBE	0.00005223	0.00005139	0.0000528	0.00005234
Lt. 3				
Ground Mount Name	titik frame (m)			
	76	96	100	80
LANDERS	0.0001597	0.0001598	0.0001612	0.0001608
BAM	0.0002994	0.0003017	0.0003064	0.000305
KOBE	0.00006214	0.00006181	0.00006385	0.00006456
Lt. Atap				
Ground Mount Name	titik frame (m)			
	101	121	125	105
LANDERS	0.0001827	0.0001827	0.0001741	0.0001744
BAM	0.0003308	0.0003311	0.0003225	0.0003196
KOBE	0.00007534	0.0000785	0.0000785	0.00007566

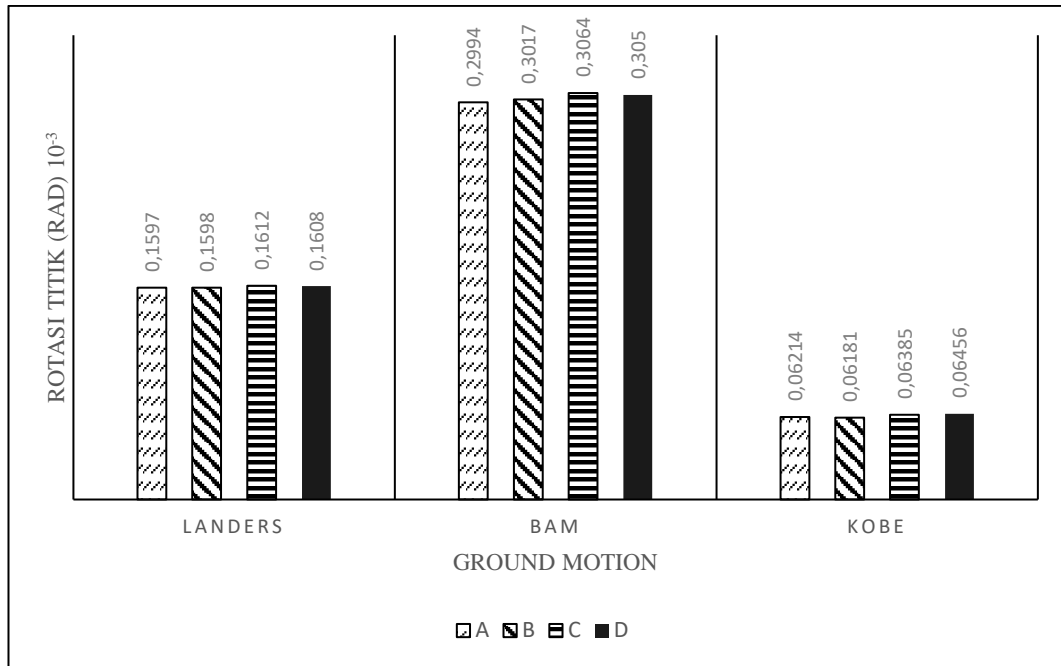
Pada Tabel 4.18, nilai pada rekaman gempa BAM 2003 lebih maksimal dibanding Landers 1992 dan Kobe 1995.



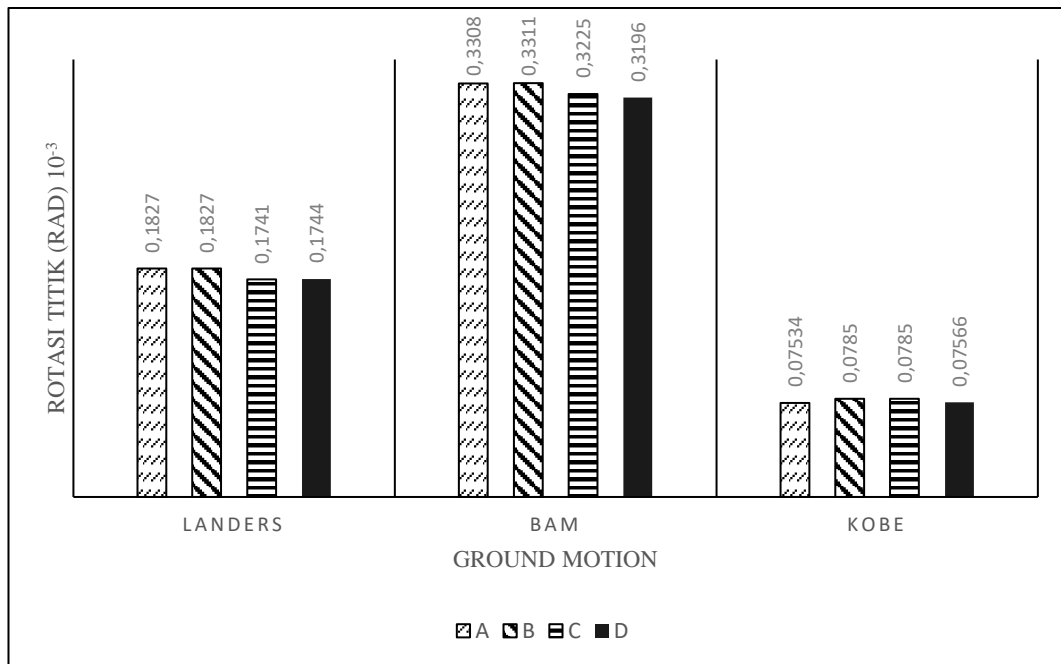
Gambar 4.17: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 1



Gambar 4.18: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 2



Gambar 4.19: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai 3



Gambar 4.20: Rotasi pada setiap titik sudut lantai pada lantai atap

Gambar 4.17 – 4.20 menunjukkan diagram batang dari hasil rekaman gempa di program analisis struktur, disini menunjukkan jika dibandingkan dengan metode pushover, pola runtuh dan nilai rotasi pada metode respon riwayat waktu tidak terlalu berpengaruh pada bangunan yang sudah di rencanakan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

3.11 Kesimpulan

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

1. Pada metode *pushover*, torsi yang terjadi pada lantai berpengaruh terhadap bangunan dengan nilai maksimum :
 - a) Nilai maksimum pada titik leleh awal dengan R1 sebesar 7.79×10^{-3} m.
 - b) Nilai maksimum pada titik leleh puncak dengan R1 sebesar 8.29×10^{-3} m.
2. Pada metode respon riwayat waktu, torsi yang terjadi pada lantai tidak terlalu berpengaruh terhadap bangunan dengan nilai maksimum:
 - a) Nilai maksimum pada tahap pertama dengan melemahkan batang 1 baris di kolom bawah sebesar 0.83×10^{-3} m.
 - b) Nilai maksimum pada tahap kedua dengan melemahkan batang di kolom bawah secara acak sebesar 0.33×10^{-3} m.

5.2 Saran

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

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

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Nur Rachmad. 2010. *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP2000*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Budiono, B. dan Supriatna, L. (2011) *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012*. Bandung: ITB.
- Departemen Pekerjaan Umum. (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.

- Erwin. (2009). *Analisa Torsi Pada Tampang Persegi Panjang Dan Aplikasi Pada Komponen Struktur Beton Bertulang Dengan Menggunakan Elemen Grid*. Medan: Repository USU.
<http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/11750>.
- 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.
- Macgregor, James G. (1997). *Reinforced Concrete Mechanics And Design*. New Jersey: Prentice-Hall.
- McCormac, Jack C. (2004). *Reinforced Desain Beton Bertulang Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Pinem, Muhammad Daud. (2013). *Analisis Sistem Mekanik Ansys*. Bandung: Wahana Ilmu Kita.
- Timoshenko, S (1958). *Strength of Materials*. New York: Robert E. Krieger Publishing.
- Wigroho, Harianto Yoso. (2001). *Analisis Dan Perencanaan Struktur Frame Menggunakan SAP2000 Versi 7.42, Edisi Kedua*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

LAMPIRAN

L1: Print out program analisis struktur

TABLE: Element Forces – Frames, Part 1 of 2						
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	P
Text	m	Text	Text	Text	Unitless	KN
101	0	DEAD	LinStatic			-0.137
101	0.5	DEAD	LinStatic			-0.137
101	1	DEAD	LinStatic			-0.137
101	1.5	DEAD	LinStatic			-0.137
101	2	DEAD	LinStatic			-0.137
101	2.5	DEAD	LinStatic			-0.137
101	3	DEAD	LinStatic			-0.137
101	3.5	DEAD	LinStatic			-0.137
101	4	DEAD	LinStatic			-0.137
101	4.5	DEAD	LinStatic			-0.137
101	5	DEAD	LinStatic			-0.137
101	0	SUPER DEAD	LinStatic			0.004366
101	0.5	SUPER DEAD	LinStatic			0.004366
101	1	SUPER DEAD	LinStatic			0.004366
101	1.5	SUPER DEAD	LinStatic			0.004366
101	2	SUPER DEAD	LinStatic			0.004366
101	2.5	SUPER DEAD	LinStatic			0.004366
101	3	SUPER DEAD	LinStatic			0.004366
101	3.5	SUPER DEAD	LinStatic			0.004366
101	4	SUPER DEAD	LinStatic			0.004366
101	4.5	SUPER DEAD	LinStatic			0.004366
101	5	SUPER DEAD	LinStatic			0.004366
101	0	LIVE	LinStatic			0.008597
101	0.5	LIVE	LinStatic			0.008597
101	1	LIVE	LinStatic			0.008597
101	1.5	LIVE	LinStatic			0.008597
101	2	LIVE	LinStatic			0.008597
101	2.5	LIVE	LinStatic			0.008597
101	3	LIVE	LinStatic			0.008597
101	3.5	LIVE	LinStatic			0.008597
101	4	LIVE	LinStatic			0.008597

101	4.5	LIVE	LinStatic			0.008597
101	5	LIVE	LinStatic			0.008597
101	0	QUAKE X	LinRespSpec	Max		0.574
101	0.5	QUAKE X	LinRespSpec	Max		0.574
101	1	QUAKE X	LinRespSpec	Max		0.574
101	1.5	QUAKE X	LinRespSpec	Max		0.574
101	2	QUAKE X	LinRespSpec	Max		0.574
101	2.5	QUAKE X	LinRespSpec	Max		0.574
101	3	QUAKE X	LinRespSpec	Max		0.574
101	3.5	QUAKE X	LinRespSpec	Max		0.574
101	4	QUAKE X	LinRespSpec	Max		0.574
101	4.5	QUAKE X	LinRespSpec	Max		0.574
101	5	QUAKE X	LinRespSpec	Max		0.574
101	0	QUAKE Y	LinRespSpec	Max		0.64
101	0.5	QUAKE Y	LinRespSpec	Max		0.64
101	1	QUAKE Y	LinRespSpec	Max		0.64
101	1.5	QUAKE Y	LinRespSpec	Max		0.64
101	2	QUAKE Y	LinRespSpec	Max		0.64
101	2.5	QUAKE Y	LinRespSpec	Max		0.64
101	3	QUAKE Y	LinRespSpec	Max		0.64
101	3.5	QUAKE Y	LinRespSpec	Max		0.64
101	4	QUAKE Y	LinRespSpec	Max		0.64
101	4.5	QUAKE Y	LinRespSpec	Max		0.64
101	5	QUAKE Y	LinRespSpec	Max		0.64
101	0	COMB1	Combination			-0.186
101	0.5	COMB1	Combination			-0.186
101	1	COMB1	Combination			-0.186
101	1.5	COMB1	Combination			-0.186
101	2	COMB1	Combination			-0.186
101	2.5	COMB1	Combination			-0.186
101	3	COMB1	Combination			-0.186
101	3.5	COMB1	Combination			-0.186
101	4	COMB1	Combination			-0.186
101	4.5	COMB1	Combination			-0.186
101	5	COMB1	Combination			-0.186
101	0	COMB2	Combination			-0.146
101	0.5	COMB2	Combination			-0.146
101	1	COMB2	Combination			-0.146
101	1.5	COMB2	Combination			-0.146
101	2	COMB2	Combination			-0.146
101	2.5	COMB2	Combination			-0.146
101	3	COMB2	Combination			-0.146
101	3.5	COMB2	Combination			-0.146

101	4	COMB2	Combination			-0.146
101	4.5	COMB2	Combination			-0.146
101	5	COMB2	Combination			-0.146
101	0	COMB3	Combination	Max		0.876
101	0.5	COMB3	Combination	Max		0.876
101	1	COMB3	Combination	Max		0.876
101	1.5	COMB3	Combination	Max		0.876
101	2	COMB3	Combination	Max		0.876
101	2.5	COMB3	Combination	Max		0.876
101	3	COMB3	Combination	Max		0.876
101	3.5	COMB3	Combination	Max		0.876
101	4	COMB3	Combination	Max		0.876
101	4.5	COMB3	Combination	Max		0.876
101	5	COMB3	Combination	Max		0.876
101	0	COMB3	Combination	Min		-1.235
101	0.5	COMB3	Combination	Min		-1.235
101	1	COMB3	Combination	Min		-1.235
101	1.5	COMB3	Combination	Min		-1.235
101	2	COMB3	Combination	Min		-1.235
101	2.5	COMB3	Combination	Min		-1.235
101	3	COMB3	Combination	Min		-1.235
101	3.5	COMB3	Combination	Min		-1.235
101	4	COMB3	Combination	Min		-1.235
101	4.5	COMB3	Combination	Min		-1.235
101	5	COMB3	Combination	Min		-1.235
101	0	COMB4	Combination	Max		0.932
101	0.5	COMB4	Combination	Max		0.932
101	1	COMB4	Combination	Max		0.932
101	1.5	COMB4	Combination	Max		0.932
101	2	COMB4	Combination	Max		0.932
101	2.5	COMB4	Combination	Max		0.932
101	3	COMB4	Combination	Max		0.932
101	3.5	COMB4	Combination	Max		0.932
101	4	COMB4	Combination	Max		0.932
101	4.5	COMB4	Combination	Max		0.932
101	5	COMB4	Combination	Max		0.932
101	0	COMB4	Combination	Min		-1.179
101	0.5	COMB4	Combination	Min		-1.179
101	1	COMB4	Combination	Min		-1.179
101	1.5	COMB4	Combination	Min		-1.179
101	2	COMB4	Combination	Min		-1.179
101	2.5	COMB4	Combination	Min		-1.179
101	3	COMB4	Combination	Min		-1.179

101	3.5	COMB4	Combination	Min		-1.179
101	4	COMB4	Combination	Min		-1.179
101	4.5	COMB4	Combination	Min		-1.179
101	5	COMB4	Combination	Min		-1.179
101	0	COMB5	Combination	Max		0.92
101	0.5	COMB5	Combination	Max		0.92
101	1	COMB5	Combination	Max		0.92
101	1.5	COMB5	Combination	Max		0.92
101	2	COMB5	Combination	Max		0.92
101	2.5	COMB5	Combination	Max		0.92
101	3	COMB5	Combination	Max		0.92
101	3.5	COMB5	Combination	Max		0.92
101	4	COMB5	Combination	Max		0.92
101	4.5	COMB5	Combination	Max		0.92
101	5	COMB5	Combination	Max		0.92
101	0	COMB5	Combination	Min		-1.191
101	0.5	COMB5	Combination	Min		-1.191
101	1	COMB5	Combination	Min		-1.191
101	1.5	COMB5	Combination	Min		-1.191
101	2	COMB5	Combination	Min		-1.191
101	2.5	COMB5	Combination	Min		-1.191
101	3	COMB5	Combination	Min		-1.191
101	3.5	COMB5	Combination	Min		-1.191
101	4	COMB5	Combination	Min		-1.191
101	4.5	COMB5	Combination	Min		-1.191
101	5	COMB5	Combination	Min		-1.191
101	0	COMB6	Combination	Max		0.888
101	0.5	COMB6	Combination	Max		0.888
101	1	COMB6	Combination	Max		0.888
101	1.5	COMB6	Combination	Max		0.888
101	2	COMB6	Combination	Max		0.888
101	2.5	COMB6	Combination	Max		0.888
101	3	COMB6	Combination	Max		0.888
101	3.5	COMB6	Combination	Max		0.888
101	4	COMB6	Combination	Max		0.888
101	4.5	COMB6	Combination	Max		0.888
101	5	COMB6	Combination	Max		0.888
101	0	COMB6	Combination	Min		-1.223
101	0.5	COMB6	Combination	Min		-1.223
101	1	COMB6	Combination	Min		-1.223
101	1.5	COMB6	Combination	Min		-1.223
101	2	COMB6	Combination	Min		-1.223
101	2.5	COMB6	Combination	Min		-1.223

101	3	COMB6	Combination	Min		-1.223
101	3.5	COMB6	Combination	Min		-1.223
101	4	COMB6	Combination	Min		-1.223
101	4.5	COMB6	Combination	Min		-1.223
101	5	COMB6	Combination	Min		-1.223
101	0	COMB7	Combination	Max		0.817
101	0.5	COMB7	Combination	Max		0.817
101	1	COMB7	Combination	Max		0.817
101	1.5	COMB7	Combination	Max		0.817
101	2	COMB7	Combination	Max		0.817
101	2.5	COMB7	Combination	Max		0.817
101	3	COMB7	Combination	Max		0.817
101	3.5	COMB7	Combination	Max		0.817
101	4	COMB7	Combination	Max		0.817
101	4.5	COMB7	Combination	Max		0.817
101	5	COMB7	Combination	Max		0.817
101	0	COMB7	Combination	Min		-1.175
101	0.5	COMB7	Combination	Min		-1.175
101	1	COMB7	Combination	Min		-1.175
101	1.5	COMB7	Combination	Min		-1.175
101	2	COMB7	Combination	Min		-1.175
101	2.5	COMB7	Combination	Min		-1.175
101	3	COMB7	Combination	Min		-1.175
101	3.5	COMB7	Combination	Min		-1.175
101	4	COMB7	Combination	Min		-1.175
101	4.5	COMB7	Combination	Min		-1.175
101	5	COMB7	Combination	Min		-1.175
101	0	COMB8	Combination	Max		0.873
101	0.5	COMB8	Combination	Max		0.873
101	1	COMB8	Combination	Max		0.873
101	1.5	COMB8	Combination	Max		0.873
101	2	COMB8	Combination	Max		0.873
101	2.5	COMB8	Combination	Max		0.873
101	3	COMB8	Combination	Max		0.873
101	3.5	COMB8	Combination	Max		0.873
101	4	COMB8	Combination	Max		0.873
101	4.5	COMB8	Combination	Max		0.873
101	5	COMB8	Combination	Max		0.873
101	0	COMB8	Combination	Min		-1.119
101	0.5	COMB8	Combination	Min		-1.119
101	1	COMB8	Combination	Min		-1.119
101	1.5	COMB8	Combination	Min		-1.119
101	2	COMB8	Combination	Min		-1.119

101	2.5	COMB8	Combination	Min		-1.119
101	3	COMB8	Combination	Min		-1.119
101	3.5	COMB8	Combination	Min		-1.119
101	4	COMB8	Combination	Min		-1.119
101	4.5	COMB8	Combination	Min		-1.119
101	5	COMB8	Combination	Min		-1.119
101	0	COMB9	Combination	Max		0.829
101	0.5	COMB9	Combination	Max		0.829
101	1	COMB9	Combination	Max		0.829
101	1.5	COMB9	Combination	Max		0.829
101	2	COMB9	Combination	Max		0.829
101	2.5	COMB9	Combination	Max		0.829
101	3	COMB9	Combination	Max		0.829
101	3.5	COMB9	Combination	Max		0.829
101	4	COMB9	Combination	Max		0.829
101	4.5	COMB9	Combination	Max		0.829
101	5	COMB9	Combination	Max		0.829
101	0	COMB9	Combination	Min		-1.163
101	0.5	COMB9	Combination	Min		-1.163
101	1	COMB9	Combination	Min		-1.163
101	1.5	COMB9	Combination	Min		-1.163
101	2	COMB9	Combination	Min		-1.163
101	2.5	COMB9	Combination	Min		-1.163
101	3	COMB9	Combination	Min		-1.163
101	3.5	COMB9	Combination	Min		-1.163
101	4	COMB9	Combination	Min		-1.163
101	4.5	COMB9	Combination	Min		-1.163
101	5	COMB9	Combination	Min		-1.163
101	0	COMB10	Combination	Max		0.861
101	0.5	COMB10	Combination	Max		0.861
101	1	COMB10	Combination	Max		0.861
101	1.5	COMB10	Combination	Max		0.861
101	2	COMB10	Combination	Max		0.861
101	2.5	COMB10	Combination	Max		0.861
101	3	COMB10	Combination	Max		0.861
101	3.5	COMB10	Combination	Max		0.861
101	4	COMB10	Combination	Max		0.861
101	4.5	COMB10	Combination	Max		0.861
101	5	COMB10	Combination	Max		0.861
101	0	COMB10	Combination	Min		-1.131
101	0.5	COMB10	Combination	Min		-1.131
101	1	COMB10	Combination	Min		-1.131
101	1.5	COMB10	Combination	Min		-1.131

101	2	COMB10	Combination	Min		-1.131
101	2.5	COMB10	Combination	Min		-1.131
101	3	COMB10	Combination	Min		-1.131
101	3.5	COMB10	Combination	Min		-1.131
101	4	COMB10	Combination	Min		-1.131
101	4.5	COMB10	Combination	Min		-1.131
101	5	COMB10	Combination	Min		-1.131
101	0	COMB11	Combination	Max		0.908
101	0.5	COMB11	Combination	Max		0.908
101	1	COMB11	Combination	Max		0.908
101	1.5	COMB11	Combination	Max		0.908
101	2	COMB11	Combination	Max		0.908
101	2.5	COMB11	Combination	Max		0.908
101	3	COMB11	Combination	Max		0.908
101	3.5	COMB11	Combination	Max		0.908
101	4	COMB11	Combination	Max		0.908
101	4.5	COMB11	Combination	Max		0.908
101	5	COMB11	Combination	Max		0.908
101	0	COMB11	Combination	Min		-1.203
101	0.5	COMB11	Combination	Min		-1.203
101	1	COMB11	Combination	Min		-1.203
101	1.5	COMB11	Combination	Min		-1.203
101	2	COMB11	Combination	Min		-1.203
101	2.5	COMB11	Combination	Min		-1.203
101	3	COMB11	Combination	Min		-1.203
101	3.5	COMB11	Combination	Min		-1.203
101	4	COMB11	Combination	Min		-1.203
101	4.5	COMB11	Combination	Min		-1.203
101	5	COMB11	Combination	Min		-1.203
101	0	COMB12	Combination	Max		0.964
101	0.5	COMB12	Combination	Max		0.964
101	1	COMB12	Combination	Max		0.964
101	1.5	COMB12	Combination	Max		0.964
101	2	COMB12	Combination	Max		0.964
101	2.5	COMB12	Combination	Max		0.964
101	3	COMB12	Combination	Max		0.964
101	3.5	COMB12	Combination	Max		0.964
101	4	COMB12	Combination	Max		0.964
101	4.5	COMB12	Combination	Max		0.964
101	5	COMB12	Combination	Max		0.964
101	0	COMB12	Combination	Min		-1.147
101	0.5	COMB12	Combination	Min		-1.147
101	1	COMB12	Combination	Min		-1.147

101	1.5	COMB12	Combination	Min		-1.147
101	2	COMB12	Combination	Min		-1.147
101	2.5	COMB12	Combination	Min		-1.147
101	3	COMB12	Combination	Min		-1.147
101	3.5	COMB12	Combination	Min		-1.147
101	4	COMB12	Combination	Min		-1.147
101	4.5	COMB12	Combination	Min		-1.147
101	5	COMB12	Combination	Min		-1.147
101	0	COMB13	Combination	Max		0.952
101	0.5	COMB13	Combination	Max		0.952
101	1	COMB13	Combination	Max		0.952
101	1.5	COMB13	Combination	Max		0.952
101	2	COMB13	Combination	Max		0.952
101	2.5	COMB13	Combination	Max		0.952
101	3	COMB13	Combination	Max		0.952
101	3.5	COMB13	Combination	Max		0.952
101	4	COMB13	Combination	Max		0.952
101	4.5	COMB13	Combination	Max		0.952
101	5	COMB13	Combination	Max		0.952
101	0	COMB13	Combination	Min		-1.159
101	0.5	COMB13	Combination	Min		-1.159
101	1	COMB13	Combination	Min		-1.159
101	1.5	COMB13	Combination	Min		-1.159
101	2	COMB13	Combination	Min		-1.159
101	2.5	COMB13	Combination	Min		-1.159
101	3	COMB13	Combination	Min		-1.159
101	3.5	COMB13	Combination	Min		-1.159
101	4	COMB13	Combination	Min		-1.159
101	4.5	COMB13	Combination	Min		-1.159
101	5	COMB13	Combination	Min		-1.159
101	0	COMB14	Combination	Max		0.92
101	0.5	COMB14	Combination	Max		0.92
101	1	COMB14	Combination	Max		0.92
101	1.5	COMB14	Combination	Max		0.92
101	2	COMB14	Combination	Max		0.92
101	2.5	COMB14	Combination	Max		0.92
101	3	COMB14	Combination	Max		0.92
101	3.5	COMB14	Combination	Max		0.92
101	4	COMB14	Combination	Max		0.92
101	4.5	COMB14	Combination	Max		0.92
101	5	COMB14	Combination	Max		0.92
101	0	COMB14	Combination	Min		-1.191
101	0.5	COMB14	Combination	Min		-1.191

101	1	COMB14	Combination	Min		-1.191
101	1.5	COMB14	Combination	Min		-1.191
101	2	COMB14	Combination	Min		-1.191
101	2.5	COMB14	Combination	Min		-1.191
101	3	COMB14	Combination	Min		-1.191
101	3.5	COMB14	Combination	Min		-1.191
101	4	COMB14	Combination	Min		-1.191
101	4.5	COMB14	Combination	Min		-1.191
101	5	COMB14	Combination	Min		-1.191
101	0	COMB15	Combination	Max		0.848
101	0.5	COMB15	Combination	Max		0.848
101	1	COMB15	Combination	Max		0.848
101	1.5	COMB15	Combination	Max		0.848
101	2	COMB15	Combination	Max		0.848
101	2.5	COMB15	Combination	Max		0.848
101	3	COMB15	Combination	Max		0.848
101	3.5	COMB15	Combination	Max		0.848
101	4	COMB15	Combination	Max		0.848
101	4.5	COMB15	Combination	Max		0.848
101	5	COMB15	Combination	Max		0.848
101	0	COMB15	Combination	Min		-1.144
101	0.5	COMB15	Combination	Min		-1.144
101	1	COMB15	Combination	Min		-1.144
101	1.5	COMB15	Combination	Min		-1.144
101	2	COMB15	Combination	Min		-1.144
101	2.5	COMB15	Combination	Min		-1.144
101	3	COMB15	Combination	Min		-1.144
101	3.5	COMB15	Combination	Min		-1.144
101	4	COMB15	Combination	Min		-1.144
101	4.5	COMB15	Combination	Min		-1.144
101	5	COMB15	Combination	Min		-1.144
101	0	COMB16	Combination	Max		0.904
101	0.5	COMB16	Combination	Max		0.904
101	1	COMB16	Combination	Max		0.904
101	1.5	COMB16	Combination	Max		0.904
101	2	COMB16	Combination	Max		0.904
101	2.5	COMB16	Combination	Max		0.904
101	3	COMB16	Combination	Max		0.904
101	3.5	COMB16	Combination	Max		0.904
101	4	COMB16	Combination	Max		0.904
101	4.5	COMB16	Combination	Max		0.904
101	5	COMB16	Combination	Max		0.904
101	0	COMB16	Combination	Min		-1.088

101	0.5	COMB16	Combination	Min		-1.088
101	1	COMB16	Combination	Min		-1.088
101	1.5	COMB16	Combination	Min		-1.088
101	2	COMB16	Combination	Min		-1.088
101	2.5	COMB16	Combination	Min		-1.088
101	3	COMB16	Combination	Min		-1.088
101	3.5	COMB16	Combination	Min		-1.088
101	4	COMB16	Combination	Min		-1.088
101	4.5	COMB16	Combination	Min		-1.088
101	5	COMB16	Combination	Min		-1.088
101	0	COMB17	Combination	Max		0.86
101	0.5	COMB17	Combination	Max		0.86
101	1	COMB17	Combination	Max		0.86
101	1.5	COMB17	Combination	Max		0.86
101	2	COMB17	Combination	Max		0.86
101	2.5	COMB17	Combination	Max		0.86
101	3	COMB17	Combination	Max		0.86
101	3.5	COMB17	Combination	Max		0.86
101	4	COMB17	Combination	Max		0.86
101	4.5	COMB17	Combination	Max		0.86
101	5	COMB17	Combination	Max		0.86
101	0	COMB17	Combination	Min		-1.132
101	0.5	COMB17	Combination	Min		-1.132
101	1	COMB17	Combination	Min		-1.132
101	1.5	COMB17	Combination	Min		-1.132
101	2	COMB17	Combination	Min		-1.132
101	2.5	COMB17	Combination	Min		-1.132
101	3	COMB17	Combination	Min		-1.132
101	3.5	COMB17	Combination	Min		-1.132
101	4	COMB17	Combination	Min		-1.132
101	4.5	COMB17	Combination	Min		-1.132
101	5	COMB17	Combination	Min		-1.132
101	0	COMB18	Combination	Max		0.892
101	0.5	COMB18	Combination	Max		0.892
101	1	COMB18	Combination	Max		0.892
101	1.5	COMB18	Combination	Max		0.892
101	2	COMB18	Combination	Max		0.892
101	2.5	COMB18	Combination	Max		0.892
101	3	COMB18	Combination	Max		0.892
101	3.5	COMB18	Combination	Max		0.892
101	4	COMB18	Combination	Max		0.892
101	4.5	COMB18	Combination	Max		0.892
101	5	COMB18	Combination	Max		0.892

101	0	COMB18	Combination	Min		-1.1
101	0.5	COMB18	Combination	Min		-1.1
101	1	COMB18	Combination	Min		-1.1
101	1.5	COMB18	Combination	Min		-1.1
101	2	COMB18	Combination	Min		-1.1
101	2.5	COMB18	Combination	Min		-1.1
101	3	COMB18	Combination	Min		-1.1
101	3.5	COMB18	Combination	Min		-1.1
101	4	COMB18	Combination	Min		-1.1
101	4.5	COMB18	Combination	Min		-1.1
101	5	COMB18	Combination	Min		-1.1

TABLE: Element Forces – Frames, Part 2 of 2					FrameElem	ElemStation
V2	V3	T	M2	M3	Text	m
KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m		
-10.756	0.000687	-0.0063	0.0019	-9.1587	101-1	0
-8.638	0.000687	-0.0063	0.0015	-4.3103	101-1	0.5
-6.519	0.000687	-0.0063	0.0012	-0.5211	101-1	1
-4.401	0.000687	-0.0063	0.000831	2.2091	101-1	1.5
-2.283	0.000687	-0.0063	0.000488	3.8801	101-1	2
-0.165	0.000687	-0.0063	0.000145	4.492	101-1	2.5
1.954	0.000687	-0.0063	-0.0002	4.0447	101-1	3
4.072	0.000687	-0.0063	-0.00054	2.5384	101-1	3.5
6.19	0.000687	-0.0063	-0.00089	-0.0271	101-1	4
8.308	0.000687	-0.0063	-0.0012	-3.6516	101-1	4.5
10.427	0.000687	-0.0063	-0.0016	-8.3353	101-1	5
-0.056	9.95E-06	-0.0023	2.28E-05	-0.1396	101-1	0
-0.056	9.95E-06	-0.0023	1.78E-05	-0.1117	101-1	0.5
-0.056	9.95E-06	-0.0023	1.28E-05	-0.0837	101-1	1
-0.056	9.95E-06	-0.0023	7.83E-06	-0.0558	101-1	1.5
-0.056	9.95E-06	-0.0023	2.86E-06	-0.0278	101-1	2
-0.056	9.95E-06	-0.0023	-2.1E-06	0.000105	101-1	2.5
-0.056	9.95E-06	-0.0023	-7.1E-06	0.028	101-1	3
-0.056	9.95E-06	-0.0023	-1.2E-05	0.056	101-1	3.5
-0.056	9.95E-06	-0.0023	-1.7E-05	0.0839	101-1	4
-0.056	9.95E-06	-0.0023	-2.2E-05	0.1119	101-1	4.5
-0.056	9.95E-06	-0.0023	-2.7E-05	0.1398	101-1	5
-0.116	1.95E-05	-0.0048	4.47E-05	-0.2905	101-1	0
-0.116	1.95E-05	-0.0048	3.49E-05	-0.2324	101-1	0.5
-0.116	1.95E-05	-0.0048	2.52E-05	-0.1742	101-1	1
-0.116	1.95E-05	-0.0048	1.54E-05	-0.1161	101-1	1.5
-0.116	1.95E-05	-0.0048	5.64E-06	-0.0579	101-1	2
-0.116	1.95E-05	-0.0048	-4.1E-06	0.00022	101-1	2.5

-0.116	1.95E-05	-0.0048	-1.4E-05	0.0584	101-1	3
-0.116	1.95E-05	-0.0048	-2.4E-05	0.1165	101-1	3.5
-0.116	1.95E-05	-0.0048	-3.3E-05	0.1747	101-1	4
-0.116	1.95E-05	-0.0048	-4.3E-05	0.2328	101-1	4.5
-0.116	1.95E-05	-0.0048	-5.3E-05	0.291	101-1	5
24.261	0.012	0.0506	0.0359	61.3543	101-1	0
24.261	0.012	0.0506	0.0298	49.2239	101-1	0.5
24.261	0.012	0.0506	0.0238	37.0936	101-1	1
24.261	0.012	0.0506	0.0178	24.9632	101-1	1.5
24.261	0.012	0.0506	0.0119	12.8329	101-1	2
24.261	0.012	0.0506	0.0065	0.7026	101-1	2.5
24.261	0.012	0.0506	0.0042	11.4278	101-1	3
24.261	0.012	0.0506	0.0082	23.5581	101-1	3.5
24.261	0.012	0.0506	0.0139	35.6885	101-1	4
24.261	0.012	0.0506	0.0198	47.8188	101-1	4.5
24.261	0.012	0.0506	0.0258	59.9492	101-1	5
7.278	0.014	0.1625	0.0291	18.4064	101-1	0
7.278	0.014	0.1625	0.0221	14.7672	101-1	0.5
7.278	0.014	0.1625	0.0152	11.1281	101-1	1
7.278	0.014	0.1625	0.0085	7.489	101-1	1.5
7.278	0.014	0.1625	0.0037	3.8499	101-1	2
7.278	0.014	0.1625	0.0073	0.2111	101-1	2.5
7.278	0.014	0.1625	0.0139	3.4284	101-1	3
7.278	0.014	0.1625	0.0208	7.0675	101-1	3.5
7.278	0.014	0.1625	0.0278	10.7067	101-1	4
7.278	0.014	0.1625	0.0348	14.3458	101-1	4.5
7.278	0.014	0.1625	0.0418	17.9849	101-1	5
-15.136	0.000975	-0.012	0.0026	-13.0176	101-1	0
-12.171	0.000975	-0.012	0.0022	-6.1908	101-1	0.5
-9.205	0.000975	-0.012	0.0017	-0.8467	101-1	1
-6.24	0.000975	-0.012	0.0012	3.0146	101-1	1.5
-3.274	0.000975	-0.012	0.000687	5.3931	101-1	2
-0.309	0.000975	-0.012	0.000199	6.2889	101-1	2.5
2.657	0.000975	-0.012	-0.00029	5.7019	101-1	3
5.622	0.000975	-0.012	-0.00078	3.6321	101-1	3.5
8.588	0.000975	-0.012	-0.0013	0.0796	101-1	4
11.553	0.000975	-0.012	-0.0018	-4.9557	101-1	4.5
14.519	0.000975	-0.012	-0.0022	-11.4737	101-1	5
-13.16	0.000867	-0.018	0.0023	-11.6228	101-1	0
-10.618	0.000867	-0.018	0.0019	-5.6782	101-1	0.5
-8.076	0.000867	-0.018	0.0015	-1.0045	101-1	1
-5.535	0.000867	-0.018	0.001	2.3982	101-1	1.5
-2.993	0.000867	-0.018	0.000598	4.53	101-1	2

-0.451	0.000867	-0.018	0.000164	5.3908	101-1	2.5
2.091	0.000867	-0.018	-0.00027	4.9807	101-1	3
4.633	0.000867	-0.018	-0.0007	3.2997	101-1	3.5
7.175	0.000867	-0.018	-0.0011	0.3477	101-1	4
9.717	0.000867	-0.018	-0.0016	-3.8752	101-1	4.5
12.259	0.000867	-0.018	-0.002	-9.3691	101-1	5
3.563	0.024	0.214	0.0545	34.4553	101-1	0
6.549	0.024	0.214	0.0426	31.9273	101-1	0.5
9.536	0.024	0.214	0.0307	27.906	101-1	1
12.523	0.024	0.214	0.0192	22.3914	101-1	1.5
15.509	0.024	0.214	0.0101	15.3834	101-1	2
18.496	0.024	0.214	0.0123	6.8824	101-1	2.5
21.483	0.024	0.214	0.0194	14.7148	101-1	3
24.47	0.024	0.214	0.0295	22.1501	101-1	3.5
27.456	0.024	0.214	0.0402	28.092	101-1	4
30.443	0.024	0.214	0.0511	32.5406	101-1	4.5
33.43	0.024	0.214	0.0621	35.4959	101-1	5
-34.284	-0.022	-0.2479	-0.0491	-61.2576	101-1	0
-31.298	-0.022	-0.2479	-0.0382	-44.8621	101-1	0.5
-28.311	-0.022	-0.2479	-0.0273	-29.96	101-1	1
-25.324	-0.022	-0.2479	-0.0168	-16.5513	101-1	1.5
-22.337	-0.022	-0.2479	-0.0087	-4.6359	101-1	2
-19.351	-0.022	-0.2479	-0.0119	5.7857	101-1	2.5
-16.364	-0.022	-0.2479	-0.02	-3.1128	101-1	3
-13.377	-0.022	-0.2479	-0.0311	-14.6009	101-1	3.5
-10.391	-0.022	-0.2479	-0.0428	-27.5823	101-1	4
-7.404	-0.022	-0.2479	-0.0548	-42.0571	101-1	4.5
-4.417	-0.022	-0.2479	-0.0667	-58.0253	101-1	5
8.103	0.024	0.2177	0.0537	38.3606	101-1	0
10.201	0.024	0.2177	0.0419	33.7846	101-1	0.5
12.298	0.024	0.2177	0.0302	28.16	101-1	1
14.395	0.024	0.2177	0.0189	21.487	101-1	1.5
16.492	0.024	0.2177	0.0099	13.7654	101-1	2
18.589	0.024	0.2177	0.0122	4.9957	101-1	2.5
20.686	0.024	0.2177	0.0195	13.0042	101-1	3
22.783	0.024	0.2177	0.0297	21.0605	101-1	3.5
24.88	0.024	0.2177	0.0406	28.0682	101-1	4
26.977	0.024	0.2177	0.0517	34.0273	101-1	4.5
29.074	0.024	0.2177	0.0628	38.938	101-1	5
-29.743	-0.022	-0.2443	-0.0499	-57.3523	101-1	0
-27.646	-0.022	-0.2443	-0.0388	-43.0049	101-1	0.5
-25.549	-0.022	-0.2443	-0.0278	-29.706	101-1	1
-23.452	-0.022	-0.2443	-0.0172	-17.4557	101-1	1.5

-21.355	-0.022	-0.2443	-0.0089	-6.2539	101-1	2
-19.258	-0.022	-0.2443	-0.012	3.899	101-1	2.5
-17.161	-0.022	-0.2443	-0.02	-4.8234	101-1	3
-15.064	-0.022	-0.2443	-0.0308	-15.6905	101-1	3.5
-12.967	-0.022	-0.2443	-0.0425	-27.6062	101-1	4
-10.87	-0.022	-0.2443	-0.0542	-40.5704	101-1	4.5
-8.773	-0.022	-0.2443	-0.0661	-54.5832	101-1	5
7.13	0.024	0.2169	0.0539	37.5237	101-1	0
9.418	0.024	0.2169	0.0421	33.3866	101-1	0.5
11.706	0.024	0.2169	0.0303	28.1056	101-1	1
13.994	0.024	0.2169	0.0189	21.6808	101-1	1.5
16.281	0.024	0.2169	0.01	14.1121	101-1	2
18.569	0.024	0.2169	0.0122	5.4	101-1	2.5
20.857	0.024	0.2169	0.0195	13.3708	101-1	3
23.144	0.024	0.2169	0.0296	21.2939	101-1	3.5
25.432	0.024	0.2169	0.0405	28.0733	101-1	4
27.72	0.024	0.2169	0.0516	33.7088	101-1	4.5
30.007	0.024	0.2169	0.0626	38.2004	101-1	5
-30.716	-0.022	-0.245	-0.0497	-58.1891	101-1	0
-28.429	-0.022	-0.245	-0.0387	-43.4029	101-1	0.5
-26.141	-0.022	-0.245	-0.0277	-29.7605	101-1	1
-23.853	-0.022	-0.245	-0.0171	-17.2619	101-1	1.5
-21.566	-0.022	-0.245	-0.0089	-5.9072	101-1	2
-19.278	-0.022	-0.245	-0.0119	4.3033	101-1	2.5
-16.99	-0.022	-0.245	-0.02	-4.4568	101-1	3
-14.703	-0.022	-0.245	-0.0309	-15.457	101-1	3.5
-12.415	-0.022	-0.245	-0.0425	-27.6011	101-1	4
-10.127	-0.022	-0.245	-0.0543	-40.889	101-1	4.5
-7.839	-0.022	-0.245	-0.0662	-55.3208	101-1	5
4.536	0.024	0.2148	0.0544	35.2921	101-1	0
7.332	0.024	0.2148	0.0424	32.3253	101-1	0.5
10.128	0.024	0.2148	0.0306	27.9605	101-1	1
12.924	0.024	0.2148	0.0191	22.1976	101-1	1.5
15.72	0.024	0.2148	0.0101	15.0367	101-1	2
18.516	0.024	0.2148	0.0123	6.4781	101-1	2.5
21.312	0.024	0.2148	0.0195	14.3482	101-1	3
24.108	0.024	0.2148	0.0295	21.9166	101-1	3.5
26.904	0.024	0.2148	0.0403	28.0869	101-1	4
29.7	0.024	0.2148	0.0513	32.8592	101-1	4.5
32.496	0.024	0.2148	0.0623	36.2335	101-1	5
-33.311	-0.022	-0.2471	-0.0493	-60.4207	101-1	0
-30.515	-0.022	-0.2471	-0.0383	-44.4642	101-1	0.5
-27.719	-0.022	-0.2471	-0.0274	-29.9056	101-1	1

-24.923	-0.022	-0.2471	-0.0169	-16.7451	101-1	1.5
-22.127	-0.022	-0.2471	-0.0088	-4.9826	101-1	2
-19.331	-0.022	-0.2471	-0.0119	5.3814	101-1	2.5
-16.535	-0.022	-0.2471	-0.02	-3.4793	101-1	3
-13.739	-0.022	-0.2471	-0.031	-14.8344	101-1	3.5
-10.943	-0.022	-0.2471	-0.0428	-27.5874	101-1	4
-8.147	-0.022	-0.2471	-0.0546	-41.7385	101-1	4.5
-5.35	-0.022	-0.2471	-0.0666	-57.2877	101-1	5
19.017	0.022	0.1122	0.0607	73.5379	101-1	0
22.003	0.022	0.1122	0.0496	63.2829	101-1	0.5
24.99	0.022	0.1122	0.0385	51.5346	101-1	1
27.977	0.022	0.1122	0.0276	38.2929	101-1	1.5
30.963	0.022	0.1122	0.0176	23.5579	101-1	2
33.95	0.022	0.1122	0.0115	7.3297	101-1	2.5
36.937	0.022	0.1122	0.0106	21.9942	101-1	3
39.924	0.022	0.1122	0.018	37.1565	101-1	3.5
42.91	0.022	0.1122	0.0276	50.8255	101-1	4
45.897	0.022	0.1122	0.0375	63.0011	101-1	4.5
48.884	0.022	0.1122	0.0476	73.6833	101-1	5
-49.738	-0.02	-0.1461	-0.0553	-100.34	101-1	0
-46.752	-0.02	-0.1461	-0.0452	-76.2177	101-1	0.5
-43.765	-0.02	-0.1461	-0.0352	-53.5886	101-1	1
-40.778	-0.02	-0.1461	-0.0253	-32.4529	101-1	1.5
-37.791	-0.02	-0.1461	-0.0162	-12.8105	101-1	2
-34.805	-0.02	-0.1461	-0.0111	5.3384	101-1	2.5
-31.818	-0.02	-0.1461	-0.0112	-10.3922	101-1	3
-28.831	-0.02	-0.1461	-0.0196	-29.6073	101-1	3.5
-25.845	-0.02	-0.1461	-0.0302	-50.3158	101-1	4
-22.858	-0.02	-0.1461	-0.0411	-72.5176	101-1	4.5
-19.871	-0.02	-0.1461	-0.0522	-96.2127	101-1	5
23.557	0.022	0.1159	0.0599	77.4432	101-1	0
25.655	0.022	0.1159	0.049	65.1401	101-1	0.5
27.752	0.022	0.1159	0.0381	51.7886	101-1	1
29.849	0.022	0.1159	0.0273	37.3886	101-1	1.5
31.946	0.022	0.1159	0.0174	21.94	101-1	2
34.043	0.022	0.1159	0.0115	5.443	101-1	2.5
36.14	0.022	0.1159	0.0107	20.2837	101-1	3
38.237	0.022	0.1159	0.0182	36.0669	101-1	3.5
40.334	0.022	0.1159	0.0279	50.8016	101-1	4
42.431	0.022	0.1159	0.038	64.4878	101-1	4.5
44.528	0.022	0.1159	0.0482	77.1255	101-1	5
-45.197	-0.021	-0.1425	-0.0561	-96.4349	101-1	0
-43.1	-0.021	-0.1425	-0.0458	-74.3605	101-1	0.5

-41.003	-0.021	-0.1425	-0.0356	-53.3346	101-1	1
-38.906	-0.021	-0.1425	-0.0256	-33.3572	101-1	1.5
-36.809	-0.021	-0.1425	-0.0164	-14.4284	101-1	2
-34.712	-0.021	-0.1425	-0.0112	3.4517	101-1	2.5
-32.615	-0.021	-0.1425	-0.0111	-12.1028	101-1	3
-30.518	-0.021	-0.1425	-0.0194	-30.697	101-1	3.5
-28.421	-0.021	-0.1425	-0.0298	-50.3397	101-1	4
-26.324	-0.021	-0.1425	-0.0406	-71.0309	101-1	4.5
-24.227	-0.021	-0.1425	-0.0515	-92.7706	101-1	5
19.99	0.022	0.113	0.0605	74.3747	101-1	0
22.786	0.022	0.113	0.0495	63.6809	101-1	0.5
25.582	0.022	0.113	0.0384	51.589	101-1	1
28.378	0.022	0.113	0.0276	38.0991	101-1	1.5
31.174	0.022	0.113	0.0176	23.2112	101-1	2
33.97	0.022	0.113	0.0115	6.9254	101-1	2.5
36.766	0.022	0.113	0.0106	21.6277	101-1	3
39.562	0.022	0.113	0.0181	36.923	101-1	3.5
42.358	0.022	0.113	0.0276	50.8204	101-1	4
45.154	0.022	0.113	0.0376	63.3197	101-1	4.5
47.95	0.022	0.113	0.0477	74.4209	101-1	5
-48.765	-0.02	-0.1453	-0.0555	-99.5033	101-1	0
-45.969	-0.02	-0.1453	-0.0453	-75.8197	101-1	0.5
-43.173	-0.02	-0.1453	-0.0353	-53.5342	101-1	1
-40.377	-0.02	-0.1453	-0.0253	-32.6467	101-1	1.5
-37.581	-0.02	-0.1453	-0.0163	-13.1572	101-1	2
-34.785	-0.02	-0.1453	-0.0112	4.9341	101-1	2.5
-31.989	-0.02	-0.1453	-0.0112	-10.7588	101-1	3
-29.193	-0.02	-0.1453	-0.0196	-29.8408	101-1	3.5
-26.397	-0.02	-0.1453	-0.0301	-50.3209	101-1	4
-23.601	-0.02	-0.1453	-0.041	-72.199	101-1	4.5
-20.804	-0.02	-0.1453	-0.052	-95.4751	101-1	5
22.584	0.022	0.1151	0.0601	76.6063	101-1	0
24.872	0.022	0.1151	0.0491	64.7422	101-1	0.5
27.16	0.022	0.1151	0.0382	51.7342	101-1	1
29.448	0.022	0.1151	0.0274	37.5824	101-1	1.5
31.735	0.022	0.1151	0.0175	22.2867	101-1	2
34.023	0.022	0.1151	0.0115	5.8473	101-1	2.5
36.311	0.022	0.1151	0.0107	20.6502	101-1	3
38.598	0.022	0.1151	0.0182	36.3004	101-1	3.5
40.886	0.022	0.1151	0.0279	50.8067	101-1	4
43.174	0.022	0.1151	0.0379	64.1692	101-1	4.5
45.461	0.022	0.1151	0.0481	76.3879	101-1	5
-46.17	-0.021	-0.1432	-0.0559	-97.2717	101-1	0

-43.883	-0.021	-0.1432	-0.0457	-74.7584	101-1	0.5
-41.595	-0.021	-0.1432	-0.0355	-53.389	101-1	1
-39.307	-0.021	-0.1432	-0.0255	-33.1634	101-1	1.5
-37.02	-0.021	-0.1432	-0.0164	-14.0817	101-1	2
-34.732	-0.021	-0.1432	-0.0112	3.856	101-1	2.5
-32.444	-0.021	-0.1432	-0.0111	-11.7363	101-1	3
-30.157	-0.021	-0.1432	-0.0194	-30.4635	101-1	3.5
-27.869	-0.021	-0.1432	-0.0299	-50.3345	101-1	4
-25.581	-0.021	-0.1432	-0.0407	-71.3495	101-1	4.5
-23.293	-0.021	-0.1432	-0.0516	-93.5082	101-1	5
6.922	0.024	0.2214	0.0539	37.5353	101-1	0
9.274	0.024	0.2214	0.0421	33.4863	101-1	0.5
11.625	0.024	0.2214	0.0304	28.2617	101-1	1
13.976	0.024	0.2214	0.0189	21.8615	101-1	1.5
16.327	0.024	0.2214	0.01	14.2856	101-1	2
18.679	0.024	0.2214	0.0123	5.5346	101-1	2.5
21.03	0.024	0.2214	0.0195	13.4346	101-1	3
23.381	0.024	0.2214	0.0296	21.2553	101-1	3.5
25.732	0.024	0.2214	0.0405	27.9003	101-1	4
28.084	0.024	0.2214	0.0516	33.3697	101-1	4.5
30.435	0.024	0.2214	0.0626	37.6636	101-1	5
-30.924	-0.022	-0.2405	-0.0497	-58.1776	101-1	0
-28.573	-0.022	-0.2405	-0.0387	-43.3032	101-1	0.5
-26.222	-0.022	-0.2405	-0.0277	-29.6044	101-1	1
-23.871	-0.022	-0.2405	-0.0171	-17.0812	101-1	1.5
-21.519	-0.022	-0.2405	-0.0089	-5.7337	101-1	2
-19.168	-0.022	-0.2405	-0.0119	4.4378	101-1	2.5
-16.817	-0.022	-0.2405	-0.02	-4.393	101-1	3
-14.466	-0.022	-0.2405	-0.0309	-15.4957	101-1	3.5
-12.114	-0.022	-0.2405	-0.0425	-27.774	101-1	4
-9.763	-0.022	-0.2405	-0.0543	-41.228	101-1	4.5
-7.412	-0.022	-0.2405	-0.0662	-55.8576	101-1	5
11.463	0.024	0.225	0.0531	41.4406	101-1	0
12.925	0.024	0.225	0.0414	35.3436	101-1	0.5
14.386	0.024	0.225	0.0299	28.5157	101-1	1
15.848	0.024	0.225	0.0186	20.9571	101-1	1.5
17.31	0.024	0.225	0.0098	12.6677	101-1	2
18.771	0.024	0.225	0.0122	3.6479	101-1	2.5
20.233	0.024	0.225	0.0196	11.724	101-1	3
21.694	0.024	0.225	0.0299	20.1656	101-1	3.5
23.156	0.024	0.225	0.0409	27.8764	101-1	4
24.618	0.024	0.225	0.0521	34.8564	101-1	4.5
26.079	0.024	0.225	0.0633	41.1057	101-1	5

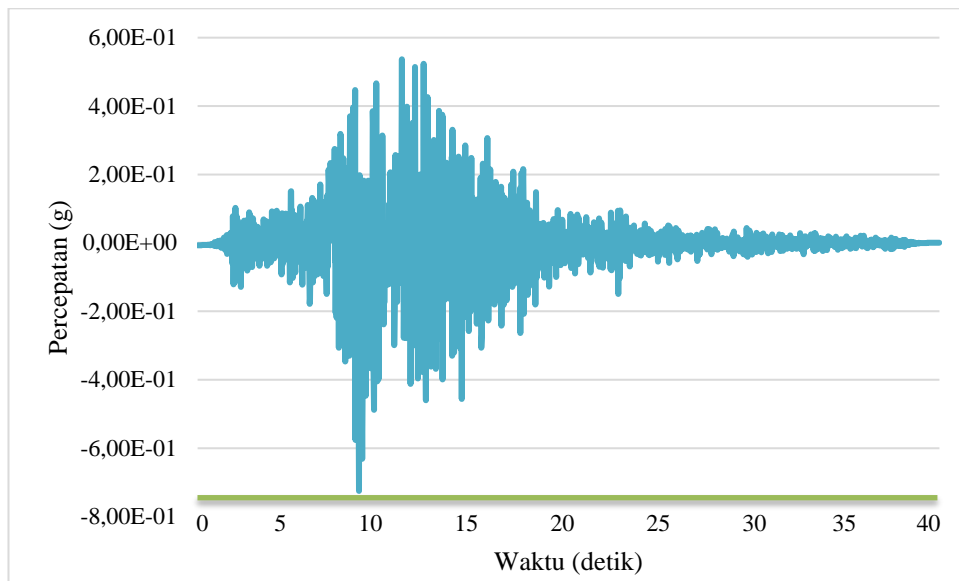
-26.384	-0.023	-0.2369	-0.0505	-54.2723	101-1	0
-24.922	-0.023	-0.2369	-0.0393	-41.4459	101-1	0.5
-23.46	-0.023	-0.2369	-0.0282	-29.3504	101-1	1
-21.999	-0.023	-0.2369	-0.0174	-17.9856	101-1	1.5
-20.537	-0.023	-0.2369	-0.0091	-7.3516	101-1	2
-19.076	-0.023	-0.2369	-0.012	2.5511	101-1	2.5
-17.614	-0.023	-0.2369	-0.0199	-6.1036	101-1	3
-16.152	-0.023	-0.2369	-0.0306	-16.5854	101-1	3.5
-14.691	-0.023	-0.2369	-0.0422	-27.7979	101-1	4
-13.229	-0.023	-0.2369	-0.0538	-39.7413	101-1	4.5
-11.768	-0.023	-0.2369	-0.0655	-52.4155	101-1	5
10.49	0.024	0.2243	0.0533	40.6037	101-1	0
12.142	0.024	0.2243	0.0416	34.9456	101-1	0.5
13.795	0.024	0.2243	0.03	28.4613	101-1	1
15.447	0.024	0.2243	0.0187	21.1509	101-1	1.5
17.099	0.024	0.2243	0.0098	13.0144	101-1	2
18.751	0.024	0.2243	0.0122	4.0522	101-1	2.5
20.404	0.024	0.2243	0.0196	12.0906	101-1	3
22.056	0.024	0.2243	0.0298	20.3991	101-1	3.5
23.708	0.024	0.2243	0.0408	27.8815	101-1	4
25.36	0.024	0.2243	0.052	34.5379	101-1	4.5
27.012	0.024	0.2243	0.0632	40.3681	101-1	5
-27.357	-0.023	-0.2377	-0.0504	-55.1091	101-1	0
-25.704	-0.023	-0.2377	-0.0392	-41.8439	101-1	0.5
-24.052	-0.023	-0.2377	-0.0281	-29.4048	101-1	1
-22.4	-0.023	-0.2377	-0.0174	-17.7918	101-1	1.5
-20.748	-0.023	-0.2377	-0.0091	-7.0049	101-1	2
-19.095	-0.023	-0.2377	-0.012	2.9554	101-1	2.5
-17.443	-0.023	-0.2377	-0.0199	-5.737	101-1	3
-15.791	-0.023	-0.2377	-0.0307	-16.3519	101-1	3.5
-14.139	-0.023	-0.2377	-0.0422	-27.7928	101-1	4
-12.487	-0.023	-0.2377	-0.0539	-40.0599	101-1	4.5
-10.834	-0.023	-0.2377	-0.0657	-53.1531	101-1	5
7.895	0.024	0.2222	0.0537	38.3722	101-1	0
10.056	0.024	0.2222	0.0419	33.8843	101-1	0.5
12.217	0.024	0.2222	0.0303	28.3161	101-1	1
14.377	0.024	0.2222	0.0189	21.6677	101-1	1.5
16.538	0.024	0.2222	0.0099	13.9389	101-1	2
18.698	0.024	0.2222	0.0122	5.1303	101-1	2.5
20.859	0.024	0.2222	0.0195	13.068	101-1	3
23.02	0.024	0.2222	0.0297	21.0218	101-1	3.5
25.18	0.024	0.2222	0.0406	27.8952	101-1	4
27.341	0.024	0.2222	0.0517	33.6883	101-1	4.5

29.501	0.024	0.2222	0.0628	38.4012	101-1	5
-29.951	-0.022	-0.2397	-0.0499	-57.3407	101-1	0
-27.791	-0.022	-0.2397	-0.0388	-42.9052	101-1	0.5
-25.63	-0.022	-0.2397	-0.0278	-29.5499	101-1	1
-23.47	-0.022	-0.2397	-0.0172	-17.275	101-1	1.5
-21.309	-0.022	-0.2397	-0.0089	-6.0804	101-1	2
-19.148	-0.022	-0.2397	-0.0119	4.0335	101-1	2.5
-16.988	-0.022	-0.2397	-0.0199	-4.7596	101-1	3
-14.827	-0.022	-0.2397	-0.0308	-15.7292	101-1	3.5
-12.667	-0.022	-0.2397	-0.0424	-27.7792	101-1	4
-10.506	-0.022	-0.2397	-0.0542	-40.9094	101-1	4.5
-8.345	-0.022	-0.2397	-0.066	-55.12	101-1	5
22.376	0.022	0.1196	0.0601	76.6179	101-1	0
24.728	0.022	0.1196	0.0491	64.8419	101-1	0.5
27.079	0.022	0.1196	0.0382	51.8903	101-1	1
29.43	0.022	0.1196	0.0274	37.763	101-1	1.5
31.781	0.022	0.1196	0.0175	22.4602	101-1	2
34.133	0.022	0.1196	0.0115	5.9819	101-1	2.5
36.484	0.022	0.1196	0.0107	20.714	101-1	3
38.835	0.022	0.1196	0.0182	36.2617	101-1	3.5
41.186	0.022	0.1196	0.0279	50.6338	101-1	4
43.538	0.022	0.1196	0.0379	63.8302	101-1	4.5
45.889	0.022	0.1196	0.0481	75.851	101-1	5
-46.378	-0.021	-0.1387	-0.0559	-97.2601	101-1	0
-44.027	-0.021	-0.1387	-0.0457	-74.6587	101-1	0.5
-41.676	-0.021	-0.1387	-0.0355	-53.2329	101-1	1
-39.325	-0.021	-0.1387	-0.0255	-32.9828	101-1	1.5
-36.973	-0.021	-0.1387	-0.0164	-13.9082	101-1	2
-34.622	-0.021	-0.1387	-0.0112	3.9905	101-1	2.5
-32.271	-0.021	-0.1387	-0.0111	-11.6724	101-1	3
-29.92	-0.021	-0.1387	-0.0194	-30.5022	101-1	3.5
-27.569	-0.021	-0.1387	-0.0299	-50.5075	101-1	4
-25.217	-0.021	-0.1387	-0.0407	-71.6885	101-1	4.5
-22.866	-0.021	-0.1387	-0.0516	-94.0451	101-1	5
26.917	0.022	0.1232	0.0593	80.5232	101-1	0
28.379	0.022	0.1232	0.0485	66.6991	101-1	0.5
29.84	0.022	0.1232	0.0377	52.1443	101-1	1
31.302	0.022	0.1232	0.027	36.8587	101-1	1.5
32.764	0.022	0.1232	0.0173	20.8422	101-1	2
34.225	0.022	0.1232	0.0114	4.0952	101-1	2.5
35.687	0.022	0.1232	0.0107	19.0035	101-1	3
37.148	0.022	0.1232	0.0184	35.1721	101-1	3.5
38.61	0.022	0.1232	0.0282	50.6099	101-1	4

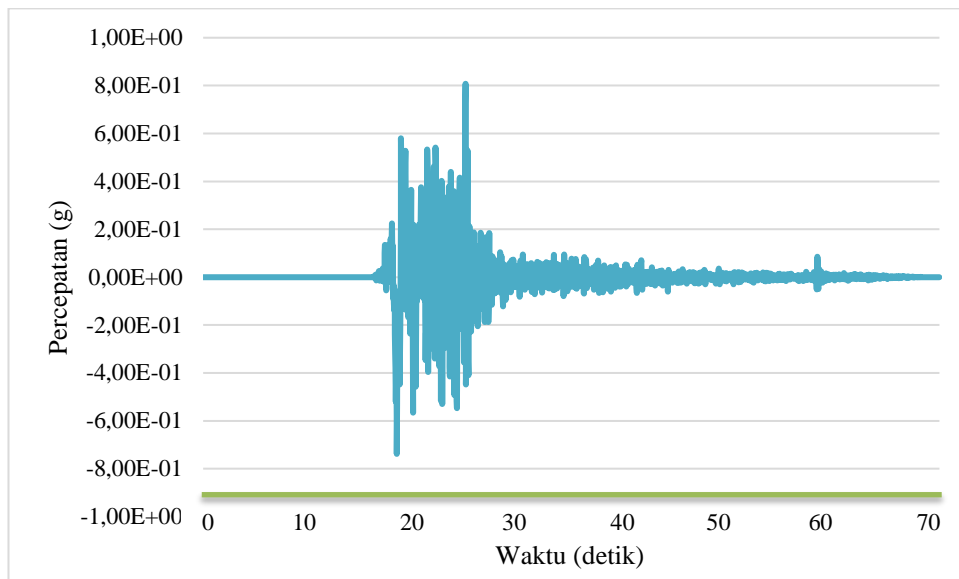
40.072	0.022	0.1232	0.0384	65.3169	101-1	4.5
41.533	0.022	0.1232	0.0488	79.2931	101-1	5
-41.838	-0.021	-0.1351	-0.0567	-93.3549	101-1	0
-40.376	-0.021	-0.1351	-0.0463	-72.8015	101-1	0.5
-38.914	-0.021	-0.1351	-0.036	-52.9789	101-1	1
-37.453	-0.021	-0.1351	-0.0259	-33.8871	101-1	1.5
-35.991	-0.021	-0.1351	-0.0166	-15.5262	101-1	2
-34.53	-0.021	-0.1351	-0.0112	2.1039	101-1	2.5
-33.068	-0.021	-0.1351	-0.011	-13.383	101-1	3
-31.606	-0.021	-0.1351	-0.0192	-31.5918	101-1	3.5
-30.145	-0.021	-0.1351	-0.0295	-50.5314	101-1	4
-28.683	-0.021	-0.1351	-0.0402	-70.2018	101-1	4.5
-27.222	-0.021	-0.1351	-0.051	-90.6029	101-1	5
23.349	0.022	0.1204	0.0599	77.4547	101-1	0
25.51	0.022	0.1204	0.049	65.2399	101-1	0.5
27.671	0.022	0.1204	0.0381	51.9447	101-1	1
29.831	0.022	0.1204	0.0273	37.5692	101-1	1.5
31.992	0.022	0.1204	0.0174	22.1135	101-1	2
34.152	0.022	0.1204	0.0115	5.5776	101-1	2.5
36.313	0.022	0.1204	0.0107	20.3475	101-1	3
38.474	0.022	0.1204	0.0182	36.0282	101-1	3.5
40.634	0.022	0.1204	0.0279	50.6286	101-1	4
42.795	0.022	0.1204	0.038	64.1488	101-1	4.5
44.955	0.022	0.1204	0.0482	76.5886	101-1	5
-45.405	-0.021	-0.1379	-0.0561	-96.4233	101-1	0
-43.245	-0.021	-0.1379	-0.0458	-74.2608	101-1	0.5
-41.084	-0.021	-0.1379	-0.0356	-53.1785	101-1	1
-38.924	-0.021	-0.1379	-0.0256	-33.1766	101-1	1.5
-36.763	-0.021	-0.1379	-0.0164	-14.2549	101-1	2
-34.602	-0.021	-0.1379	-0.0112	3.5862	101-1	2.5
-32.442	-0.021	-0.1379	-0.0111	-12.039	101-1	3
-30.281	-0.021	-0.1379	-0.0194	-30.7357	101-1	3.5
-28.121	-0.021	-0.1379	-0.0298	-50.5126	101-1	4
-25.96	-0.021	-0.1379	-0.0406	-71.3699	101-1	4.5
-23.799	-0.021	-0.1379	-0.0515	-93.3075	101-1	5
25.944	0.022	0.1225	0.0595	79.6863	101-1	0
27.596	0.022	0.1225	0.0486	66.3011	101-1	0.5
29.249	0.022	0.1225	0.0378	52.0899	101-1	1
30.901	0.022	0.1225	0.0271	37.0524	101-1	1.5
32.553	0.022	0.1225	0.0173	21.1889	101-1	2
34.205	0.022	0.1225	0.0114	4.4995	101-1	2.5
35.858	0.022	0.1225	0.0107	19.37	101-1	3
37.51	0.022	0.1225	0.0184	35.4056	101-1	3.5

39.162	0.022	0.1225	0.0282	50.615	101-1	4
40.814	0.022	0.1225	0.0383	64.9983	101-1	4.5
42.466	0.022	0.1225	0.0486	78.5555	101-1	5
-42.811	-0.021	-0.1359	-0.0565	-94.1917	101-1	0
-41.158	-0.021	-0.1359	-0.0462	-73.1995	101-1	0.5
-39.506	-0.021	-0.1359	-0.0359	-53.0334	101-1	1
-37.854	-0.021	-0.1359	-0.0258	-33.6934	101-1	1.5
-36.202	-0.021	-0.1359	-0.0166	-15.1795	101-1	2
-34.549	-0.021	-0.1359	-0.0112	2.5081	101-1	2.5
-32.897	-0.021	-0.1359	-0.0111	-13.0165	101-1	3
-31.245	-0.021	-0.1359	-0.0192	-31.3583	101-1	3.5
-29.593	-0.021	-0.1359	-0.0296	-50.5263	101-1	4
-27.941	-0.021	-0.1359	-0.0403	-70.5203	101-1	4.5
-26.288	-0.021	-0.1359	-0.0511	-91.3405	101-1	5

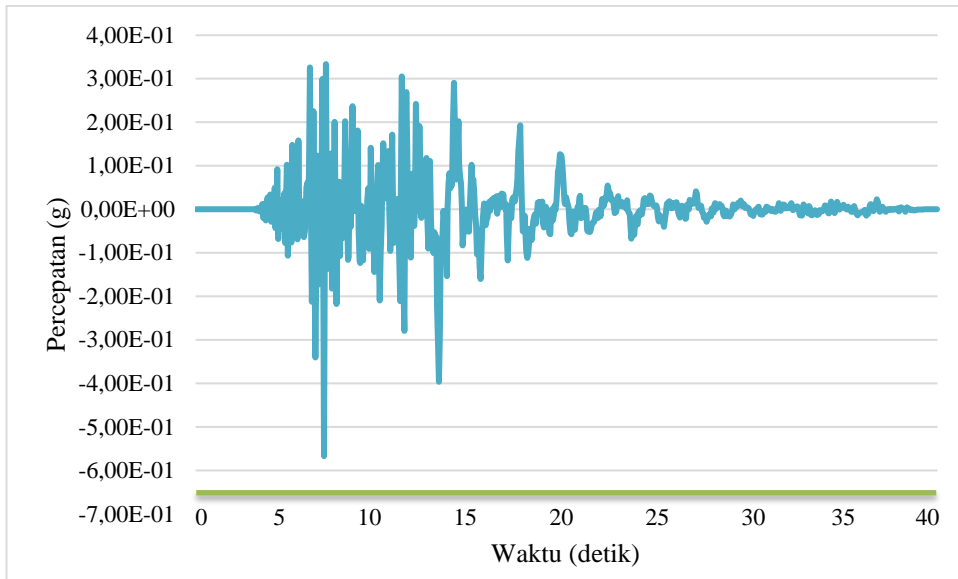
L2 : Rekaman gempa



Landers (1992)



BAM (2003)



Kobe (1995)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Muhammad Fajar Pratama
Panggilan : Fajar
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 08 Maret 1995
Jenis Kelamin : Laki – Laki
Alamat : Jalan Wakaf Lingk VI, Sunggal
Kecamatan Medan Sunggal
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Suparno
Ibu : Yarti Astuti
No. HP : 085261528543
E-Mail : fajar.waw@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1307210181
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Mughtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	TK	TKS Babussalam Sunggal	2001
1	SD	SDS Bina Sejahtera Sunggal	2007
2	SMP	SMP Negeri 1 Medan	2010
3	SMK	SMKS Namira Technology Nusantara Medan	2013
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2013 sampai selesai.		