



**STUDI KINERJA STRUKTUR GEDUNG SUPERMALL
PAKUWON MANSION PHASE-1 SURABAYA
MENGUNAKAN METODE ANALISA
*PUSHOVER***

SKRIPSI

Oleh

**Arum Seto Palupi
NIM 111910301091**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



**STUDI KINERJA STRUKTUR GEDUNG SUPERMALL
PAKUWON MANSION PHASE-1 SURABAYA
MENGUNAKAN METODE ANALISA
*PUSHOVER***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Arum Seto Palupi
NIM 111910301091**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arum Seto Palupi

NIM : 111910301091

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul **”Studi Kinerja Struktur Gedung Supermall-Pakuwon *Mansion Phase-1* Surabaya Menggunakan Analisa *Pushover*”** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak.

Jember, Juni 2015

Yang menyatakan,

Arum Seto Palupi

NIM. 111910301091



SKRIPSI

**STUDI KINERJA STRUKTUR GEDUNG SUPERMALL
PAKUWON MANSION PHASE-1 SURABAYA
MENGUNAKAN METODE ANALISA
*PUSHOVER***

Oleh :

Arum Seto Palupi

111910301091

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Erno Widayanto, S.T., M.T

Dosen Pembimbing Anggota : Ahmad Hasanuddin, S.T., M.T

ABSTRAK

Arum Seto Palupi, 2015. Studi Kinerja Struktur Gedung Supermall-Pakuwon *Mansion Phase-1* Surabaya Menggunakan Metode Analisa *Pushover*.

Indonesia daerah rawan gempa yang menyebabkan kerusakan struktur dan berimbas kerugian materiil maupun non materiil. Untuk mengurangi resiko kerusakan struktur yang signifikan akibat gempa diperlukan perencanaan bangunan tahan gempa dan analisis lebih jauh untuk mengukur kinerja model struktur bangunan gedung di bawah beban gempa dalam kondisi pasca elastik. Evaluasi kinerja struktur dapat dilakukan dengan analisis *pushover* yang mengacu pada SNI 03-1726-2002, Federal Emergency Management Agency (FEMA) 273, FEMA 356, dan Applied Technology Council (ATC)-40. Kinerja model struktur bangunan gedung yang terletak di Wilayah Gempa 2 dianalisis untuk mendapatkan tingkat kinerja struktur tersebut terhadap berbagai macam beban, termasuk beban gempa.

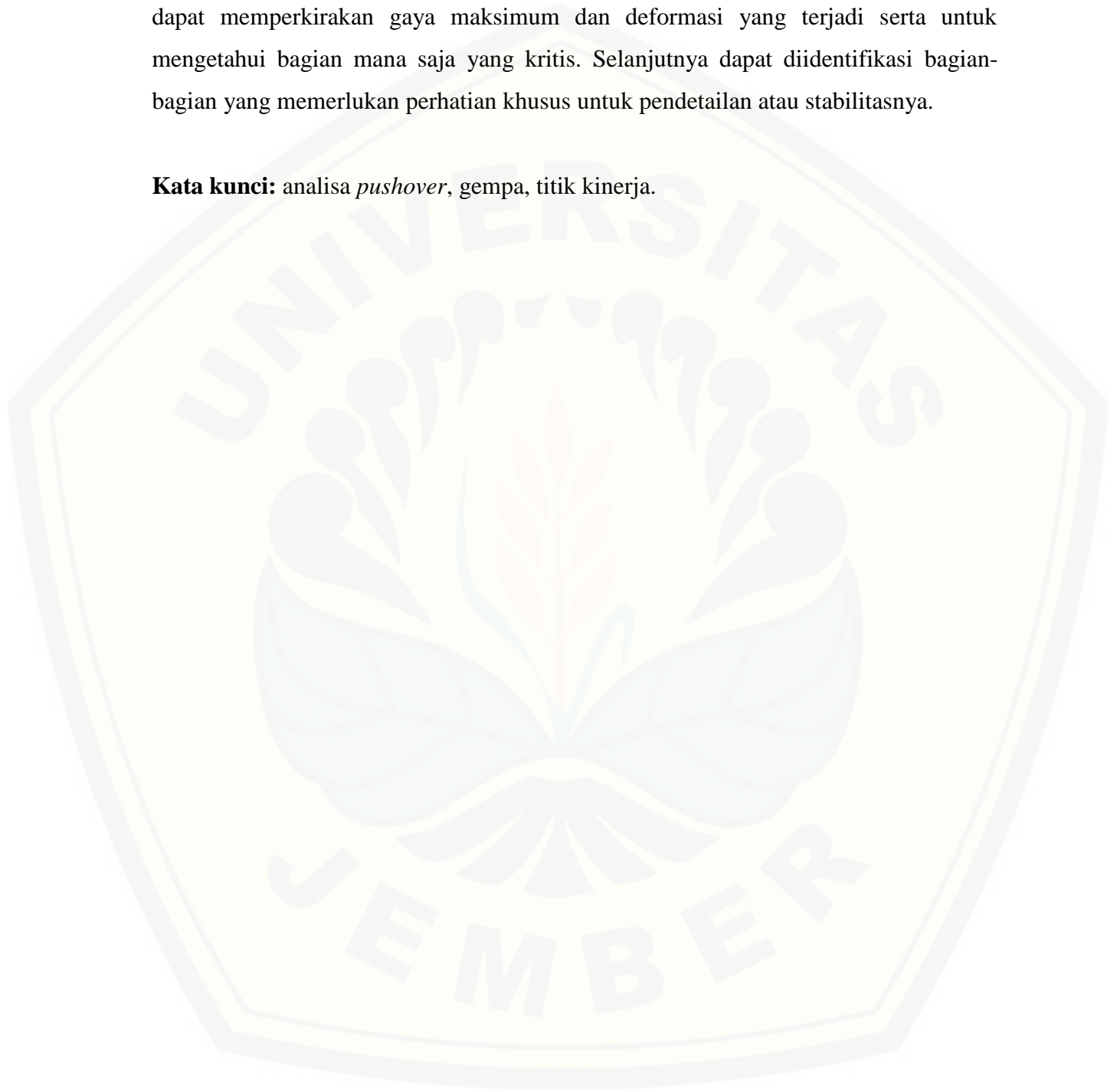
Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui kinerja struktur gedung Supermall Pakuwon *Mansion Phase-1* Surabaya menggunakan metode analisa *pushover* serta memperlihatkan bahwa struktur yang telah memenuhi syarat kekuatan menggunakan metode perencanaan batas sesuai dengan peraturan desain gedung bertingkat masih memerlukan analisis lebih jauh untuk mengukur kinerja struktur bangunan gedung dibawah beban gempa dalam kondisi pasca elastik.

Hasil studi menunjukkan bahwa gaya geser dari analisa pushover pada arah X sebesar 49017.7935 ton. Maksimum total *drift* adalah 0.017 m, sehingga gedung termasuk dalam level kinerja Damage Control (DC). Nilai *displacement* gedung sebesar 1.3799 m tidak melampaui *displacement* maksimal, sehingga gedung aman terhadap gempa rencana.

Nilai gempa rencana perlu diwaspadai karena berdasarkan peta gempa terbaru yang terdapat di dalam RSNI 03-1726-2010, nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di semua wilayah Indonesia lebih tinggi daripada nilai PGA pada peta gempa yang

terdapat di dalam SNI 03-1726-2002. Dengan menggunakan metode analisa *pushover* dapat memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk mengetahui bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya.

Kata kunci: analisa *pushover*, gempa, titik kinerja.



ABSTRACT

Arum Seto Palupi, 2015. Structure Performance Study of Supermall-Pakuwon Mansion Phase-1 Surabaya Building Using Pushover Analysis Method.

Indonesia is located in earthquake risk area which cause damage to the structure and impact of material and non-material losses. In order to reduce the significant risk a seismic resistant structure and analysis to calculate the performance point of building subject to seismic load in in-elastic condition is needed. The performance analysis can be done by *pushover* analysis which refers to the SNI 03-1726-2002, Federal Emergency Management Agency (FEMA) 273, FEMA 356, and Applied Technology Council (ATC)-40. The performance point of building subject is located in 2nd seismic zone are analyzed to get the level of performance point of building subject on many kind of loads, including seismic loads.

The purpose of this study is to determine the structure performance of Supermall-Pakuwon Mansion Phase-1 Surabaya building using pushover analysis method and show the structure that has been qualified still require futher analysis to calculate the performance point of building subject to seismic load in in-elastic condition.

The result of this study showed that the shear force of x direction in pushover analysis is 49017.7935 ton. Maximum total drift is 0.017 m, according to ATC-40 the building included in Damage Control (DC) performance level. Displacement value is 1.3799 m does not exceed the maximum displacement, so the building is safe from earthquake.

Seismic acceleration value is an important parameter for earthquake engineering because in the latest seismic hazard maps by RSNI 03-1726-2010, Peak Ground Acceleration value in all seismic zone of Indonesia is higher than the PGA value on seismic hazard maps by SNI 03-1726-2002. Using pushover analysis can

estimate maximum force and deformation to know the critical performance points. Futhermore can identificate the performance point that require special attention for detailing or stability.

Key words: pushover analysis, seismic, performance point.



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.1.1 Konsep Dasar Mekanisme Gempa	6
2.1.2 Wilayah Gempa	7
2.2 Dasar Teori	9
2.2.1 Pembebanan	9
2.2.2 Sistem Struktur	11
2.2.3 Perencanaan Gempa Rencana	12
2.2.4 Perancangan Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja	13
2.2.5 Analisa <i>Pushover</i>	15
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Pengumpulan Data	19

3.2	Kerangka Penelitian	19
3.3	Diagram Alir Penelitian	21
BAB 4.	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	24
4.1	Perhitungan Berat Sendiri Bangunan.....	24
4.1.1	Data Struktur Bangunan Gedung.....	24
4.1.2	Beban Pada Gedung	25
4.1.3	Perhitungan Pembebanan Pada Struktur	27
4.1.4	Perhitungan Beban Mati Diluar Berat Sendiri Per m ²	27
4.2	Perhitungan Beban Akibat Tekanan Tanah Pasif	27
4.2.1	Tekanan Tanah Arah Horisontal Pada Dinding Penahan Tanah	27
4.2.2	Tekanan ke Atas (Uplift) Pada Lantai dan Pondasi.....	28
4.3	Analisis Statik Ekuivalen.....	29
4.3.1	Perhitungan Periode Getar Pada Wilayah Gempa 2 (SNI 02-1726-2002).....	29
4.3.2	Perhitungan Gaya Geser Nominal.....	30
4.4	Pemodelan Gedung Pada ETABS 2013	32
4.4.1	Pembebanan Elemen	32
4.4.2	Analisis Pushover.....	32
4.5	Hasil Analisis <i>Pushover</i>	36
4.5.1	Kurva Kapasitas	36
4.5.2	Kurva Kapasitas Spektrum.....	37
4.6	Pembahasan.....	37
4.7	Perhitungan <i>Performance Point</i> Menurut ATC40 dalam Format ADRS.....	38
4.7.1	Perhitungan Kurva Kapasitas Menjadi Kurva	

Spektrum	38
4.7.2 Demand Spectrum	41
4.7.3 Menentukan Nilai d_y dan a_y	42
4.7.4 Persamaan Garis Linear Pada Kurva Kapasitas	43
4.7.5 Perhitungan Demand Spektrum Baru	43
4.7.6 Performa Level.....	46
4.8 Skema Distribusi Sendi Plastis	46
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
DAFTAR LAMPIRAN.....	56

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Koefisien ξ yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung	13
Tabel 4.1 Konfigurasi Gedung.....	24
Tabel 4.2 Tipe Balok.....	25
Tabel 4.3 Tipe Kolom	25
Tabel 4.4 Perhitungan Pembebanan Pada Struktur	27
Tabel 4.5 Distribusi Beban Lateral Per Lantai.....	32
Tabel 4.6 Nilai Performance Point.....	37
Tabel 4.7 Nilai Displacement Per Lantai	39
Tabel 4.8 Faktor α dan MPF	39
Tabel 4.9 Perhitungan Kurva Kapasitas dalam Format ADRS.....	40
Tabel 4.10 Rekapitulasi Balok dan Kolom Akibat Sendi Plastis Step-1 ...	47
Tabel 4.11 Rekapitulasi Balok dan Kolom Akibat Sendi Plastis Step-2 ...	48
Tabel 4.12 Rekapitulasi Balok dan Kolom Akibat Sendi Plastis Step-3 ...	49
Tabel 4.13 Rekapitulasi Balok dan Kolom Akibat Sendi Plastis Step-4 ...	49
Tabel 4.14 Rekapitulasi Balok dan Kolom Akibat Sendi Plastis Step-5 ...	50
Tabel 4.15 Rekapitulasi Balok dan Kolom Akibat Sendi Plastis Step-6 ...	51
Tabel 4.16 Rekapitulasi Gaya Geser dan Tekan Setiap Tahapan	52

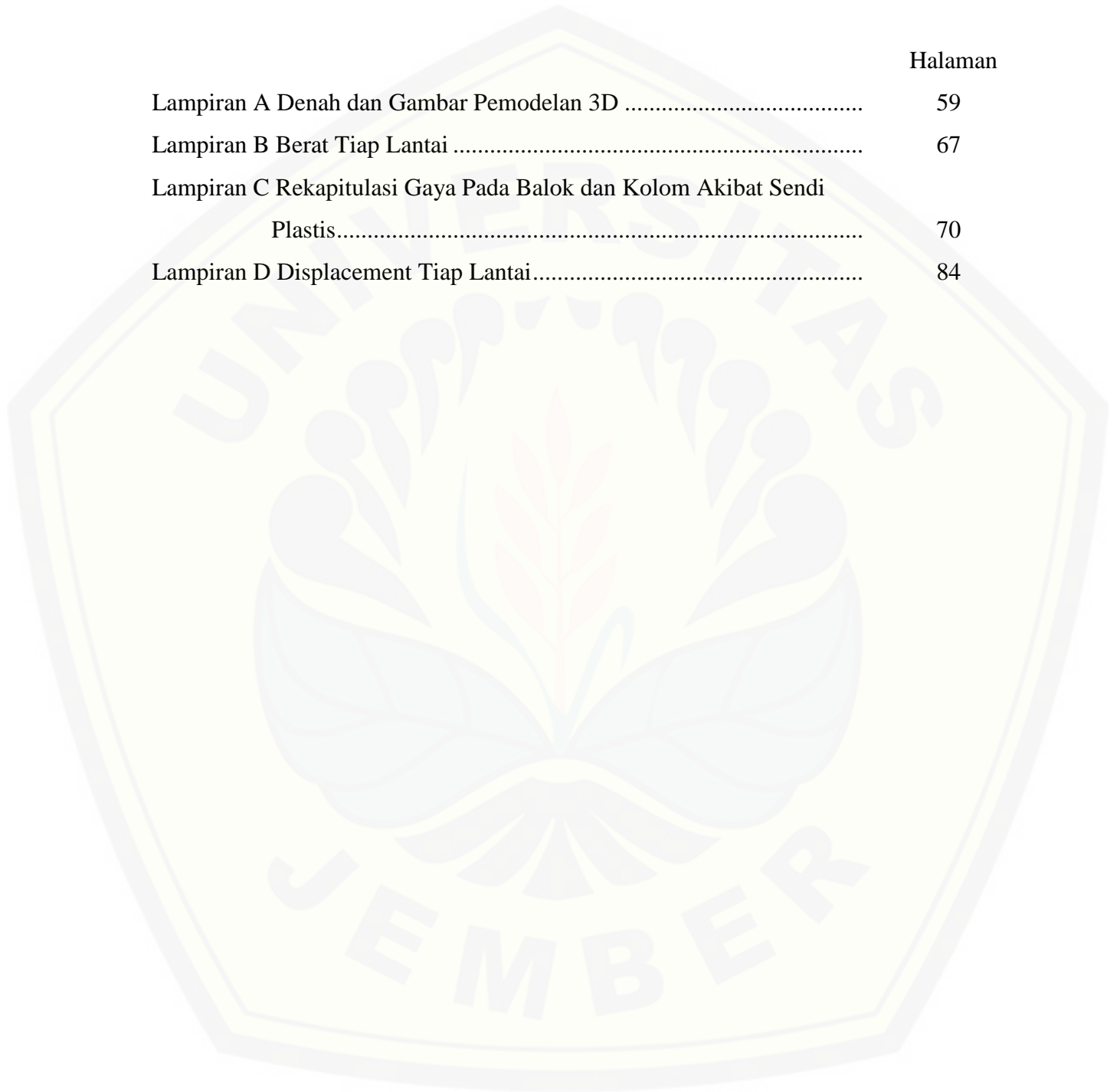
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Peta Wilayah Gempa Indonesia 2002 dengan Percepatan Gempa Maksimum di Batuan Dasar (S_B) Menggunakan Periode Ulang 500 Tahun.....	2
Gambar 1.2 Peta Wilayah Gempa Indonesia 2010 dengan Percepatan Gempa Maksimum di Batuan Dasar (S_B) dalam 50 Tahun.....	3
Gambar 2.1 Skema Pergerakan Permukaan Tanah.....	6
Gambar 2.2 Skema Pergeseran/Benturan Antar Plat Tektonik.....	7
Gambar 2.3 Peta Gempa Indonesia 2010 di Batuan Dasar (S_B) pada Kondisi PGA ($T=0$ detik) Untuk 10% dalam 50 Tahun.....	8
Gambar 2.4 Peta Gempa Indonesia 2010 di Batuan Basar (S_B) pada Kondisi Sprektra $T=0,2$ Detik Untuk 10% dalam 50 Tahun.....	8
Gambar 2.5 Peta Gempa Indonesia 2010 di Batuan Dasar (S_B) pada Kondisi Sprektra $T=1,0$ Detik Untuk 10% dalam 50 Tahun.....	9
Gambar 2.6 Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja.....	14
Gambar 2.7 Ilustrasi Pushover dan Capacity Curve.....	17
Gambar 4.1 Data Tanah.....	28
Gambar 4.2 Beban Tekanan Tanah.....	28
Gambar 4.3 Beban Uplift.....	29
Gambar 4.4 Respon Spektrum Gempa Rencana Wilayah Gempa 2.....	30
Gambar 4.5 Input Diafragma Setiap Lantai.....	33
Gambar 4.6 Static Load Case Names.....	33
Gambar 4.7 Identitas Analisis Gravitasi dan Pushover.....	34

Gambar 4.8 Properti Data Gravitasi.....	34
Gambar 4.9 Properti Data Pushover	35
Gambar 4.10 Input Properti Sendi	35
Gambar 4.11 Input Data Properti Sendi.....	36
Gambar 4.12 Hasil Running Analisa	36
Gambar 4.13 Kurva Displacement.....	37
Gambar 4.14 Kurva Kapasitas Spektrum.....	37
Gambar 4.15 Kurva Kapasitas Spektrum.....	41
Gambar 4.16 Kurva Demand Spektrum.....	42
Gambar 4.17 Penggabungan Antara Kurva Kapasitas Spektrum dan Demand Spektrum	42
Gambar 4.18 Garis Bantu Untuk Menentukan Nilai d_y dan a_y	43
Gambar 4.19 Persamaan Garis Linear Pada Kurva Kapasitas	43
Gambar 4.20 Performance Point.....	49
Gambar 4.21 Gambar Sendi Plastis Step-1	51
Gambar 4.22 Gambar Sendi Plastis Step-2.....	52
Gambar 4.23 Gambar Sendi Plastis Step-3.....	53
Gambar 4.24 Gambar Sendi Plastis Step-4.....	54
Gambar 4.25 Gambar Sendi Plastis Step-5.....	55
Gambar 4.26 Gambar Sendi Plastis Step-6.....	56
Gambar 4.27 Penggabungan Kurva <i>Displacement vs Base Shear</i> dengan Skema Distribusi Sendi Plastis Berdasarkan ATC-40 1996.....	57


DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Denah dan Gambar Pemodelan 3D	59
Lampiran B Berat Tiap Lantai	67
Lampiran C Rekapitulasi Gaya Pada Balok dan Kolom Akibat Sendi Plastis.....	70
Lampiran D Displacement Tiap Lantai.....	84



DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

B	=	Panjang gedung pada arah gempa yang ditinjau m)
C_a	=	Koefisien akselerasi
C_v	=	Faktor respons gempa vertikal
C	=	Faktor respons gempa dari spektrum respons
C_t	=	Koefisien pendekatan waktu getar alami untuk gedung beton bertulang menurut UBC 97
CP	=	Collapse Prevention
D_t	=	Displacement total
D_1	=	Displacement pertama
e	=	Eksentrisitas pusat masa lantai dan pusat rotasi
ed	=	Eksentrisitas rencana
f_c'	=	Kuat tekan beton
F_i	=	Beban gempa nominal statik ekivalen(ton)
f_y	=	Mutu baja
f_{ys}	=	Mutu tulangan geser/sengkang
Hn	=	Tinggi gedung
I	=	Faktor keutamaan
IO	=	Immediate Occupancy
k	=	Kekakuan struktur
LS	=	Life Safety
m	=	Massa gedung
M	=	Momen
Mn	=	Momen nominal
M3	=	Momen pada sumbu 3
n	=	Jumlah tingkat
PMM	=	Hubungan gaya aksial dengan momen diagram interaksi (P-M)



R	=	Faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan
T	=	Waktu getar gedung pada arah yang ditinjau (dt)
T_{eff}	=	Waktu getar gedung efektif (dt)
T_1	=	Waktu getar alami fundamental (dt)
V	=	Gaya geser dasar (ton)
V_i	=	Gaya geser dasar nominal (ton)
V_n	=	Gaya geser gempa rencana (ton)
V_2	=	Gaya geser pada sumbu 2 (ton)
W_i	=	Berat lantai tingkat ke-i termasuk beban hidup yang sesuai (ton)
W_t	=	Berat total gedung termasuk beban hidup yang sesuai (ton)
Z_i	=	Ketinggian lantai tingkat ke-i diukur dari taraf penjepitan lateral (m)
β_{eff}	=	Indeks kepercayaan efektif
$\Delta_{\text{s dof}}$	=	Displacement SDOF
Δ_{roof}	=	Displacement atap
θ_{yield}	=	Rotasi pada saat leleh
ζ	=	Koefisien pengali dari jumlah tingkat struktur gedung yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung bergantung pada wilayah gempa.

BAB 1. PENDAHULUAN

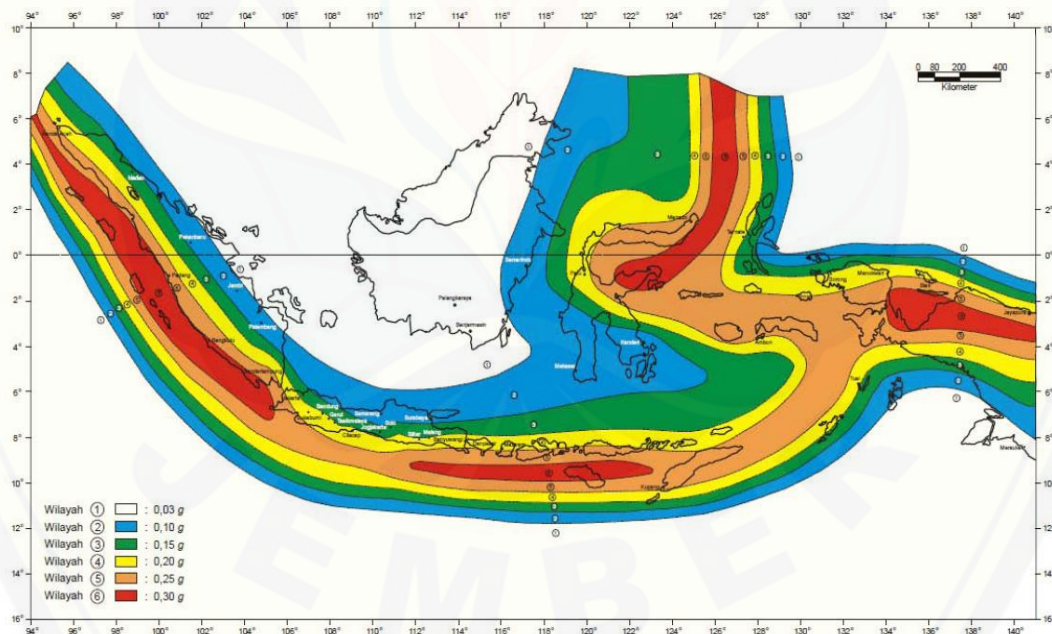
1.1 Latar Belakang

Tercatat beberapa gempa besar di Indonesia dalam 10 tahun terakhir, tahun 2004, yaitu gempa kepulauan Alor (11 November, 7.5 SR), gempa Papua (26 November, 7.1 SR) dan gempa Aceh (26 Desember, 9.2 SR) yang disertai tsunami. Gempa Aceh menjadi yang terbesar abad ini setelah gempa Alaska 1964 (Kerry Sieh, 2004). Tahun 2005, gempa Nias (28 Maret, 8.7 SR). Tahun 2006, gempa Yogyakarta (27 Mei, 6.2 SR), gempa Jawa Barat (17 Juli, 7.7 SR). Tahun 2007, gempa Bengkulu (12 September, 7.9 SR). Tahun 2009, gempa Papua (4 Januari, 7.6 SR), gempa Padang (30 September, 7.6 SR). Tahun 2010, gempa Sinabang (7 April, 7.2 SR). Tahun 2012, gempa Sumatera (11 April, 8.5 SR), banyak menyebabkan ribuan korban jiwa dan menimbulkan kerusakan pada bangunan. Kondisi ini menyadarkan kita bahwa Indonesia merupakan daerah rawan terjadinya gempa.

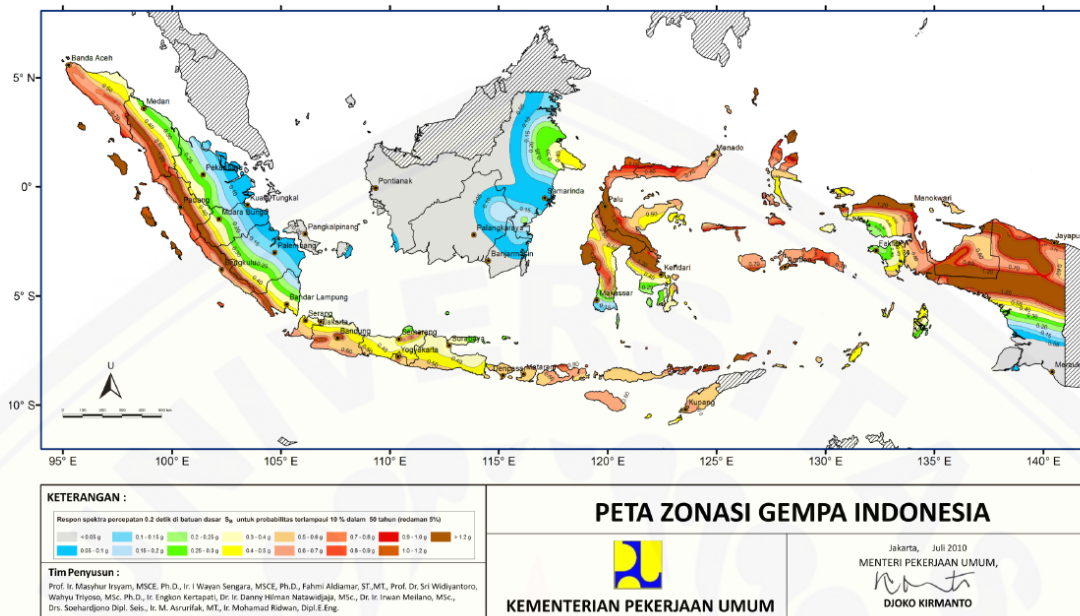
Mengingat sebagian besar wilayahnya terletak di dua wilayah yaitu jalur gempa Pasifik (*Circum Pasific Earthquake Belt*) dan jalur gempa Asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*) dengan intensitas kejadian tinggi. Maka perencanaan struktur bangunan harus memenuhi kaidah ketahanan struktur. Bangunan di Indonesia pada umumnya terdiri dari rangka beton bertulang konvensional yang berfungsi sebagai rumah tinggal, kantor, apartemen, pusat perbelanjaan ataupun fungsi lain. Perencanaan struktur gedung tersebut pada umumnya menggunakan metode linier dinamik (spektra respon) dengan nilai kemampuan nominal struktur harus sama atau lebih besar dari nilai total beban terfaktor (metode perencanaan batas). Perencanaan dengan metode tersebut tidak memperlihatkan kondisi struktur bangunan pasca elastik dimana bangunan bisa mencapai batas kekuatannya dalam mekanisme keruntuhan, terutama akibat beban gempa.

Dalam mengantisipasi bahaya gempa, pemerintah Indonesia telah mempunyai standar peraturan perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung

yaitu SNI-03-1726-2002. Pembagian wilayah Indonesia berdasarkan kekuatan gempa rencana (nominal) dalam Peta Gempa Indonesia 2002 diperlihatkan pada Gambar 1.1, Indonesia dibagi menjadi enam zona gempa. Pada Peta Gempa Indonesia 2010, nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di semua wilayah Indonesia mengalami peningkatan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.2. Hal ini menyebabkan beban rencana yang harus ditahan oleh struktur bangunan menjadi lebih besar. Sebagai perbandingan, pada Peta Gempa Indonesia 2002 menunjukkan bahwa Surabaya berada di wilayah 2 dengan nilai PGA sebesar 0,10 g, sedangkan pada Peta Gempa Indonesia 2010 nilai PGA wilayah 2 sebesar 0,30-0,40 g. Nilai ini bahkan lebih besar daripada PGA pada wilayah 6 Peta Gempa Indonesia 2002 sebesar 0,30 g. Maka, perencanaan struktur bangunan baru ataupun pemeriksaan bangunan yang telah berdiri harus memperhatikan faktor peningkatan kekuatan gempa nominal dalam menilai kinerja struktur tersebut.



Gambar 1.1. Peta Wilayah Gempa Indonesia 2002 dengan Percepatan Gempa Maksimum di Batuan Dasar (S_B) Menggunakan Periode Ulang 500 Tahun (Sumber: SNI 03-1726-2002)



Gambar 1.2. Peta Wilayah Gempa Indonesia 2010 dengan Percepatan Gempa Maksimum di Batuan Dasar (S_B) dalam 50 Tahun (Sumber: Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010)

Analisa *pushover* atau analisa statik beban dorong adalah metode analisis nonlinier statik dengan meninjau beban statik monotonik yang diaplikasikan sepanjang ketinggian struktur dan ditingkatkan sampai simpangan pada puncak atas struktur mencapai simpangan target. Dalam proses *pushover*, satu sendi plastis akan mencapai kondisi leleh pertama yang kemudian diikuti dengan kondisi leleh pada sendi-sendi plastis lainnya. Hal ini terus berlanjut sampai akhirnya, simpangan pada puncak struktur mencapai simpangan target atau struktur memasuki kondisi tidak stabil.

Cukup banyak studi yang menggunakan analisa pushover, diantaranya lain Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan *Pushover Analysis* (Januari 2006, Yosafat A.P dari Universitas Kristen Maranatha), Evaluasi Struktur dengan *Pushover Analysis* pada Gedung Kalibata Residence Jakarta (Cipto Utomo dari Universitas Diponegoro), Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton dengan Analisis *Pushover* Menggunakan Program SAP 2000 (Juni 2010, Nur Rachmad dari

Universitas Sebelas Maret), Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton dengan Analisis *Pushover* Prosedur A Menggunakan Program ETABS V 9.50 (Maret 2011, Anindityo Budi dari Universitas Sebelas Maret), Analisis *Pushover* pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium (April 2014, H.Manalip dari Universitas Sam Ratulangi) menunjukkan bahwa perlu dilakukan analisis lebih jauh untuk mengukur kinerja seismik terhadap struktur bangunan sebagai langkah konkret dalam penanggulangan dampak dari bencana gempa dan analisa *pushover* dapat memberikan hasil mencukupi (ketika dibandingkan dengan hasil analisa dinamik nonlinier).

Studi ini dilakukan menggunakan model struktur bangunan gedung Supermall Pakuwon *Mansion Phase-1* Surabaya setinggi 18 lantai menggunakan struktur rangka beton bertulang dan berfungsi sebagai mall seluas 8426.16 m² dengan kondisi tanah di bawah bangunan adalah tanah lunak. Jenis sistem rangka pemikul momen yang digunakan adalah SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa). Didesain sesuai Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 1726, 2002) dan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2874-2002).

Diharapkan dengan menggunakan metode analisa *pushover* dapat memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk mengetahui bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas maka rumusan masalah adalah bagaimana kinerja struktur gedung Supermall-Pakuwon *Mansion Phase-1* Surabaya jika dianalisa menggunakan analisa *pushover*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja struktur gedung Supermall Pakuwon *Mansion Phase-1* Surabaya menggunakan metode

analisa *pushover* serta memperlihatkan bahwa struktur yang telah memenuhi syarat kekuatan menggunakan metode perencanaan batas sesuai dengan peraturan desain gedung bertingkat masih memerlukan analisis lebih jauh untuk mengukur kinerja struktur bangunan gedung dibawah beban gempa dalam kondisi pasca elastik.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Struktur gedung yang berfungsi sebagai pusat perbelanjaan terdiri dari 20 lantai tipikal dan 3 lantai basement dengan dinding geser.
2. Struktur yang digunakan adalah struktur beton, meliputi:
 - a. Struktur portal beton bertulang.
 - b. Pelat lantai beton bertulang.
 - c. Komponen non-struktural seperti lift dan eskalator.
 - d. Dinding geser pada basement.
3. Pembebanan gedung meliputi:
 - a. Beban mati (berupa berat sendiri struktur)
 - b. Beban hidup (berupa beban akibat fungsi bangunan sesuai dengan PPIUG 1983).
 - c. Beban lateral (berupa beban gempa sesuai dengan SNI 03-1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung dengan Peta *Hazard* Gempa Indonesia 2010, tanpa memperhitungkan beban angin).
 - d. Peraturan pembebanan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung dan SNI 03-1727-1989.
4. Kriteria kinerja struktur menggunakan ATC-40 dan FEMA 256.
5. Studi kinerja struktur ditinjau dalam 3 dimensi menggunakan bantuan *software* ETABS 2013.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

2.1.1 Konsep Dasar Mekanisme Gempa

Gempa bumi adalah pelepasan energi pada muka bumi lalu merambat melalui permukaan tanah. Terjadinya gempa bumi disebabkan oleh benturan/gesekan antara plat tektonik (lempeng bumi). Lempeng samudra yang rapat massanya lebih besar bertumbukkan dengan lempeng benua di zona tumbukan (subduksi) akan menyusup ke bawah. Gerakan lempeng itu akan mengalami perlambatan akibat gesekan dari selubung bumi. Perlambatan gerak itu menyebabkan penumpukkan energi di zona subduksi dan zona patahan. Akibatnya zona-zona itu terjadi tekanan, tarikan dan geseran. Pada batas elastisitas lempeng terlampaui maka terjadilah patahan batuan yang diikuti oleh lepasnya energi secara tiba-tiba. Proses ini menimbulkan getaran partikel ke segala arah yang disebut gelombang gempa.

Pergeseran/benturan antar plat tektonik menyebabkan plat tektonik bergerak. Pergerakan plat tektonik mengakibatkan permukaan tanah bergeser, diperlihatkan pada gambar 2.1.



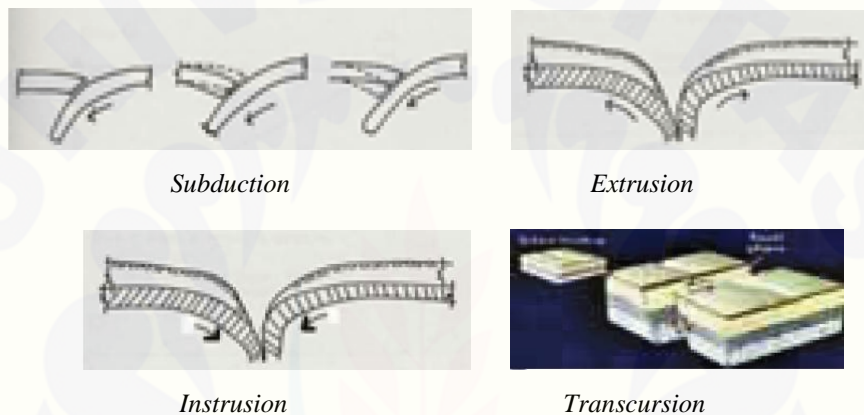
Gambar 2.1 Skema Pergerakan Permukaan Tanah
(Sumber: WordPress.com, Blog Mengenai Geologi)

Mekanisme pergeseran/benturan antar plat tektonik adalah sebagai berikut:

1. *Subduction*, yaitu plat tektonik yang satu membelok ke bawah, sedangkan plat tektonik yang lainnya sedikit terangkat.

2. *Extrusion*, yaitu kedua plat tektonik saling bergerak keatas kemudian saling menjauh.
3. *Intrusion*, yaitu kedua plat tektonik saling mendekat dan saling bergerak kebawah.
4. *Transcursion*, yaitu plat tektonik yang satu bergerak vertikal/horizontal terhadap yang lain.

Ilustrasi pergeseran/benturan antar plat tektonik diperlihatkan pada gambar 2.2



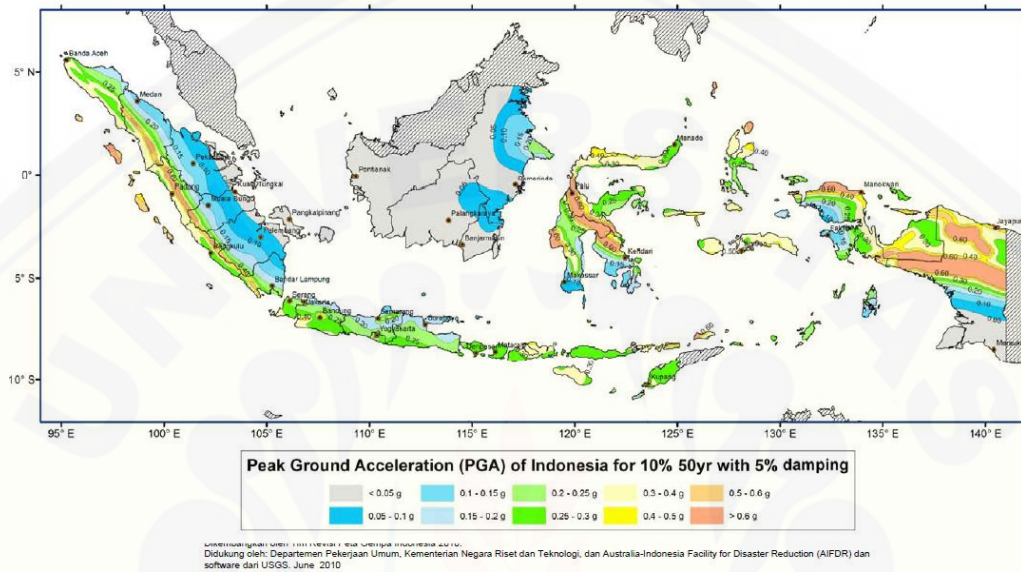
Gambar 2.2 Skema Pergeseran/Benturan Antar Plat Tektonik.
(Sumber: WordPress.com, Blog Mengenai Geologi)

Bila gempa bumi terjadi, maka struktur bangunan akan ikut terpengaruh oleh getaran gempa. Selanjutnya struktur bangunan akan merespons gempa tersebut. Struktur akan beresonansi memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya gempa lebih kecil dari gaya dalam struktur, maka struktur akan kuat dan aman menahan beban gempa. Sebaliknya bila gaya gempa lebih besar dari gaya dalam struktur, maka struktur tidak kuat dan tidak aman menahan beban gaya gempa selanjutnya terjadi keruntuhan struktur.

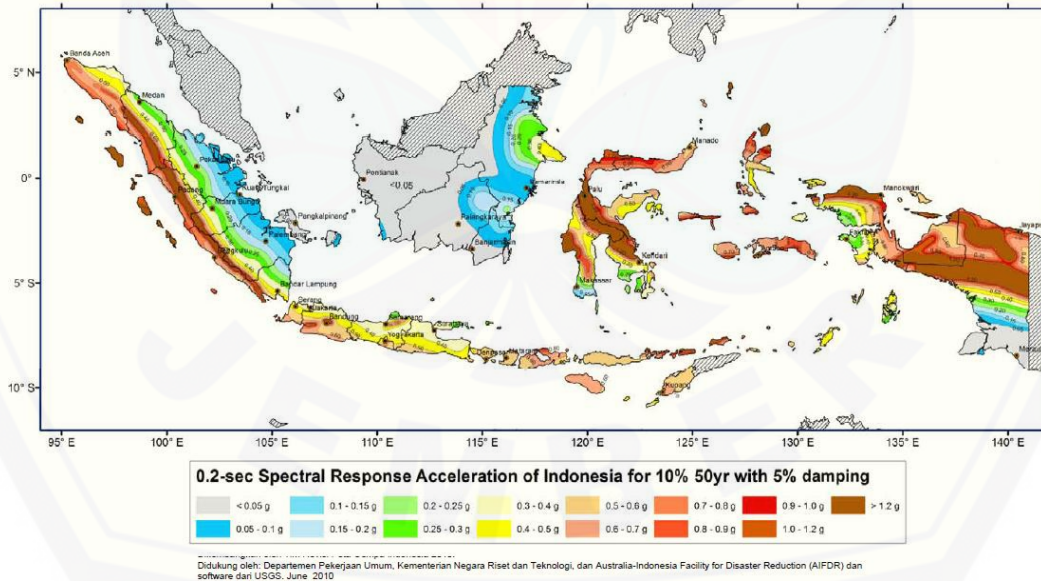
2.1.2 Wilayah Gempa

Menurut RSNI Gempa 2010, wilayah Indonesia dibagi dalam 15 wilayah gempa (WG). Wilayah gempa disusun berdasarkan respons spectra percepatan 0,2 detik di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (redaman 5%). Wilayah gempa dicirikan oleh nilai Percepatan Puncak Efektif Batuan Dasar (PPEBD) di masing-masing wilayah dan dinyatakan dalam fraksi dari konstanta

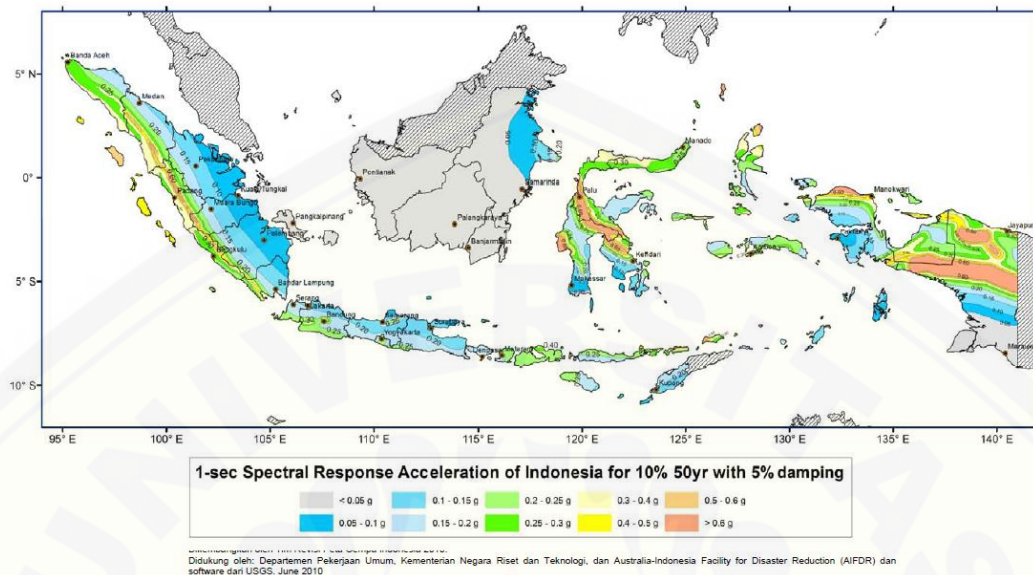
gravitas (g). Wilayah Gempa 1 adalah wilayah kegempaan paling rendah dengan respons spectra kurang dari 0,05 g sedangkan Wilayah Gempa 15 menyanggah wilayah gempa tertinggi dengan respons spektra lebih dari 1,2 g.



Gambar 2.3 Peta Gempa Indonesia 2010 di batuan dasar (S_B) pada kondisi PGA ($T=0$ detik) untuk 10% dalam 50 Tahun (Sumber: Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010)



Gambar 2.4 Peta Gempa Indonesia 2010 di batuan dasar (S_B) pada kondisi spektra $T=0,2$ detik untuk 10% dalam 50 Tahun (Sumber: Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010)



Gambar 2.5 Peta Gempa Indonesia 2010 di batuan dasar (S_B) pada kondisi spektra $T=1,0$ detik untuk 10% dalam 50 Tahun (Sumber: Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010)

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Pembebanan

1. Beban Mati (DL)

Beban mati adalah beban dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

a. Berat Sendiri

Berat sendiri adalah berat dari bahan-bahan bangunan penting dan dari beberapa komponen gedung yang harus ditinjau didalam menentukan beban mati dari suatu gedung.

b. Reduksi Beban Mati

Apabila beban mati memberikan pengaruh yang menguntungkan terhadap pengerahan kekuatan suatu struktur atau unsur struktur suatu gedung, maka beban matitersebut harus diambil menurut table 2.1 dengan mengalikannya dengan koefisien reduksi 0,9.

Jika beban mati sebagian atau sepenuhnya memberi pengaruh yang menguntungkan terhadap kemantapan suatu struktur atau unsur struktur suatu gedung, maka dalam meninjau kemantapan tersebut, beban mati harus dikalikan dengan koefisien reduksi 0,9.

2. Beban Hidup (LL)

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung dan kedalamannya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap kedalaman beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air.

a. Beban Hidup pada Lantai Gedung

Beban hidup pada lantai gedung harus diambil menurut tabel 2.1. Didalam beban hidup tersebut sudah termasuk perlengkapan ruang sesuai dengan kegunaan lantai ruang yang bersangkutan dan juga dinding-dinding pemisah ringan dan berat tidak lebih dari 100 kg/m^2 . Beban-beban berat, misalnya yang disebabkan oleh lemari-lemari arsip dan perpustakaan serta oleh alat-alat, mesin-mesin dan barang-barang lain yang tertentu sangat berat, harus ditentukan tersendiri.

Beban hidup ini tidak perlu dikalikan dengan suatu koefisien kejut. Lantai-lantai gedung yang dapat diharapkan akan dipakai untuk berbagai tujuan, harus direncanakan terhadap beban hidup terberat yang mungkin dapat terjadi.

b. Beban Hidup pada Atap Gedung

Beban hidup pada atap dan bagian atap serta pada struktur tudung (kanopi) yang dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil minimum sebesar 100 kg/m^2 bidang datar.

c. Beban Hidup Horizontal

Beban hidup horizontal yang dapat terjadi oleh desakan sejumlah besar manusia yang bergerak pada gedung-gedung tertentu, harus ditinjau bekerja pada struktur pemikulnya dalam dua arah yang saling tegak lurus, sebesar suatu persentase dari beban hidup vertikal menurut point a diatas. Hal ini bergantung pada jenis struktur dan penggunaan gedung (misalnya pada panggung-panggung penonton), persentase tersebut diambil 5-10 %.

3. Beban Gempa (*Earthquake*, E)

Beban gempa adalah semua beban static ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu. Penentuan gempa rencana disusun berdasarkan STANDAR PERENCANAAN KETAHANAN GEMPA UNTUK STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG SNI-1726-2002.

4. Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan beban-beban diatas maka struktur gedung beton bertulang harus mampu memikul semua beban dari kombinasi pembebanan di bawah ini:

$$1,2 D \pm 1,0 E + \gamma_L L$$

$$0,9 D \pm (1,3 W \text{ atau } 1,0 E)$$

Keterangan:

D : beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga dan peralatan tetap.

L : beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan dan lain-lain.

W : beban angin.

E : beban gempa, sesuai SNI-1726-2002, dengan, $\gamma_L = 0,5$ bila $L < 5$ kPa dan $\gamma_L = 1,0$ bila $L \geq 5$ kPa.

2.2.2 Sistem Struktur

Sistem struktur suatu gedung adalah system yang dibentuk oleh komponen struktur gedung, berupa balok, kolom, pelat dan dinding geser yang disusun sedemikian rupa hingga masing-masing sistem mempunyai peran yang berbeda untuk menahan beban-beban.

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Ada 3 jenis SRPM menurut table 3 SNI-03-1726-2002, yaitu:

SRPMB : Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa

SRPMM : Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

SRPMK : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

SRPMB tidak perlu pendetailan khusus, semua komponennya harus memenuhi pasal 3 sampai 20 SNI-03-2847-2002 dan hanya dipakai untuk wilayah gempa 1 dan 2.

SRPMM harus memenuhi persyaratan pendetailan pada SNI-03-2847-2002 pasal 23.8 dan pasal sebelumnya yang masih relevan dan dipakai untuk SRPM yang berada pada wilayah gempa 3 dan gempa 4.

SRPMK harus dipakai pada wilayah gempa 5 dan 6 dan harus memenuhi persyaratan pada pasal 23.2 sampai 23.7 dan pasal sebelumnya yang masih relevan pada SNI-03-2847-2002. Sistem struktur yang digunakan pada gedung Supermall Pakuwon *Mansion Phase-1* Surabaya adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB).

2.2.3 Perencanaan Gempa Rencana

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh gempa rencana, pengaruh peretakan beton pada unsur-unsur struktur dari beton bertulang, beton pratekan dan baja komposit harus diperhitungkan kekakuannya. Untuk itu momen inersia penampang unsur struktur dapat ditentukan sebesar momen inersia penampang utuh dikalikan dengan suatu persentase efektifitas penampang sebagai berikut:

- 1) Untuk kolom dan balok rangka beton bertulang terbuka : 75%
- 2) Untuk dinding geser beton bertulang kantilever : 60%
- 3) Untuk dinding geser beton bertulang berangkai
 - a. Komponen dinding mengalami tarikan aksial : 50%
 - b. Komponen dinding mengalami tekanan aksial : 80%
 - c. Komponen balok perangkai dengan tulangan diagonal : 40%
 - d. Komponen balok perangkai dengan tulangan memanjang : 20%

Modulus elastisitas beton E_c harus ditetapkan sesuai dengan mutu (kuat tekan) beton yang dipakai, sedangkan modulus elastisitas baja ditetapkan sebesar $E_s = 200$ Gpa.

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh gempa rencana, kekakuan unsur yang ditetapkan harus dipakai baik dalam analisa statik maupun dalam analisa dinamik dimensi.

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

$$T_1 < \xi \cdot n \dots\dots\dots \text{Pers. (2.2)}$$

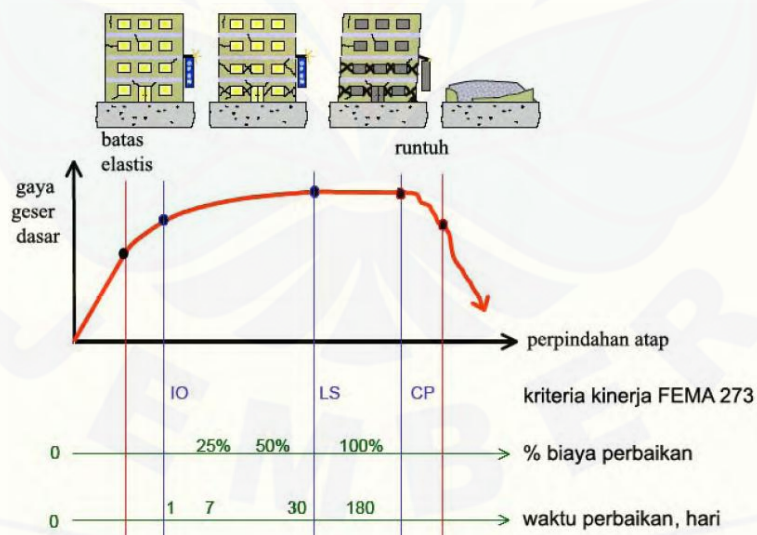
Dimana koefisien ξ ditetapkan menurut Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Koefisien ξ yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung
(Sumber: Standar Perencanaan Ketahanan Gempa SNI-1726-2002)

Wilayah Gempa	ξ
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

2.2.4 Perancangan Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

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



Gambar 2.6 Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Sumber: ATC 58, 1997)

a. Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja Batas Layan

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

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

b. Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja Batas Ultimit

Ditentukan oleh simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah, dikalikan dengan suatu factor pengali ξ sebagai berikut:

Untuk struktur gedung beraturan : $\xi = 0,7 R$Pers.(2.3)

Untuk struktur gedung tidak beraturan : $\xi = \frac{0,7 R}{\text{Faktor Skala}}$Pers.(2.4)

Dimana R adalah faktor reduksi gempa struktur gedung tersebut.

Untuk memenuhi persyaratan Dallah segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui 0,02 kali tingkat yang bersangkutan. Dalam segala hal masing-masing jarak tersebut tidak boleh kurang dari 0,025 kali ketinggian taraf itu diukur dari taraf penjepitan lateral.

2.2.5 Analisa *Pushover*

Suatu cara analisis statik 2 dimensi atau 3 dimensi linier dan mono-linier, dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-

beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai. Nilai beban statik ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama didalam struktur gedung. Kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk elasto-plastis yang besar sampai mencapai kondisi diambang keruntuhan.

Tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. (Dewabroto Wiryanto, 2006)

Analisa *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 non-linier akan lebih rumit dibanding model analisis linier. Analisis non-linier harus memperhitungkan karakteristik inelastik beban-deformasi dari elemen-elemen yang penting dan efek $P-\Delta$.
 - a. Tahapan dalam Analisa *Pushover*
 - 1) Menentukan titik kontrol untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dapat digunakan menyusun kurva *pushover*.
Titik kontrol yang dimaksud adalah kinerja batas layan (Δ_s) dan kinerja batas ultimit (Δ_m) sesuai SNI 03-1726-2002.

$$\Delta s < \frac{0,03}{R} \cdot x_{hi} \text{ atau } 30 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{Pers. (2.5)}$$

$$\Delta m = 0,7 R \Delta s \text{ agar aman maka dibatasi dengan } \Delta m < 0,02 \text{ hi} \dots \dots \text{Pers. (2.6)}$$

R : faktor reduksi gempa dan hi : tinggi antar lantai.

- 2) Membuat kurva *pushover* berdasarkan berbagai macam pola distribusi gaya lateral terutama yang ekivalen dengan distribusi dari gaya inersia, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama atau mendekati deformasi yang terjadi akibat gempa. Oleh karena sifat gempa adalah tidak pasti, maka perlu dibuat pola pembebanan lateral yang berbeda untuk mendapatkan kondisi yang paling menentukan.

Pola pembebanan gempa lateral tergantung dari berbagai macam alami yang terjadi, sehingga penentuan pola pembebanan menurut Nonetheless, Gupta dan Kunnath (2000) adalah sebagai berikut:

$$F_y = \Gamma_j \Phi_{ij} W_i S_a(j) \dots \dots \dots \text{Pers. (2.7)}$$

$$\Gamma_j = \frac{\sum_{k=1}^N m_k \phi_{kj}}{\sum_{k=1}^N m_k \phi_{kj}^2} \dots \dots \dots \text{Pers. (2.8)}$$

$$S_a = -\omega^2 S_D \text{ atau } S_a = \frac{v}{\alpha_1} \dots \dots \dots \text{Pers. (2.9)}$$

Dimana:

F_{ij} : beban lateral gempa lantai ke-i

Γ_j : faktor partisipasi gempa

W_i : berat lantai yang ditinjau

M_k : matrik massa

S_a : spektrum akselerasi

S_d : spektrum perpindahan

α_1 : faktor ragam

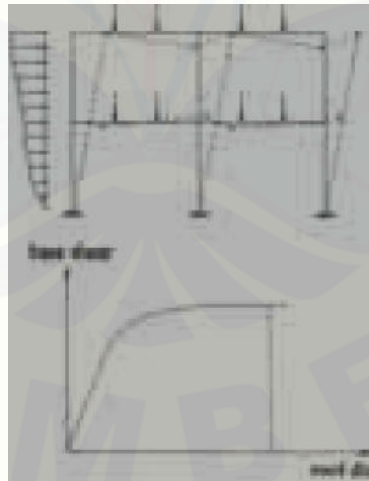
- 3) Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (target perpindahan). Titik kontrol didorong sampai perpindahan taraf tersebut yang

mencerminkan perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.

- 4) Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja. Komponen struktur dan aksi perilakunya dapat dianggap memuaskan jika memenuhi kriteria yang dari awal sudah ditetapkan.

b. Waktu Getar Alami Efektif

Analisa *eigen-value* pada umumnya digunakan untuk mengetahui waktu getar alami bangunan, dimana informasi tersebut sangat penting untuk mendapatkan estimasi besarnya gaya gempa yang akan diterima oleh bangunan tersebut. Analisa *eigen-value* dilaksanakan menggunakan data-data yang masih dalam kondisi elastis linier, padahal pada saat gempa kondisi bangunan mengalami keadaan yang berbeda yaitu berperilaku in-elastis. Oleh karena itu, waktu getar alami bangunan pada saat gempa maksimum berbeda dengan hasil analisa *eigen-value*. Waktu getar alami yang memperhitungkan kondisi in-elastis atau waktu getar efektif, T_e dapat diperoleh dengan bantuan kurva hasil analisa *pushover* atau analisa statik beban dorong.



Gambar 2.7 Ilustrasi *Pushover* dan *Capacity Curve*

(Sumber: *Applied Technology Council Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings, Report ATC-40, (Redwood City: ATC, 1996)*)

c. Target Perpindahan

Gaya dan deformasi setiap komponen/elemen dihitung terhadap “perpindahan tertentu” di titik control yang disebut sebagai “target perpindahan” dengan notasi δ_t dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana.

Untuk mendapatkan perilaku struktur pasca keruntuhan maka perlu dibuat analisa pushover untuk membuat kurva hubungan gaya geser dasar dan perpindahan lateral titik kontrol sampai minimal 150% dari target perpindahan, δ_t .

Permintaan membuat kurva pushover sampai minimal 150% dari target perpindahan adalah agar dapat dilihat perilaku bangunan yang melebihi kondisi rencananya. Perencana harus memahami bahwa target perpindahan hanya merupakan rata-rata nilai dari beban gempa rencana. Perkiraan target perpindahan menjadi kurang benar untuk bangunan yang mempunyai kekuatan lebih rendah dari spektrum elastis rencana. Meskipun tidak didukung oleh data pada saat dokumen FEMA 356 ditulis tetapi diharapkan bahwa 150% target perpindahan adalah perkiraan nilai rata-rata ditambah satu standart deviasi perpindahan dari bangunan dengan kekuatan lateral lebih 25% dari kekuatan spektrum elastis.

Analisa pushover dilakukan dengan memberikan beban lateral pada pola tertentu sebagai simulasi beban gempa dan harus diberikan bersama-sama dengan pengaruh kombinasi beban mati dan tidak kurang dari 25% dari beban hidup yang disyaratkan. Beban lateral harus diberikan pada pusat massa untuk setiap tingkat. FEMA 273 mensyaratkan minimal harus diberikan 2 pola beban yang berbeda sebagai simulasi beban gempa yang bersifat acak, sehingga dapat memberikan gambaran pola mana yang pengaruhnya paling jelek. Selanjutnya beban tersebut harus diberikan secara bertahap dalam satu arah (monotonik).

Kriteria evaluasi level kinerja kondisi bangunan didasarkan pada gaya dan deformasi yang terjadi ketika perpindahan titik control sama dengan target

perpindahan δ_t . Jadi parameter target perpindahan sangat penting peranannya bagi perencanaan berbasis kinerja.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dan informasi bangunan gedung Supermall Pakuwon *Mansion Phase-1* Surabaya yang diteliti, baik data sekunder maupun data primer. Data yang didapat antara lain:

- a. Gambar denah proyek gedung Supermall Pakuwon *Mansion Phase-1* Surabaya
- b. Gambar dimensi balok dan kolom proyek gedung Supermall Pakuwon *Mansion Phase-1* Surabaya
- c. Kuat tekan beton yang disyaratkan (f_c')
- d. Kuat leleh tulangan yang disyaratkan (f_y)
- e. Data tanah proyek gedung Supermall Pakuwon *Mansion Phase-1* Surabaya

Data gambar digunakan untuk tahapan pemodelan sesuai dengan gambar yang ada dan selanjutnya dianalisis dengan *software* ETABS 2013. Semua struktur yang dimodelkan harus sesuai dengan data gambar, untuk bangunan non-struktural tidak dimodelkan karena tidak mempunyai pengaruh yang signifikan dalam pemodelan 3D ini.

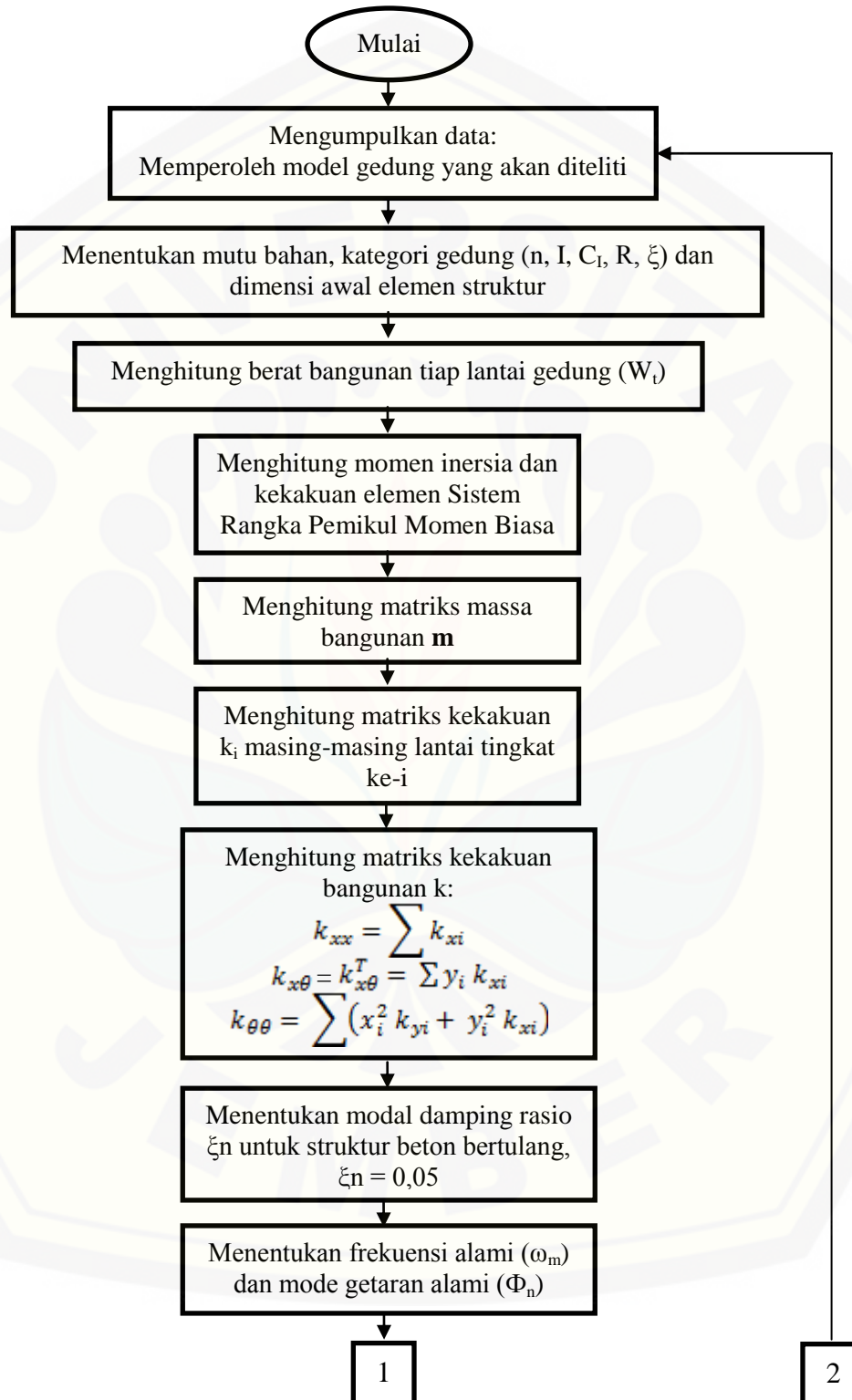
Data tanah digunakan untuk menentukan besarnya gaya tanah yang menekan dinding *basement*. Besarnya gaya tekan tanah mempengaruhi struktur bangunan yang akan dianalisis, oleh sebab itu besarnya gaya tekan tanah ini perlu diperhatikan dalam pemodelan 3D.

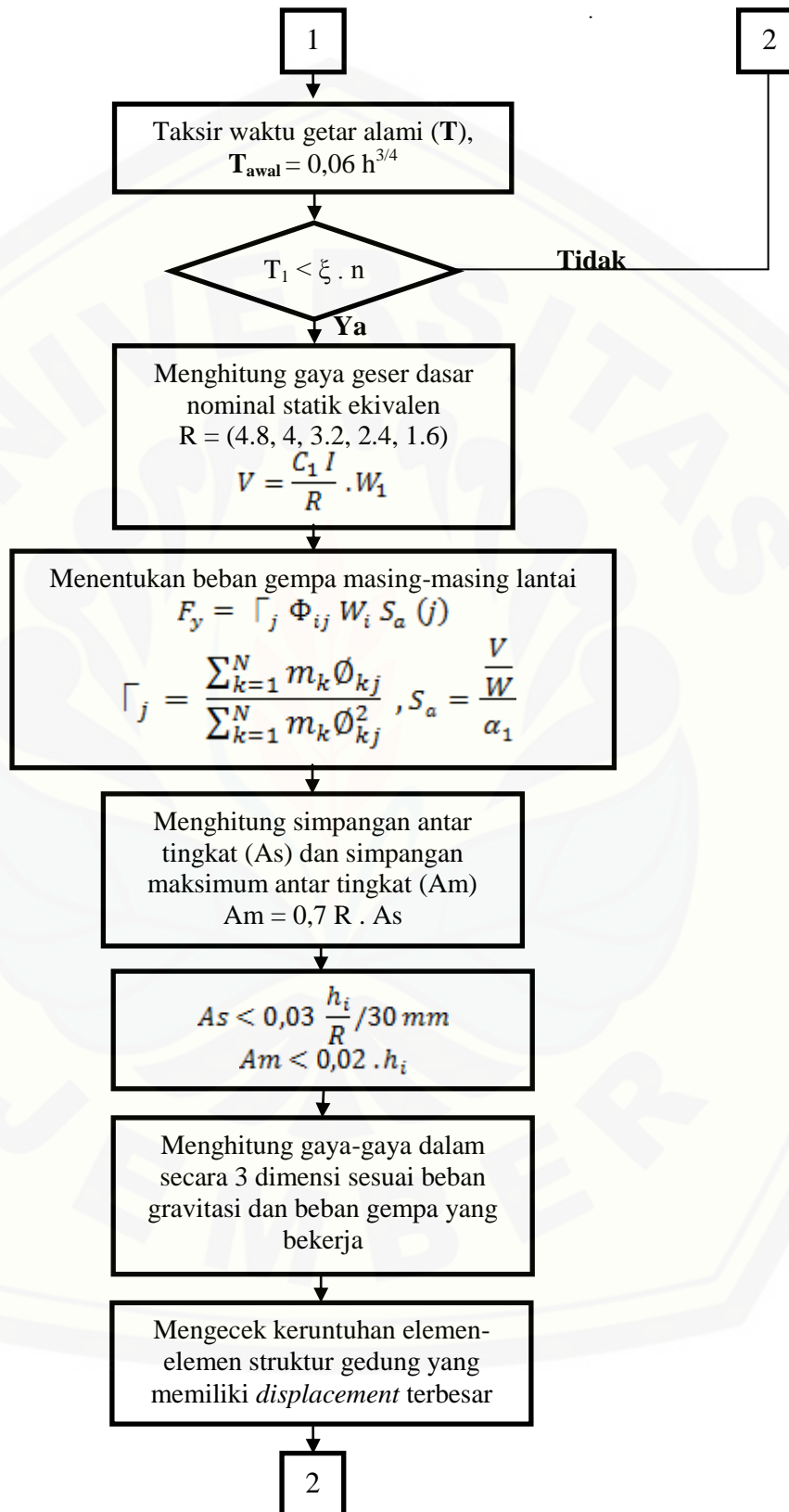
3.2 Kerangka Penelitian

- a. Memperoleh data dan informasi bangunan gedung Supermall Pakuwon *Mansion Phase-1* Surabaya yang akan diteliti.
- b. Menentukan mutu bahan, kategori gedung (n, I, C_I, R, ξ) dan dimensi awal elemen-elemen model struktur dari model gedung yang telah diperoleh.

- c. Menentukan berat bangunan yang dihitung tiap lantai ke-n dari model gedung (W_t).
- d. Analisa pembebanan gempa menggunakan analisa *pushover*. Tahapan analisis antara lain:
 1. Menghitung momen inersia dan kekakuan elemen rangka sistem pemikul momen.
 2. Menentukan sifat struktur berupa matrik massa \mathbf{m} dan matrik kekakuan lateral \mathbf{k} .
 3. Menentukan frekuensi alami ω_n dan ragam getaran Φ_n .
 4. Menentukan beban gempa pada masing-masing lantai berdasarkan ragam yang terjadi pada struktur gedung.
 5. Melakukan analisa struktur masing-masing pembesaran beban gempa untuk menentukan simpangan antar tingkat (\mathbf{A}_s) dan simpangan maksimum antar tingkat (\mathbf{A}_m).
 6. Menghitung gaya-gaya dalam secara 3 dimensi sesuai beban gravitasi dan beban gempa yang bekerja.
 7. Mengecek keruntuhan elemen-elemen struktur pada elemen yang mempunyai simpangan terbesar.
 8. Membuat kurva kapasitas (*base shear vs displacement*).
 9. Mengetahui sampai seberapa besar beban lateral yang mampu ditahan gedung hingga runtuh.
 10. Mengetahui pola keruntuhan gedung.
- e. Kesimpulan

3.3 Diagram Alir Penelitian





2

Membuat kurva kapasitas berdasarkan gaya geser dasar dengan *displacement*

Mengetahui seberapa besar beban lateral yang mampu ditahan oleh gedung hingga runtuh

Mengetahui pola keruntuhan gedung

Pembahasan

Kesimpulan

Selesai

BAB 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Berat Sendiri Bangunan

4.1.1 Data Struktur Bangunan Gedung

1. Konfigurasi Gedung

Tabel 4.1 Konfigurasi Gedung

No	Lantai	Tinggi Bangunan (m)
1	Lantai 16	81.8
2	Lantai TBS	76
3	Lantai 15	76.5
4	Lantai 14	74
5	Lantai 13	71
6	Lantai 12	67
7	Lantai 11	63
8	Lantai 10	56
9	Lantai 9	52
10	Lantai 8	48.5
11	Lantai 7	45
12	Lantai 6	41
13	Lantai 5	37.5
14	Lantai 4	34
15	Lantai 3	30
16	Lantai Hollow	26.5
17	Lantai 2	23
18	Lantai 1	20
19	Lantai Mezzanine	15.5
20	Lantai Ground	13
21	Lantai Basement 1	9.6
22	Lantai Basement 2	6.4
23	Lantai Basement 3	3.2

2. Mutu Bahan

Mutu beton (f_c')	=	35 MPa
Mutu baja tulangan (f_y)	=	500 MPa (Ulir)
	=	240 MPa (Polos)

3. Data Elemen Struktur

a. Pelat Lantai

Tebal pelat basement dan semi basement, $t = 13$ cm

Tebal pelat tipikal, $t = 12$ cm

b. Balok

Tipe balok yang dipakai sebagai berikut:

Tabel 4.2 Tipe Balok

No	Tipe	Dimensi (mm)
1	Balok B4A7	650 x 1100
2	Balok B3A7	450 x 700
3	Balok B3A6	350 x 700
4	Balok B3A5	350 x 600
5	Balok B3A4	350 x 500
6	Balok B36	300 x 600

c. Kolom

Tipe kolom yang dipakai sebagai berikut:

Tabel 4.3 Tipe Kolom

No	Tipe	Dimensi (mm)
1	Kolom C1	700 x 1000
2	Kolom C2	700 x 1600
3	Kolom C3C	600 x 1300
4	Kolom C3D	850 x 850
5	Kolom C3E	$\phi 1000$
6	Kolom C3F	700 x 700
7	Kolom C3G	1350 x 1350

4.1.2 Beban Pada Gedung

1. Beban Mati (Berat Sendiri) Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

Bahan Bangunan:

Beton bertulang	2.400 kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.650 kg/m ³
Pasangan bata merah	1.700 kg/m ³
Pasangan batu belah, batu bulat	2.200 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/m ³

Komponen Gedung

Adukan, per cm tebal:

- dari semen 21 kg/m²

Dinding pasangan bata merah:

- satu batu 450 kg/m²

Dinding partisi (kaca) 10 kg/m²

Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:

- semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm 11 kg/m²

Penutup lantai (keramik) 24 kg/m²

Penutup atap 50 kg/m²

Koefisien reduksi beban mati 0,9

(Sumber: SNI 03-1727-2002, halaman 5-6)

2. Beban Hidup pada Lantai Gedung

Lantai pusat perbelanjaan 300 kg/m²

Tangga, bordes tangga dan gang	300 kg/m ²
Lantai ruang pelengkap	250 kg/m ²
Lantai gedung parker bertingkat:	
- untuk lantai bawah	800 kg/m ²
- untuk lantai tingkat lainnya	400 kg/m ²
- Beban air hujan	20 kg/m ²
Koefisien reduksi beban hidup (untuk peninjauan gempa)	0,80
(Sumber: SNI 03-1727-2002, halaman 5-6)	

4.1.3 Perhitungan Pembebanan Pada Struktur

Tabel 4.4 Perhitungan Pembebanan Pada Struktur

No	Lantai	Beban Mati (ton)	Beban Hidup (ton)	Beban Total (ton)
1	Lantai 16	785.3716	22.1296	807.5012
2	Lantai TBS	525.3633	49.1741	574.5374
3	Lantai 15	1689.2753	111.9388	1801.2141
4	Lantai 14	1673.6349	175.8254	1849.4603
5	Lantai 13	1687.7064	239.7120	1927.4184
6	Lantai 12	1687.7064	303.5986	1991.3050
7	Lantai 11	1687.7064	367.4852	2055.1916
8	Lantai 10	1687.7064	431.3718	2119.0782
9	Lantai 9	1687.7064	495.2584	2182.9648
10	Lantai 8	1678.6011	558.7175	2237.3186
11	Lantai 7	1687.7064	622.6041	2310.3106
12	Lantai 6	1687.7064	686.4907	2374.1972
13	Lantai 5	1687.7064	750.3773	2438.0838
14	Lantai 4	1687.7064	814.2639	2501.9704
15	Lantai 3	1687.7064	878.1505	2565.8570
16	Lantai Hollow	1671.4426	942.0371	2613.4797

17	Lantai 2	2401.3985	1037.9384	3439.3369
18	Lantai 1	2401.3985	1133.8396	3535.2381
19	Lantai Mezzanine	1990.7602	1216.5433	3207.3035
20	Lantai Ground	4749.2947	1378.8979	6128.1926
21	Lantai Basement 1	4455.4006	1548.6402	6004.0408
22	Lantai Basement 2	4995.1446	1731.7059	6726.8505
23	Lantai Basement 3	4701.3230	1916.6891	6618.0121
W total				68008.8628

4.1.4 Perhitungan Beban Mati Diluar Berat Sendiri Per m²

1. Pelat lantai 1-13

Eternit atau plafon	=	11	kg/m ²	=	0.011	ton/m ²
Penggantung langit-langit	=	7	kg/m ²	=	0.007	ton/m ²
Penutup lantai (keramik)	=	24	kg/m ²	=	0.024	ton/m ²
Ducting AC + penerangan	=	30	kg/m ²	=	0.03	ton/m ²
Jumlah				=	0.072	ton/m ²

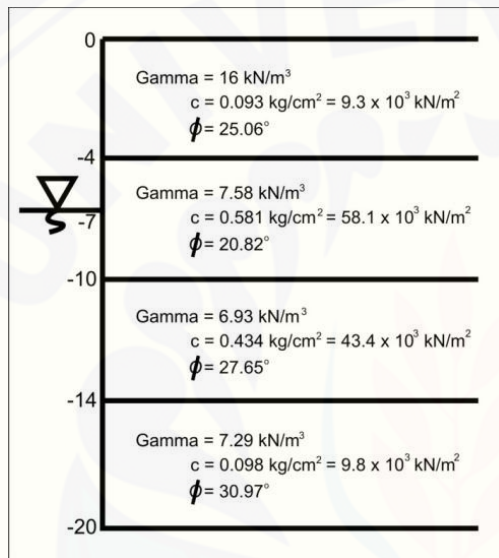
2. Pelat Basement 1, 2 dan 3

Ducting AC + penerangan	=	30	kg/m ²	=	0.03	ton/m ²
Jumlah				=	0.03	ton/m ²

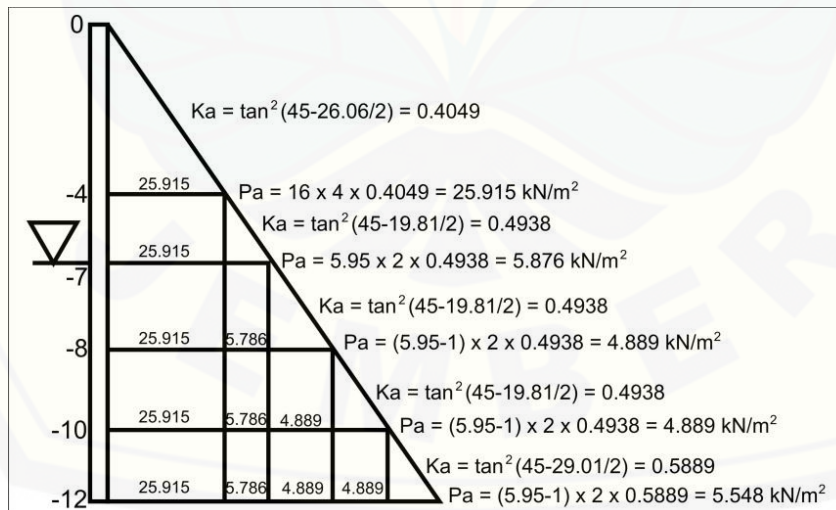
4.2 Perhitungan Beban Akibat Tekanan Tanah Pasif

4.2.1 Tekanan Tanah Arah Horizontal Pada Dinding Penahan Tanah

Pada saat struktur di bebani gaya lateral maka terjadi tekanan pasif pada struktur basement oleh tanah di sekelilingnya.



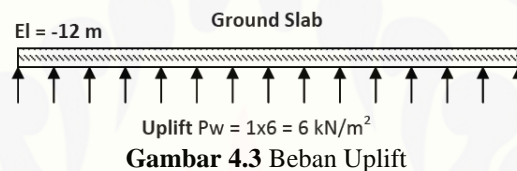
Gambar 4.1 Data Tanah



Gambar 4.2 Beban Tekanan Tanah

4.2.2 Tekanan ke Atas (Uplift) Pada Lantai dan Pondasi

Kondisi geologi lapisan tanah di lokasi didominasi oleh lempung lanau dengan muka air tanah rata-rata pada kedalaman 6 m. Dalam desain lantai basement dan elemene-elemen horizontal sejenis lainnya yang berada di bawah tanah, tekanan ke atas air harus diambil sebesar tekanan hidrostatik penuh dan diterapkan di seluruh luasan. Besarnya tekanan hidrostatik harus diukur dari sisi bawah struktur. Beban-beban ke atas lainnya harus diperhitungkan dalam desain tersebut.



4.3 Analisis Statik Ekuivalen

4.3.1 Perhitungan Periode Getar Pada Wilayah Gempa 2 (SNI 02-1726-2002)

1. Taksiran waktu getar alami fundamental (T)

$$T = 0.075 \times h_n^\beta$$

Untuk 0.075 untuk bangunan beton bertulang

$$h_n = 46.80 \text{ m}$$

$$\beta = 0.75 \text{ (untuk sistem bangunan beton)}$$

$$\begin{aligned} T &= 0.075 \times 46.80^{0.75} \\ &= 0.6053 \text{ detik} \end{aligned}$$

2. Pembatasan waktu getar alami fundamental

$$T_1 < \xi \cdot n, \text{ dimana } n \text{ adalah jumlah tingkat bangunan.}$$

Untuk $\xi = 0,19$ (Wilayah gempa 2)

$$n = 14 \text{ (jumlah lantai dari basement sampai atap)}$$

$$T_1 < \xi \cdot n$$

$$0.6053 < 0.19 \times 14$$

$$0.6053 < 2.66 \dots\dots\dots\text{OK}$$

Untuk pembatasan waktu getar alami fundamental diambil nilai terkecil yaitu
 $T = 0.6053$ detik.

3. Koefisien gempa dasar

Untuk wilayah gempa 2 dengan jenis tanah sedang

$$g = 0.19 \text{ (Percepatan puncak batuan dasar)}$$

$$A_o = 0.23 \text{ (Percepatan puncak muka tanah)}$$

$$A_m = 2.5 \times A_o \text{ (Percepatan respon maksimum)}$$

$$= 2.5 \times 0.23$$

$$= 0.550$$

$$T_c = 0.6 \text{ detik (Waktu getar alami sudut)}$$

Untuk $T > T_c$

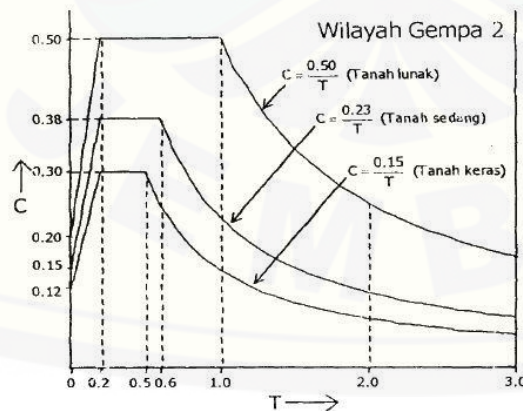
$$0.6053 > 0.6$$

4.3.2 Perhitungan Gaya Geser Nominal

1. Gaya geser nominal

$$V = \frac{C \cdot I}{R} \cdot W_1$$

Dimana



Gambar 4.4 Respon Spektrum Gempa Rencana Wilayah Gempa 2

V = Gaya geser dasar nominal

$$C = \frac{0.23}{T} \text{ (Tanah sedang)} = \frac{0.23}{0.6053} = 0.3799$$

I = 1.0 (Faktor keutamaan gedung untuk pusat perbelanjaan)

R = 8.5 (Faktor reduksi gempa representative dari struktur gedung yang bersangkutan yang bersifat daktail penuh ditinjau dari ASCE 7-10, Chapter 15, Tabel 15.4-1)

W_t = 68008.8628 ton

Maka

$$V = \frac{0.3799 \times 1.0}{8.5} \cdot 68008.8628 = 3039.5961$$

2. Distribusi beban gempa statik ekuivalen

$$F_i = \frac{W_j \cdot Z_j}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot Z_i} \cdot V$$

Dimana

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

Z_i = Ketinggian lantai tingkat ke-i, diukur dari taraf penjepitan lateral

n = Nomor lantai tingkat paling atas

V = Gaya geser dasar nominal

Kemudian distribusi beban lateral tiap lantai ditampilkan dalam tabel berikut :

Tabel 4.5 Distribusi Beban Lateral Per Lantai

No	Lantai	F (ton)	FY 30% (ton)	FX 100% (ton)
1	Lantai 16	97.0173	29.1052	97.0173
2	Lantai TBS	64.7668	19.4301	64.7668
3	Lantai 15	204.3843	61.3153	204.3843
4	Lantai 14	203.0007	60.9002	203.0007

5	Lantai 13	202.9809	60.8943	202.9809
6	Lantai 12	197.8943	59.3683	197.8943
7	Lantai 11	192.0497	57.6149	192.0497
8	Lantai 10	176.0175	52.8052	176.0175
9	Lantai 9	168.3724	50.5117	168.3724
10	Lantai 8	160.9498	48.2849	160.9498
11	Lantai 7	154.2068	46.2621	154.2068
12	Lantai 6	144.3848	43.3154	144.3848
13	Lantai 5	135.6128	40.6838	135.6128
14	Lantai 4	126.1775	37.8532	126.1775
15	Lantai 3	114.1759	34.2528	114.1759
16	Lantai Hollow	102.7273	30.8182	102.7273
17	Lantai 2	117.3339	35.2002	117.3339
18	Lantai 1	104.8744	31.4623	104.8744
19	Lantai Mezzanine	73.7382	22.1215	73.7382
20	Lantai Ground	118.1671	35.4501	118.1671
21	Lantai Basement 1	85.4940	25.6482	85.4940
22	Lantai Basement 2	63.8576	19.1573	63.8576
23	Lantai Basement 3	31.4122	9.4237	31.4122

4.4 Pemodelan Gedung Pada ETABS 2013

Pada dasarnya hasil yang disajikan program ETABS 2013 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 diperoleh dapat dijadikan tolak ukur.

4.4.1 Pembebanan Elemen

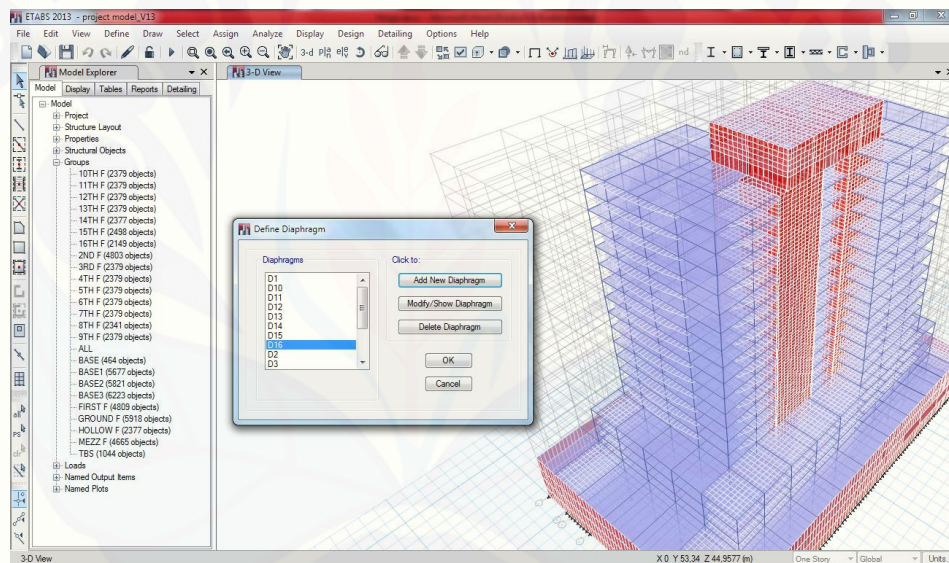
Jenis pembebanan yang digunakan pada program ETABS 2013 sebagai berikut:

- Dead = Beban dari berat sendiri elemen, seperti balok, pelat dan kolom
- Live = Beban hidup tereduksi
- F.Soil = Beban dari tekanan tanah pasif
- Q lateral = Beban lateral yang digunakan untuk analisis *pushover*
- Hidro = Tekanan air dari dasar basement 3

4.4.2 Analisis *Pushover*

Tahapan analisis *Pushover* menggunakan ETABS 2013 sebagai berikut :

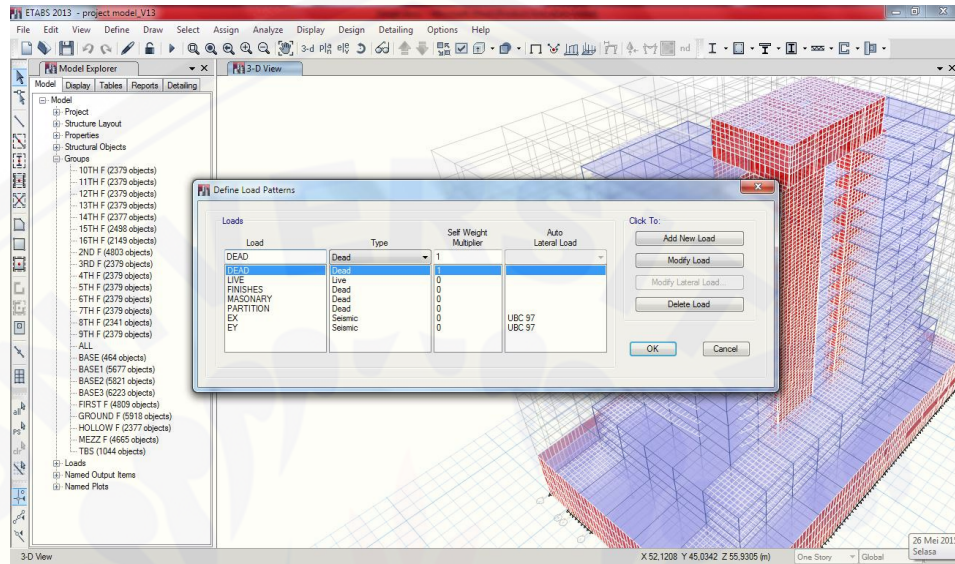
1. Menginput diafragma untuk menentukan pusat masa pada setiap lantai.



Gambar 4.5 Input Diafragma Setiap Lantai
Sumber : Gambar Simulasi 3D pada program ETABS 2013

2. Melakukan pendefinisian jenis beban dan factor pengali, klik pada Define >>

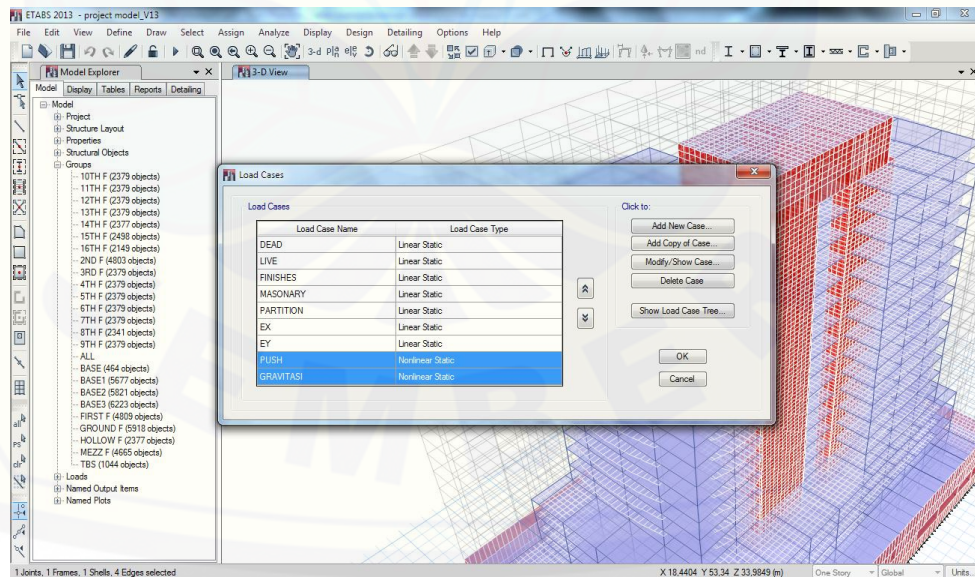
Load Cases :



Gambar 4.6 Static Load Case Names

Sumber : Gambar Simulasi 3D pada program ETABS 2013

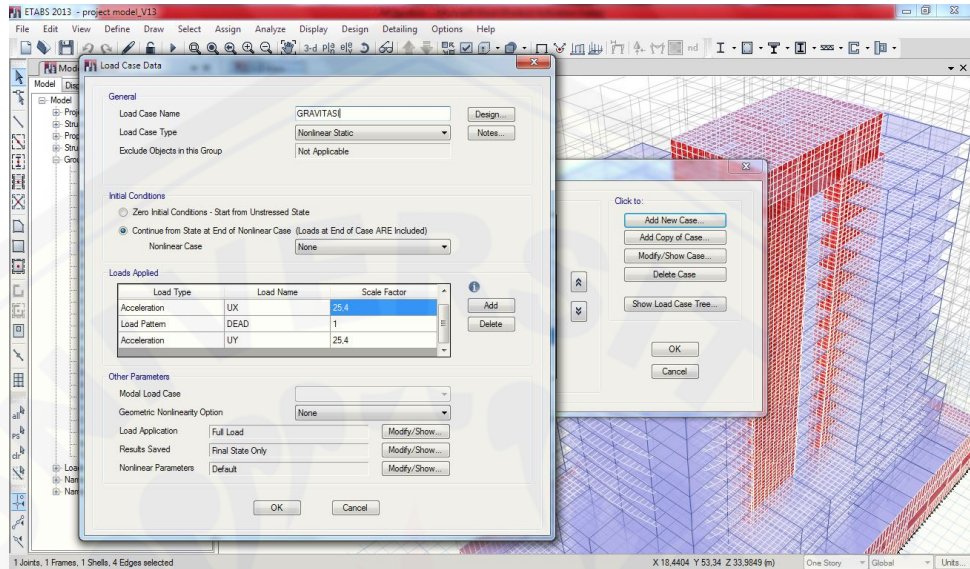
3. Menentukan Identitas Analisis Static Nonlinear yakni GRAVITASI dan PUSH untuk memasukkan data *pushover*.



Gambar 4.7 Identitas Analisis Gravitasi dan Pushover

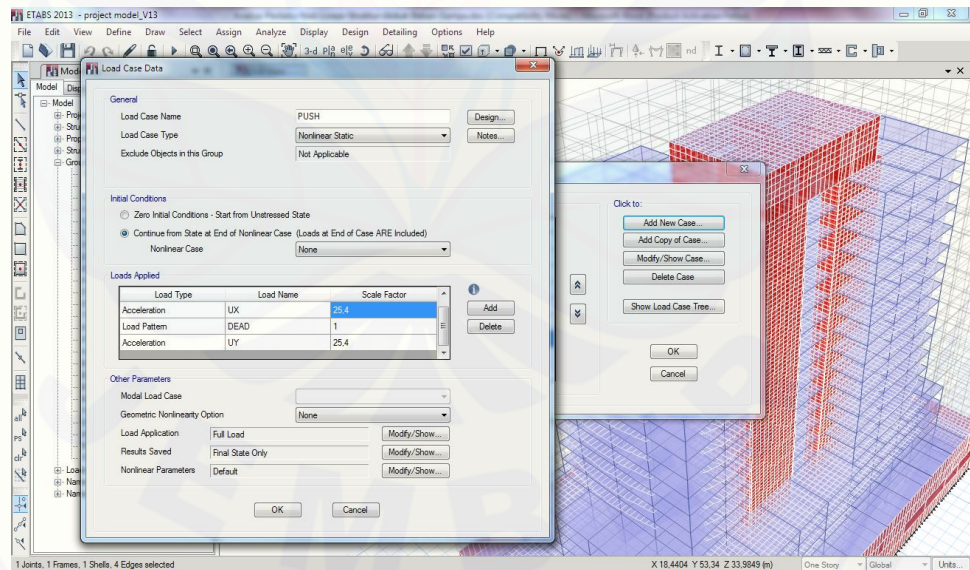
Sumber : Gambar Simulasi 3D pada program ETABS 2013

4. Memasukkan data *static nonlinear (gravitasi)*.



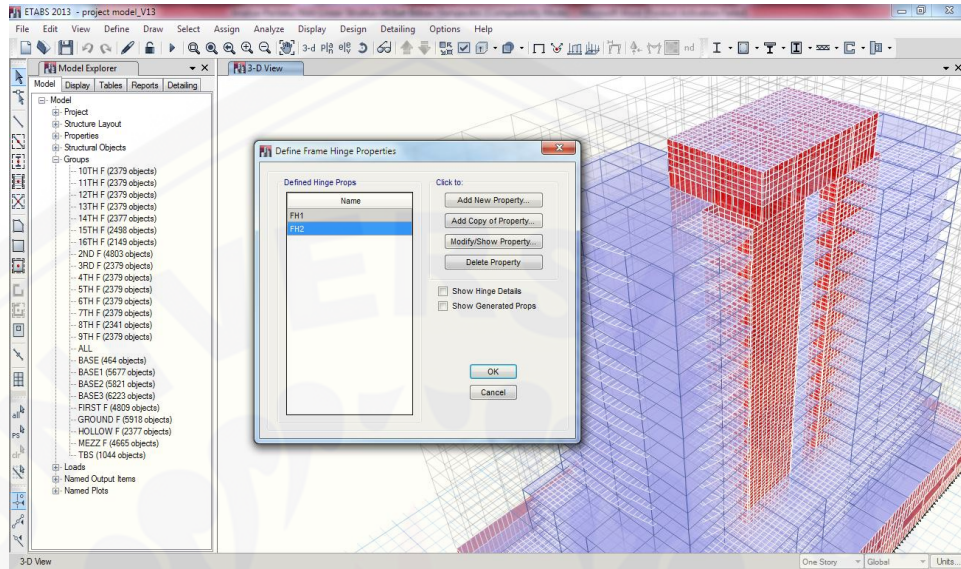
Gambar 4.8 Properti Data Gravitasi
Sumber : Gambar Simulasi 3D pada program ETABS 2013

5. Memasukkan data *static nonlinear (push)*.

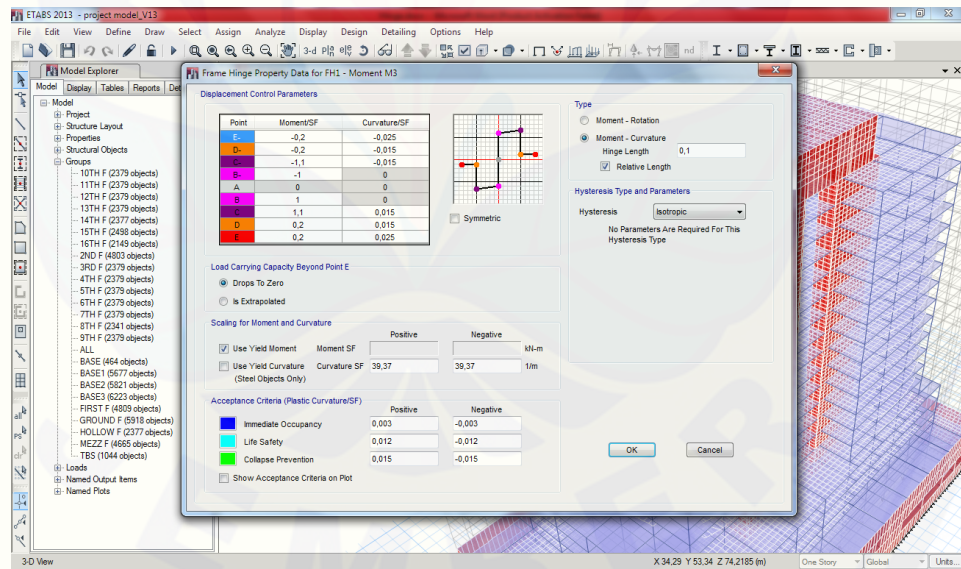


Gambar 4.9 Properti Data *Pushover*
Sumber : Gambar Simulasi 3D pada program ETABS 2013

6. Memasukkan properti sendi



Gambar 4.10 Input Properti Sendi
 Sumber : Gambar Simulasi 3D pada program ETABS 2013



Gambar 4.11 Input Data Properti Sendi
 Sumber : Gambar Simulasi 3D pada program ETABS 2013

7. Hasil Running

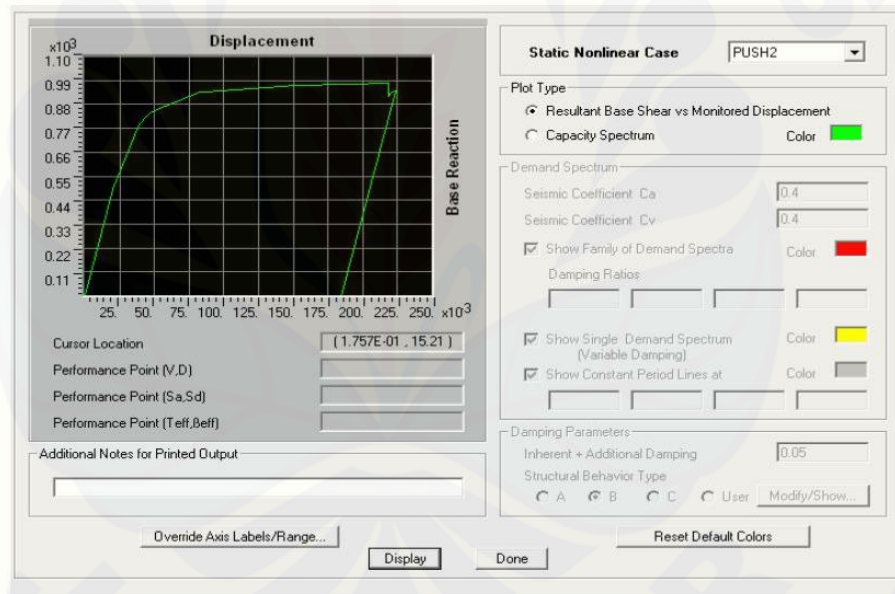
Tabel 4.5 Hasil Running Analisa Pushover
 Sumber : Gambar Simulasi 3D pada program ETABS 2013

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Total
0	0.0000	0	22713	1208	0	0	0	0	0	0	23921
1	0.0200	14010.6846	20528	3393	0	0	0	0	0	0	23921
2	0.0381	18229.1578	16811	2184	3895	1031	0	0	0	0	23921
3	0.0427	24778.3849	14754	1641	3001	3451	1074	0	0	0	23921
4	0.0478	27613.0471	11176	1026	2853	2924	4965	977	0	0	23921
5	0.0831	29917.6932	11143	1026	2853	2311	5859	574	155	0	23921
6	0.1518	32497.3864	22713	0	0	0	0	0	0	0	23921

4.5 Hasil Analisis Pushover

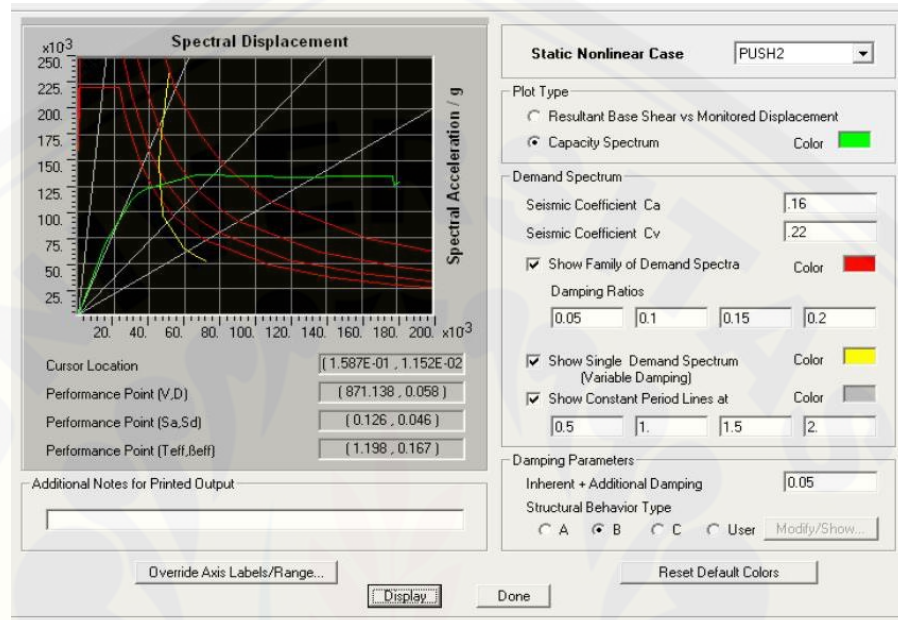
4.5.1 Kurva Kapasitas

Dari proses iterasi, didapatkan kurva kapasitas yang merupakan hubungan antara perpindahan titik acuan pada atap (D) dengan gaya geser dasar (V).



Gambar 4.12 Kurva Displacement vs Base Shear
 Sumber : Gambar Simulasi 3D pada program ETABS 2013

4.5.2 Kurva Kapasitas Spektrum



Gambar 4.13 Kurva Kapasitas Spektrum

Sumber : Gambar Simulasi 3D pada program ETABS 2013

Memasukkan nilai $C_a = 0.16$ dan $C_v = 0.22$ Yang didapat dari spectrum spectra SNI 02-1726-2002. Tipe struktur A berdasarkan Tabel 8-3 ATC-40.

4.6 Pembahasan

Tabel 4.6 Nilai Performance Point

V (ton), D (m)	49017.7935 (ton); 1.3799 (m)
S _a (g), S _d (m)	0.496 (g) ; 0.074 (m)
T _{eff} (second), β _{eff}	1.7251 (dtk) ; 0.262

1. *Displacement Limit* menurut SNI 1726-2002 ditentukan = 2%,
 $H = 0.02 \times 81.00 = 1.62 \text{ m} > D = 1.3799 \text{ m}$, maka kinerja *displacement* gedung baik.
2. Kinerja gedung menurut ATC40 Tabel.11-12

- Maksimal *drift* = $\frac{Dt}{H} = \frac{1.3799}{81.00} = 0.017 > 0.02$

Sehingga level kinerja gedung adalah *Damage Control (DC)*.

- Maksimal *in - elastic drift* = $\frac{Dt-D1}{H_{total}} = \frac{1.3799 - 0.2018}{81.00} = 0.0145$

> 0.015

Level kinerja gedung nonlinier adalah *Damage Control (DC)*.

4.7 Perhitungan *Performance Point* Menurut ATC-40 dalam Format ADRS

4.7.1 Perhitungan Kurva Kapasitas Menjadi Kurva Spektrum

1. Faktor α dan MPF

Tabel 4.7 Nilai Displacement Per Lantai

No	Lantai	Displacement (m)
1	Lantai 16	0.2168
2	Lantai TBS	0.3216
3	Lantai 15	0.5682
4	Lantai 14	0.6451
5	Lantai 13	0.7225
6	Lantai 12	0.7456
7	Lantai 11	0.7924
8	Lantai 10	0.8345
9	Lantai 9	0.8587
10	Lantai 8	0.8617
11	Lantai 7	0.8962
12	Lantai 6	0.9426
13	Lantai 5	0.9814
14	Lantai 4	0.9963
15	Lantai 3	0.7142
16	Lantai Hollow	0.6863
17	Lantai 2	0.6321
18	Lantai 1	0.6239
19	Lantai Mezzanine	0.5213

20	Lantai Ground	0.4768
21	Lantai Basement 1	0.4531
22	Lantai Basement 2	0.4213
23	Lantai Basement 3	0.4192

Tabel 4.8 Faktor α dan MPF

No	Lantai	Displacement t (m)	Berat (ton)	m _i Φ_i (tm)	m _i Φ_i^2 (tm ²)
1	Lantai 16	0.2168	785.3716	170.2686	36.9142
2	Lantai TBS	0.3216	525.3633	168.9568	54.3365
3	Lantai 15	0.5682	1689.2753	959.8462	545.3846
4	Lantai 14	0.6451	1673.6349	1079.6619	696.4899
5	Lantai 13	0.7225	1687.7064	1219.3679	880.9933
6	Lantai 12	0.7456	1687.7064	1258.3539	938.2287
7	Lantai 11	0.7924	1687.7064	1337.3386	1059.7071
8	Lantai 10	0.8345	1687.7064	1408.3910	1175.3023
9	Lantai 9	0.8587	1687.7064	1449.2335	1244.4568
10	Lantai 8	0.8617	1678.6011	1446.4506	1246.4064
11	Lantai 7	0.8962	1687.7064	1512.5225	1355.5227
12	Lantai 6	0.9426	1687.7064	1590.8321	1499.5183
13	Lantai 5	0.9814	1687.7064	1656.3151	1625.5076
14	Lantai 4	0.9963	1687.7064	1681.4619	1675.2405
15	Lantai 3	0.7142	1687.7064	1205.3599	860.8681
16	Lantai Hollow	0.6863	1671.4426	1147.1110	787.2623
17	Lantai 2	0.6321	2401.3985	1517.9240	959.4798
18	Lantai 1	0.6239	2401.3985	1498.2325	934.7473
19	Lantai Mezzanine	0.5213	1990.7602	1037.7833	540.9964
20	Lantai Ground	0.4768	4749.2947	2264.4637	1079.6963
21	Lantai Basement 1	0.4531	4455.4006	2018.7420	914.6920
22	Lantai Basement 2	0.4213	4995.1446	2104.4544	886.6066
23	Lantai Basement 3	0.4192	4701.3230	1970.7946	826.1571
Total			50595.4731	31703.8661	21824.5149

$$\begin{aligned}
 (\sum m_i \Phi_i)^2 &= (31703.8661)^2 \\
 &= 1005135124.4877 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

$$(\sum m_i \Phi_i^2) = 21824.5149 \text{ tm}^2$$

$$(\sum m_i) = 50595.4731 \text{ ton}$$

$$\alpha_1 = \frac{(\sum m_i \Phi_i)^2}{(\sum m_i \Phi_i^2) \times (\sum m_i)} = \frac{1005135124.4877}{21824.5149 \times 50595.4731} = 0.9102$$

$$MPF = \frac{(\sum m_i \Phi_i)}{(\sum m_i \Phi_i^2)} = \frac{31703.8661}{21824.5149} = 1.4526$$

2. Merubah Kapasitas Kurva Menjadi Kapasitas Spektrum

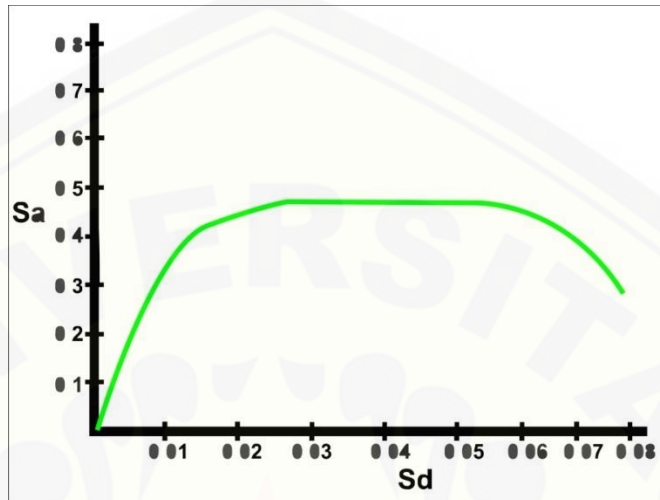
$$\frac{S_a}{g} = \frac{V_b}{W_t \alpha_1}$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{MPF \times \Phi_{roof}}$$

Tabel 4.9 Perhitungan Kurva Kapasitas dalam Format ADRS

No	Displacement (m)	Base Force (ton)	α	W total (ton)	Sa/g (m)	Sd (m)
1	0.2168	55252.3164	0.9102	68008.8628	0.5926	0.0349
2	0.3216	54134.1846	0.9102	68008.8628	0.5745	0.0404
3	0.5682	52542.1245	0.9102	68008.8628	0.5488	0.0229
4	0.6451	48145.1468	0.9102	68008.8628	0.4778	0.0201
5	0.7225	47233.8467	0.9102	68008.8628	0.4630	0.0180
6	0.7456	43892.4584	0.9102	68008.8628	0.4091	0.0174
7	0.7924	41816.5281	0.9102	68008.8628	0.3755	0.7714
8	0.8345	40451.2563	0.9102	68008.8628	0.3535	0.6410
9	0.8587	3767.4145	0.9102	68008.8628	0.3609	0.5339
10	0.8617	38715.1845	0.9102	68008.8628	0.3254	0.4434
11	0.8962	37764.4618	0.9102	68008.8628	0.3101	0.3410
12	0.9426	35012.2461	0.9102	68008.8628	0.3656	0.2432
13	0.9814	34262.2154	0.9102	68008.8628	0.3535	0.1557
14	0.9963	32856.2865	0.9102	68008.8628	0.5308	0.0767
15	0.7142	30136.7418	0.9102	68008.8628	0.2868	0.0954
16	0.6863	29268.4614	0.9102	68008.8628	0.2728	0.0883
17	0.6321	26715.4581	0.9102	68008.8628	0.2423	0.0839
18	0.6239	26148.6592	0.9102	68008.8628	0.2224	0.0728
19	0.5213	24901.4511	0.9102	68008.8628	0.2023	0.0726
20	0.4768	23468.1441	0.9102	68008.8628	0.2791	0.0635
21	0.4531	20293.4458	0.9102	68008.8628	0.2278	0.0501
22	0.4213	17548.1275	0.9102	68008.8628	0.1835	0.0359

23	0.4192	13441.0808	0.9102	68008.8628	0.1171	0.0181
----	--------	------------	--------	------------	--------	--------



Gambar 4.15 Kurva Kapasitas Spektrum

4.7.2 Demand Spectrum

Untuk $T = 0.2$ detik

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}}$$

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{S_d}{0.55 \times 10}$$

$$0.04 = 4\pi^2 \frac{S_d}{0.55 \times 10}$$

$$S_d = 0.0055m$$

Untuk $T = 0.6$ Detik

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}}$$

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{S_d}{0.55 \times 10}$$

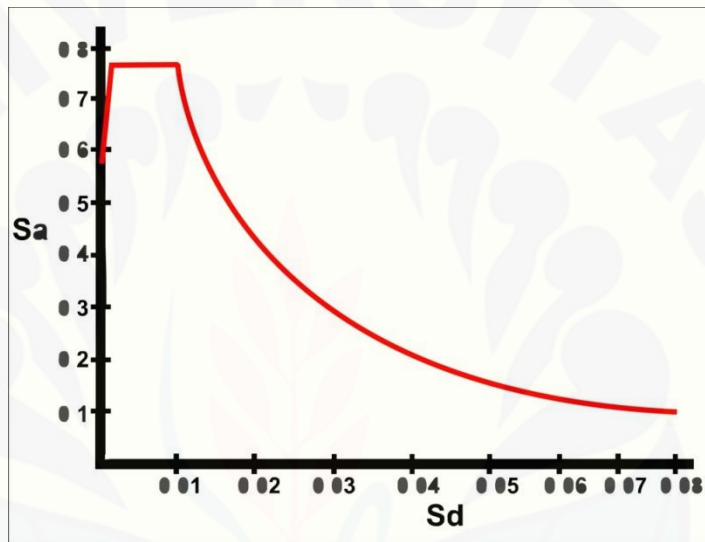
$$0.36 = 4\pi^2 \frac{S_d}{0.55 \times 10}$$

$$S_d = 0.0501m$$

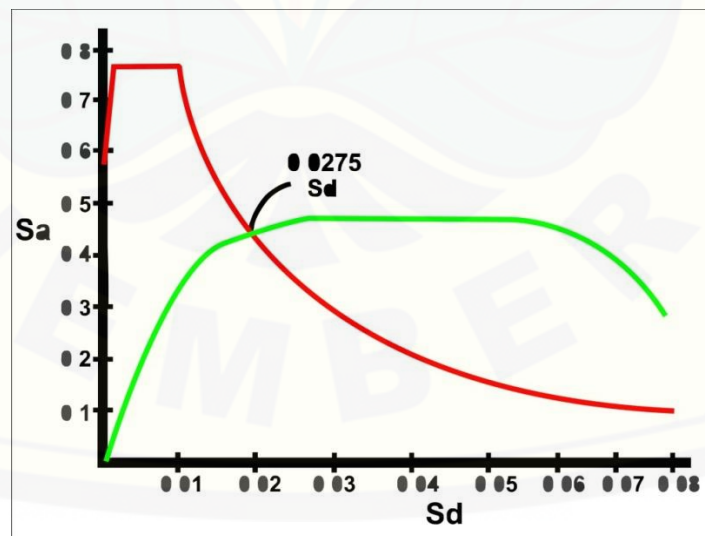
Untuk $T > 0.6$ detik

$$\frac{S_a}{g} = \frac{0.03}{T} = \frac{0.33}{2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}}}$$

$$\frac{S_a}{g} = \frac{0.0275}{S_d} \dots \dots \dots \text{pers 4.1}$$



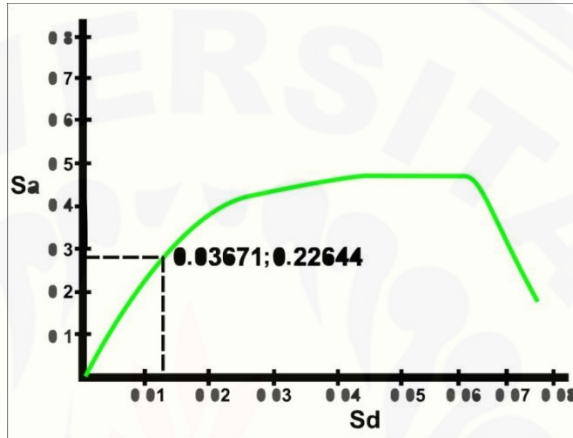
Gambar 4.16 Kurva Demand Spektrum



Gambar 4.17 Penggabungan Antara Kurva Kapasitas Spektrum dan Demand Spektrum

4.7.3 Menentukan Nilai d_y dan a_y

Dengan membuat garis bantu pada poin pertama, kemudian dihubungkan dengan point terakhir sebelum struktur mengalami keruntuhan.

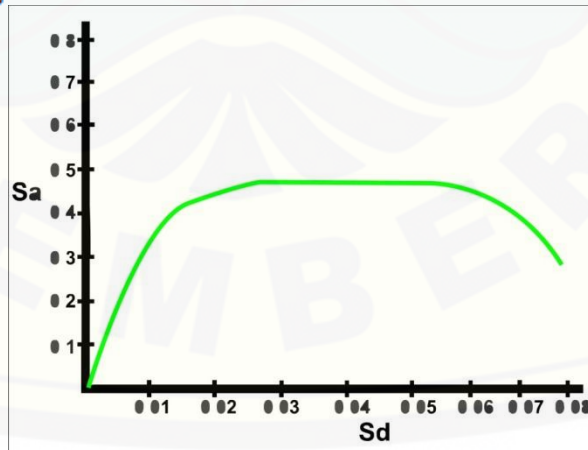


Gambar 4.18 Garis Bantu Untuk Menentukan Nilai d_y dan a_y

Dari hasil penarikan garis pada grafik diatas didapatkan nilai $d_y = 0.03671$ dan $a_y = 0.22644$

4.7.4 Persamaan Garis Linear Pada Kurva Kapasitas

$$\frac{\frac{S_a}{g} - \frac{S_{a_1}}{g}}{\frac{S_{a_2}}{g} - \frac{S_{a_1}}{g}} = \frac{S_d - S_{d_1}}{S_{d_2} - S_{d_1}}$$



Gambar 4.19 Persamaan Garis Linear Pada Kurva Kapasitas

$$Eq (A) = Sa^* = \frac{Sa}{g} = 6.1 Sd + 0.036 \dots \text{pers 4.2}$$

4.7.5 Perhitungan Demand Spektrum Baru

1. Iterasi Pertama

Mensubstitusi persamaan 1 dan persamaan 2

$$\frac{Sa}{g} = \frac{0.0275}{Sd} \dots \text{pers 4.3}$$

$$\frac{Sa}{g} = 6.1 Sd + 0.036 \dots \text{pers 4.4}$$

$$6.1 Sd + 0.036 = \frac{0.0275}{Sd}$$

$$Sd = 0.0643 \text{ dpi}$$

$$\frac{Sa}{g} = 6.1 Sd + 0.036 = 0.428 \text{ api}$$

$$\beta_0 = \frac{63.77 (ay \times dpi - dy \times api)}{api \times dpi}$$

$$\beta_0 = \frac{63.7 ((0.22644 \times 0.0643) - (0.03671 \times 0.428))}{0.0643 \times 0.428}$$

$$\beta_0 = 2.665 \%$$

Nilai β_0 sebesar 2.665 % pada tipe bangunan A maka nilai *damping modification factor* k diambil sebesar 1.0

$$\beta_{\text{eff}} = 10 + (\beta_0 \times k)$$

$$\beta_{\text{eff}} = 10 + 2.665\% = 12.665\%$$

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln \beta_{\text{eff}}}{2.12}$$

$$= \frac{3.21 - 0.68 \ln 12.665}{2.12}$$

$$= 0.699$$

$$SR_A = \frac{2.31 - 0.41 \ln \beta_{\text{eff}}}{1.65}$$

$$= \frac{2.31 - 0.41 \ln 12.665}{1.65}$$

$$= 0.769$$

$$0.55 SR_A = 1.322$$

$$\frac{0.0275}{S_d} \times SR_v = \frac{0.0213}{S_d}$$

$$6.1 S_d + 0.036 = \frac{0.0213}{S_d}$$

$$S_d = 0.0562 \text{ dpi} \dots\dots\dots(\text{not converged yet})$$

2. Iterasi Kedua

$$S_d = 0.0562 \text{ dpi}$$

$$\frac{S_a}{g} = 6.1 S_d + 0.036 = 0.3788 \text{ api}$$

$$\beta_0 = \frac{63.77 (a_y \times \text{dpi} - d_y \times \text{api})}{\text{api} \times \text{dpi}}$$

$$\beta_0 = \frac{63.77 ((0.22644 \times 0.0562) - (0.03671 \times 0.3788))}{0.3788 \times 0.0562}$$

$$\beta_0 = 3.5341\%$$

Nilai β_0 sebesar 3.5341 % pada tipe bangunan A maka nilai *damping modification factor* k diambil sebesar 1.0

$$\beta_{\text{eff}} = 10 + (\beta_0 \times k)$$

$$\beta_{\text{eff}} = 10 + 3.5341\% = 13.5341\%$$

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln \beta_{\text{eff}}}{2.12}$$

$$= \frac{3.21 - 0.68 \ln 13.5341}{2.12}$$

$$= 0.678$$

$$SR_A = \frac{2.31 - 0.41 \ln \beta_{\text{eff}}}{1.65}$$

$$= \frac{2.31 - 0.41 \ln 13.5341}{1.65}$$

$$= 0.7526$$

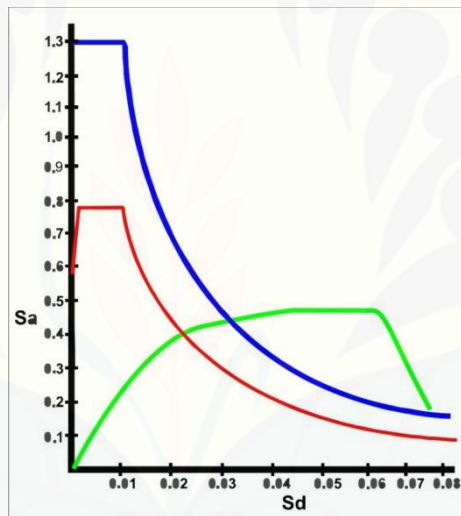
$$0.55 SR_A = 1.322$$

$$\frac{0.0275}{S_d} \times SR_V = \frac{0.0213}{S_d}$$

$$6.1 S_d + 0.036 = \frac{0.0213}{S_d}$$

$$S_d = 0.056 \text{ dpi} \dots \dots \dots (\text{converged})$$

$$\frac{S_a}{g} = 0.382 \text{ api} \dots \dots \dots (\text{converged})$$



Gambar 4.20 Performance Point

4.7.6 Performa Level

Koordinat performance point (0.056 ; 0.382)

$$S_d = \frac{X_{\text{roof}}}{MPF \times \Phi_{\text{roof}}}$$

$$X_{\text{roof}} = S_d \times MPF \times \Phi_{\text{roof}}$$

$$= 0.056 \times 1.4526 \times 0.2168$$

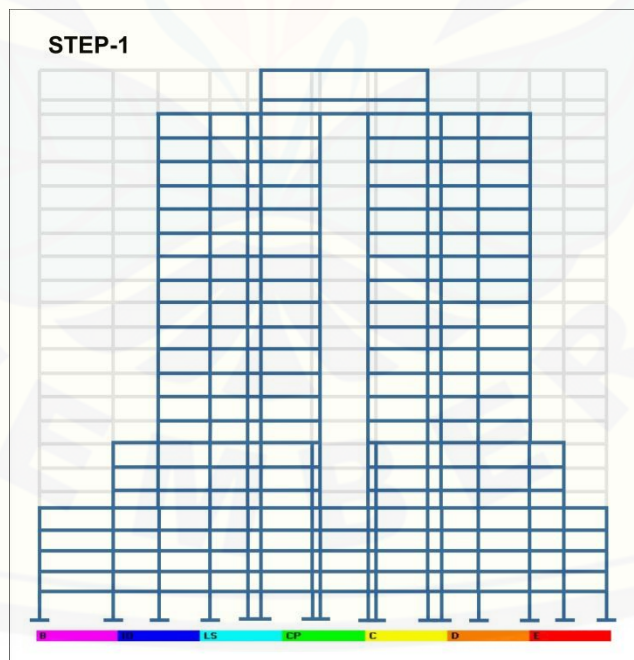
$$= 0.017$$

Sehingga menurut ATC-40 1996, performance level pada kondisi *Damage Control* (Kontrol Kerusakan).

4.8 Skema Distribusi Sendi Plastis

Titik leleh terjadi pada step-2 dan titik keruntuhan pada step-6 telah diperlihatkan pada Gambar 4.22. Dari hasil running analisa *pushover* diperoleh nilai daktilitas adalah $208,53 \text{ mm}/81,80 \text{ mm} = 5,295756692 = 5,30$. Nilai ini sesuai dengan nilai daktilitas asumsi awal sebesar 5,30. Nilai gaya geser dasar yang terjadi saat terjadi target perpindahan dihitung dengan interpolasi berdasarkan data pada tabel hasil running analisa *pushover*. Maka, saat terjadi perpindahan sebesar 1.3799 m, gaya geser dasar yang dialami oleh model struktur di Wilayah Gempa 2 adalah 49017.7935 kN.

Pada kondisi tersebut, telah terdapat 1026 sendi plastis di tingkat *Immediate Occupancy*, 2924 sendi plastis di tingkat *Life Safety* dan 4965 sendi plastis di tingkat *Collapse Prevention* menurut FEMA 273 yang terjadi pada *step* 4. Artinya, model struktur telah memasuki kondisi inelastis. Lokasi sendi plastis pada *step* 4 diperlihatkan pada Gambar 4.24. Lokasi sendi plastis saat terjadi keruntuhan struktur diperlihatkan pada Gambar 4.26.

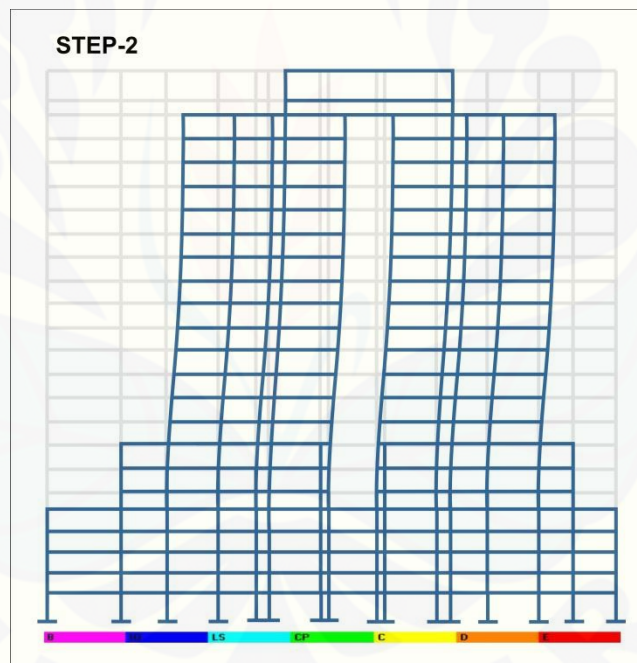


Gambar 4.21 Gambar Sendi Plastis Step-1

Pada step-1 didapat nilai displacement 0.0200 m. Terjadi sendi plastis dengan level B, menunjukkan batas linier diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur dengan gaya geser dasar sebesar 489.9547 kN. Pada tahap ini level kinerja gedung masuk dalam level Immediate Occupancy.

Tabel 4.10 Rekapitulasi Balok dan Kolom Akibat Sendi Plastis Step-1

	Keterangan	Jumlah	Persentase
STEP-1	Menunjukkan batas linier	22713	85,82%
	Terjadi kerusakan kecil non struktural	3393	14,18%
	Total	23921	100,00%

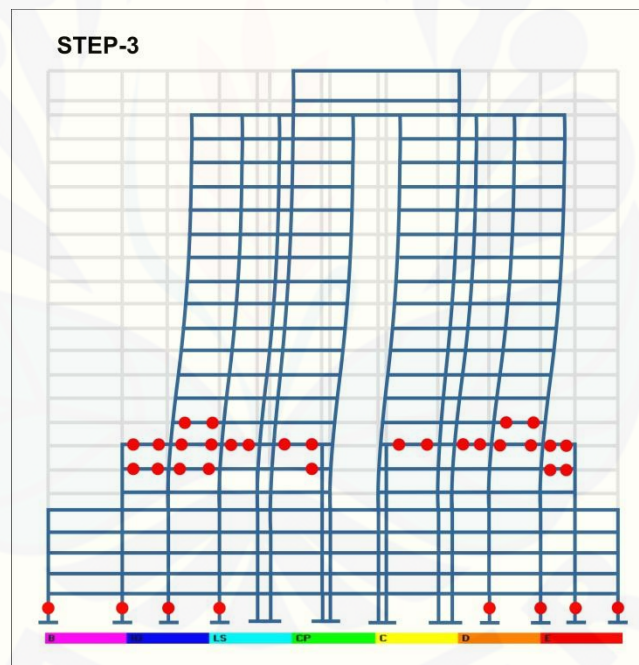


Gambar 4.22 Gambar Sendi Plastis Step-2

Pada step-2 sebagian balok dan kolom pada portal terjadi sendi plastis dengan level B menunjukkan batas linier diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur dengan level C menunjukkan batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung, terjadi kerusakan parah di beberapa bagian struktur gedung. Pada tahap ini level kinerja gedung masuk dalam level Damage Control.

Tabel 4.11 Rekapitulasi Balok dan Kolom Akibat Sendi Plastis Step-2

STEP-2	Keterangan	Jumlah	Persentase
	Menunjukkan batas linier diikuti pelelehan pertama	16811	70,28%
	Terjadi kerusakan kecil non structural	2184	9,13%
	Terjadi kerusakan kecil hingga sedang, kekakuan struktur mulai berkurang	3895	16,28%
	Terjadi kerusakan parah, kekakuan struktur banyak berkurang	1031	4,31%
	Total	23921	100,00%

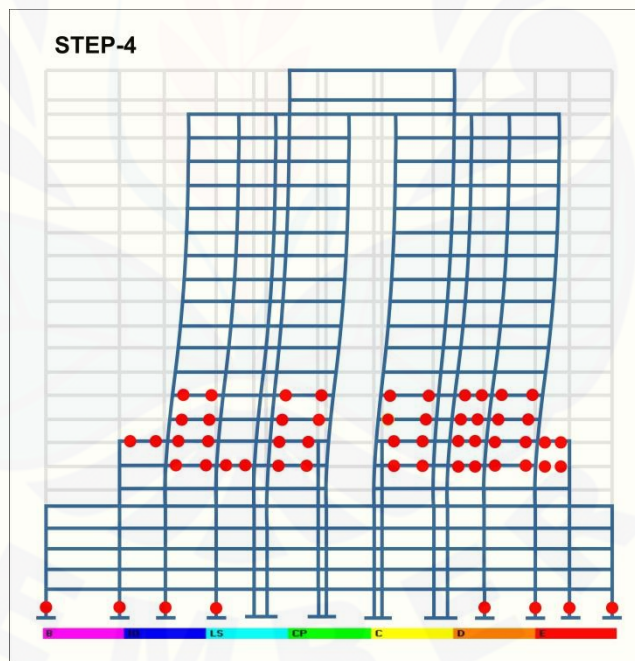


Gambar 4.23 Gambar Sendi Plastis Step-3

Pada step-3 sebagian balok dan kolom pada portal terjadi sendi plastis dengan level B menunjukkan batas linier diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur dengan level C menunjukkan batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung, terjadi kerusakan parah di beberapa bagian struktur gedung menandakan gedung memasuki batas maksimum.

Tabel 4.12 Rekapitulasi Balok dan Kolom Akibat Sendi Plastis Step-3

STEP-3	Keterangan	Jumlah	Persentase
	Menunjukkan batas linier diikuti pelelehan pertama	12794	53,48%
	Terjadi kerusakan kecil non structural	1641	6,86%
	Terjadi kerusakan kecil hingga sedang, kekakuan struktur mulai berkurang	3001	12,55%
	Terjadi kerusakan parah, kekakuan struktur banyak berkurang	3751	15,68%
	Menunjukkan batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung	2734	11,43%
	Total	23921	100,00%



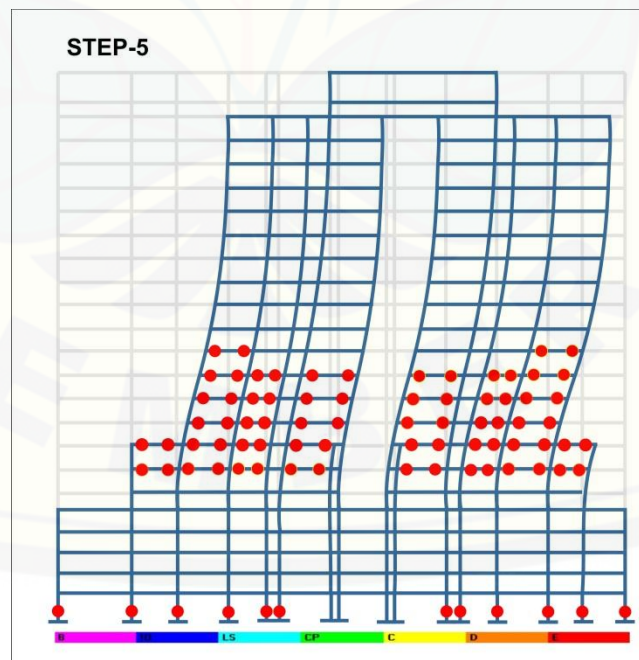
Gambar 4.24 Gambar Sendi Plastis Step-4

Pada step-3 sebagian balok dan kolom pada portal terjadi sendi plastis dengan level B menunjukkan batas linier diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur dengan level C menunjukkan batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan

gedung, terjadi kerusakan parah di beberapa bagian struktur gedung menandakan gedung memasuki batas maksimum.

Tabel 4.13 Rekapitulasi Balok dan Kolom Akibat Sendi Plastis Step-4

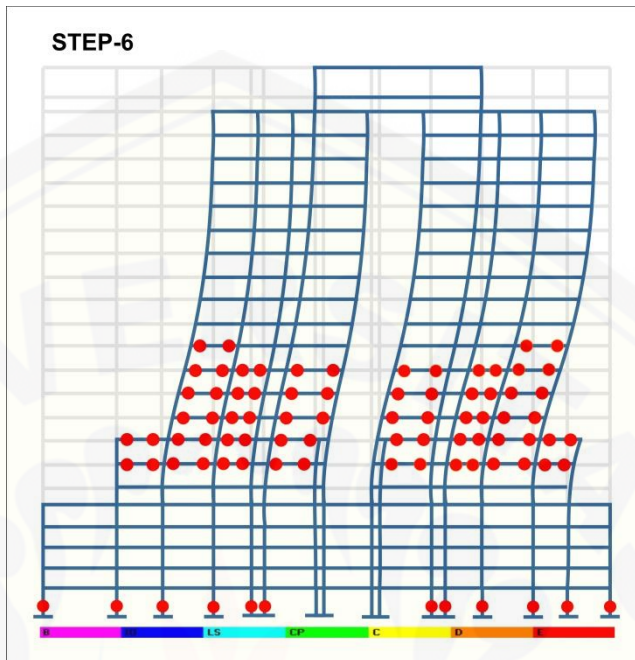
	Keterangan	Jumlah	Persentase
STEP-4	Menunjukkan batas linier diikuti pelepasan pertama	11176	46,72%
	Terjadi kerusakan kecil non structural	1026	4,29%
	Terjadi kerusakan kecil hingga sedang, kekakuan struktur mulai berkurang	2853	11,93%
	Terjadi kerusakan parah, kekakuan struktur banyak berkurang	2924	12,22%
	Menunjukkan batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung	4965	20,76%
	Terjadi degradasi kekuatan struktur yang menyebabkan kondisi struktur tidak stabil	977	4,08%
	Total	23921	100,00%



Gambar 4.25 Gambar Sendi Plastis Step-5

Tabel 4.14 Rekapitulasi Balok dan Kolom Akibat Sendi Plastis Step-5

	Keterangan	Jumlah	Persentase
STEP-5	Menunjukkan batas linier diikuti pelepasan pertama	11143	46,58%
	Terjadi kerusakan kecil non structural	1026	4,29%
	Terjadi kerusakan kecil hingga sedang, kekakuan struktur mulai berkurang	2853	11,93%
	Terjadi kerusakan parah, kekakuan struktur banyak berkurang	2311	9,66%
	Menunjukkan batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung	5859	24,49%
	Terjadi degradasi kekuatan struktur yang menyebabkan kondisi struktur tidak stabil	574	2,40%
	Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur	155	0,65%
	Total	23921	100,00%



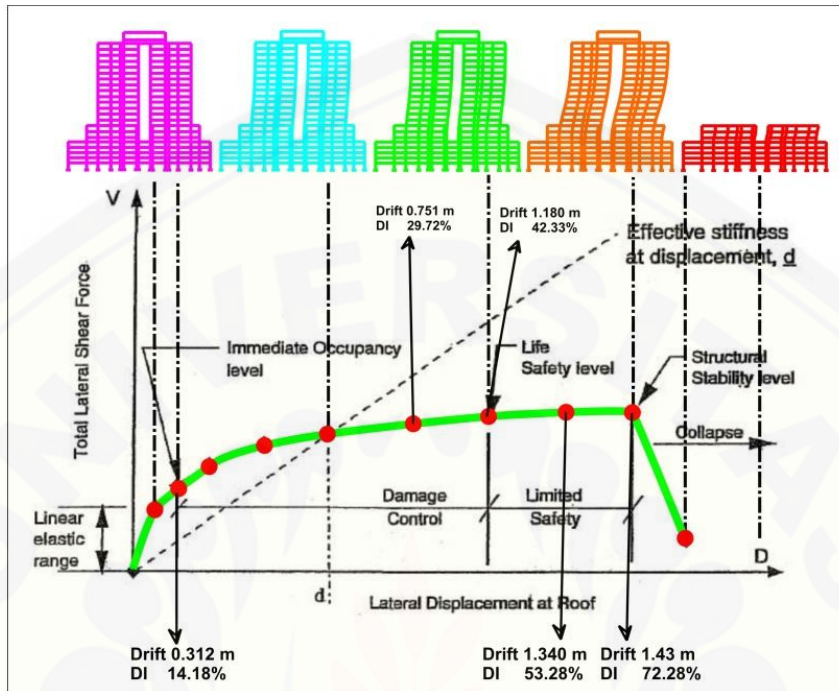
Gambar 4.26 Gambar Sendi Plastis Step-6

Pada step-6 sebagian balok dan kolom pada portal terjadi sendi plastis dengan level D menunjukkan batas maksimum gaya geser yang mampu ditahan gedung diikuti sendi plastis dengan level E dimana struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur.

Analisa struktur dilakukan dari step-0 sampai step-6 untuk mengetahui besaran gaya geser dan tekanan setiap tahapan yang ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 4.15 Rekapitulasi Gaya Geser dan Tekan Setiap Tahapan

Step	Vu (kN)	Vn (kN)	Pu (kN)	Pn (kN)	Keterangan
0	0.0000	18480.2561	0.0000	23655.1249	AMAN
1	10870.6846	18480.2561	17639.4581	23655.1249	AMAN
2	18480.1638	18480.2561	29987.0788	23655.1249	AMAN
3	27176.7115	18480.2561	31751.0246	23655.1249	TIDAK AMAN
4	36960.3276	18480.2561	33514.9704	23655.1249	TIDAK AMAN
5	47831.0122	18480.2561	35278.9162	23655.1249	TIDAK AMAN
6	59788.7653	18480.2561	37042.8620	23655.1249	TIDAK AMAN



Gambar 4.27 Penggabungan Kurva *Displacement vs Base Shear* dengan Skema Distribusi Sendi Plastis Berdasarkan ATC-40 1996

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil studi kinerja struktur yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Gedung mampu menahan gaya geser sebesar 18480,2561 kN. Menurut ATC-40, model struktur di atas Wilayah Gempa 2 Tanah Sedang dalam kondisi inelastik mampu menahan beban gempa sampai pada tingkat *Damage Control*. Pada tingkat *Damage Control*, kondisi struktur masih dalam batas aman untuk digunakan.
2. Suatu struktur bangunan yang tidak memenuhi syarat teknis memerlukan penambahan kekakuan dan kekuatan struktur sehingga tingkat kinerja struktur mencapai tingkat minimum, yaitu *Collapse Prevention* menurut FEMA 273 atau *Life Safety* menurut ATC-40.

Gedung tidak mampu menahan gaya geser sebesar 42497.3864 kN atau 110% dari V_u dan memasuki tingkat *Collapse*. Gedung mengalami degradasi kekakuan dan kekuatan struktur yang besar sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hancur dengan kerusakan di atas 93,00%.

3. Pola keruntuhan gedung saat dikenai beban gempa rencana adalah beam side sway mechanism dimana sendi-sendi plastis terjadi pada ujung-ujung balok dan pada ujung bawah kolom lantai dasar.

5.2 Saran

Penulis mempunyai beberapa saran apabila dilakukan penelitian lebih lanjut terkait analisa *pushover*:

1. Proses desain struktur bangunan baru ataupun pemeriksaan struktur bangunan yang telah berdiri harus memperhatikan kondisi pasca *elastic* untuk memperoleh tingkat kinerja struktur sesungguhnya, terutama dalam menahan beban gempa.

2. Diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengukur kinerja struktur bangunan gedung dibawah beban gempa dalam kondisi pasca *elastic*.



DAFTAR PUSTAKA

- Applied Technology Council. 1996. *ATC 40 – Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Redwood City, California, U.S.A.
- ASCE. 2000. *FEMA 356 – Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington D.C: Federal Emergency Management Agency.
- ATC-55 Project. 2004. *FEMA 440 – Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. Washington D.C: Federal Emergency Management Agency.
- Dewabroto, W. 2005. Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa *Pushover*. Tidak Dipublikasikan. Seminar Bidang Kajian 1. Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Parahyangan.
- Pamungkas, A. 2009. *Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Bantuan Program ETABS Versi 9.0.7*. Surabaya: ITS Press.
- Peta Gempa Indonesia 2010. 2010. *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 Sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Inffrastruktur Tahan Gempa*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- PPIUG 1983. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Sieh, K. 2004. *The Science Behind the Aceh Eartquake*. Caltech Media Relations, URL: http://pr.caltech.edu/media/press_releases/pr12628.html.
- SNI 03-1726-2002. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. Bandung: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.