

**STUDI KINERJA GEDUNG EMPAT TINGKAT TERHADAP BEBAN  
GEMPA DENGAN METODE STATIK PUSHOVER**

**(Skripsi)**

**Oleh:**

**MUHAMAD RIDHO SAPUTRA  
1415011099**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2019**

## ABSTRAK

### STUDI KINERJA GEDUNG EMPAT TINGKAT TERHADAP BEBAN GEMPA DENGAN METODE STATIK PUSHOVER

Oleh

**MUHAMAD RIDHO SAPUTRA**

Rumah sakit merupakan salah satu fasilitas masyarakat yang termasuk bangunan penting kategori IV sehingga dibutuhkan perencanaan struktur tahan gempa dimana bangunan harus tetap berdiri setelah diberikan beban gempa rencana. Analisis *pushover* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis beban gempa guna mengetahui perilaku keruntuhan bangunan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis level kinerja struktur, gaya geser dasar maksimum yang ditahan struktur, pola keruntuhan dan tingkat daktilitas struktur akibat beban gempa

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan nilai *target displacement* dengan metode FEMA-356 sebesar 251,6 mm untuk arah-x dan 210,6 mm arah-y sedangkan dengan metode ATC-40 didapatkan nilai 322,027 mm untuk arah-x dan 229,491 mm untuk arah-y. Level kinerja yang dihasilkan dari kedua metode tersebut adalah *damage control* dimana resiko korban jiwa manusia sangat kecil, kerusakan yang terjadi masih dapat diperbaiki dan bangunan masih mampu menahan beban gempa rencana yang terjadi. Gaya geser dasar maksimum adalah 7824 kN dengan *displacement* maksimum 239,861 mm. Mekanisme keruntuhan struktur menunjukkan mekanisme *strong column weak beam*. Tingkat daktilitas struktur bangunan berdasarkan SNI 1726:2002 adalah daktail parsial dengan nilai R aktual 4,07.

Kata kunci : analisis *pushover*, *damage control*, daktilitas.

## **ABSTRACT**

### **PERFORMANCE STUDY OF FOUR FLOORS BUILDINGS ON EARTHQUAKE LOADS WITH STATIC PUSHOVER METHOD**

By

**MUHAMAD RIDHO SAPUTRA**

The hospital is one of the public facilities that is included in an important category IV building so that earthquake resistant structure design is needed where the building must remain standing after being given the burden of the earthquake design. Pushover analysis is one of the methods used to analyze earthquake loads in order to determine the structural collapse behavior of earthquake loads. The purpose of this study is to determine and analyze the level of structural performance, the maximum base shear force held by the structure, the collapse pattern and the level of structural ductility due to earthquake loads.

Based on the analysis results, the target displacement value obtained by the FEMA-356 was 251.6 mm for the x-axis and 210.6 mm for the y-axis while the ATC-40 obtained a value of 322.027 mm for the x-axis and 229.491 mm for the y-axis. The level of performance produced by the two methods was damage control where the risk of human casualties was very small, the damage that occurs can still be repaired and the building is still able to withstand the burden of the designed earthquake. The maximum basic shear force is 7824 kN with a maximum displacement of 239.861 mm. The structure collapse mechanism has strong column weak beam mechanism. The ductility level of building based on SNI 1726:2002 was a partial ductile with the actual reduction factor, R was 4.07.

Keywords: pushover analysis, damage control, ductility.

**STUDI KINERJA GEDUNG EMPAT TINGKAT TERHADAP BEBAN  
GEMPA DENGAN METODE STATIK PUSHOVER**

**Oleh**

**MUHAMAD RIDHO SAPUTRA**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

Judul Skripsi : **STUDI KINERJA GEDUNG EMPAT  
TINGKAT TERHADAP BEBAN GEMPA  
DENGAN METODE STATIK PUSHOVER**

Nama Mahasiswa : **Muhamad Ridho Saputra**

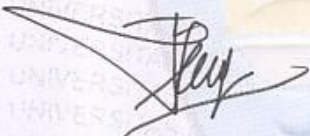
Nomor Pokok Mahasiswa : 1415011099

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik


**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

  
**Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil**  
NIP. 197203081998021004

  
**Dr. Eng. Ratna Widayawati, S.T., M.T.**  
NIP. 197106051995122001

**2. Ketua Jurusan Teknik Sipil**

  
**Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP. 197009151995031006



**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

Ketua : **Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil** .....



Sekretaris : **Dr. Eng. Ratna Widyawati, S.T., M.T.** .....



Penguji  
Bukan Pembimbing : **Vera Agustriana N., S.T., M.T., Ph.D.** .....



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Drs. Suharno, M.Sc. Ph.D.**  
NIP 196207171987031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 16 Desember 2019

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Skripsi dengan judul Studi Kinerja Gedung Empat Tingkat Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Statik Pushover adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai tata etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Penulis dan Pembimbing 1.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandarlampung,

2019

Pembuat Pernyataan



Muhamad Ridho Saputra

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 04 Oktober 1996, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak M. Iwan Syarif, S.T. dan Ibu Leni Marlina.

Penulis memulai pendidikan Taman Kanak-Kanak Al-Azhar 2 dan melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SD Al-Azhar 1 yang diselesaikan pada tahun 2008. Pada tahun 2011 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 29 Bandar Lampung, dan melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 9 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2014. Pada masa belajar di sekolah penulis aktif sebagai anggota Futsal SMA Negeri 10 Bandar Lampung serta aktif dalam klub Cyber 9.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2014 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Penulis telah melakukan Kerja Praktek pada Proyek Pembangunan *Underpass* Jl. Z.A. Pagar Alam – Jl. Soemantri Brojonegoro Bandar Lampung selama 3 bulan. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata



di Desa Petay Kayu, Kecamatan Ulubelu, Kabupaten Tanggamus selama 40 hari pada periode 1, Januari-Maret 2018.

Penulis mengambil tugas akhir dengan judul Kinerja Gedung Empat Tingkat Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Statik Pushover.

Selama menjalani perkuliahan, penulis menjadi mahasiswa penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) sebagai anggota Media Komunikasi dan Informasi pada periode tahun 2015-2016 sampai pada periode tahun 2016-2017.

## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah, saya ucapkan Syukur atas Karunia-Mu Akhirnya saya dapat menyelesaikan sebuah karya yang semoga menjadikanku insan yang berguna,bermanfaat dan bermartabat. Saya Persembahkan karya sederhana ini

Untuk Ayah dan Ibu tercinta. Terima kasih untuk pengorbanan dari saya dalam kandungan sampai saat ini, mendidik, menyayangi dan selalu mendukung dalam bentuk material maupun batin, yang tak bisa terhitung dan terbalaskan. Hanya doa dan harapan semoga Allah subhanahuwata'alla memberikan balasan kebahagiaan di dunia dan akhirat untuk Bapak dan ibu.

Aamiin.

Terima kasih untuk kakak dan adikku yang telah memberi dukungan dan do'anya.

Untuk orang yang aku sayang dan sahabat-sahabatku yang telah mendukungku dan telah menjadi tempat untuk berbagi cerita dan tempat berkeluh kesah.

Terima kasih untuk teman seperjuangan Teknik Sipil Unila 2014, besar hati bisa menjadi bagian hidup kalian. Semoga Allah selalu mempertemukan kita.

Untuk para dosen yang tak hentinya memberikan ilmu pengetahuan, arahan serta bimbingannya.

Untuk kalian semua yang berpengaruh dalam hidup ini.

## **MOTTO**

“Al-Qur’an dan Sunnah Nabi Muhammad SAW.”

“Dan Aku tidak menciptakan jin dan manusia melainkan supaya mereka beribadah kepada-Ku” (Q.S. Adz Dzariyat Ayat 56)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan, Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap” (Q.S. Al-Insyirah Ayat 6-8)

“Bersemangatlah melakukan hal yang bermanfaat untukmu dan meminta tolonglah pada Allah serta janganlah engkau malas” (HR. Muslim No.2664)

“Tugas Kita Bukanlah Untuk Berhasil.  
Tugas Kita Adalah Untuk Mencoba,  
Karena Di Dalam Mencoba Itulah Kita Menemukan  
Membangun Kesempatan Untuk Berhasil” (Mario Teguh)

“Butuh seumur hidup untuk merencanakan dan menata hidup, dan hanya sedikit pilihan yang salah bisa meruntuhkan semuanya” (Lucia Priandarini)

“Belajar, Bekerja Keras, Do’a dan Prihatin”

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahuwata'alla karena atas berkat dan karunia-Nya serta hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Studi Kinerja Gedung Empat Tingkat Terhadap Beban Gempa dengan Metode Statik Pushover”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Atas terselesainya skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc. Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil., selaku Dosen Pembimbing 1 skripsi penulis yang telah membimbing dalam proses penyusunan skripsi.
4. Ibu Dr. Eng. Ratna Widyawati, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing 2 skripsi penulis yang telah membimbing dalam proses penyusunan skripsi.
5. Ibu Vera Agustriana N., S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Penguji skripsi penulis atas bimbingannya dalam seminar skripsi.

6. Bapak Dr. H. Ahmad Herison, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis atas bimbingannya selama masa perkuliahan.
7. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung atas ilmu dan pembelajaran yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
8. Kedua orang tua tercinta, Bapak M. Iwan Syarif, S.T. dan Ibu Leni Marlina, atas do'a dan dukungannya selama ini.
9. Adik-adik tersayang, Monica Valencia Putri dan Marsella Agnesia Putri atas do'a dan dukungannya selama ini.
10. Saudara-saudari seperjuangan, Alvin Renaldo, Anggi Fernando, Mila Natasia, Dwi Imaria, Gista Leorika, Hari Sukron, M. Alkhusnul Rizki, Widya Nur Pratiwi dan Saniyya Fadhilah yang telah memberikan semangat dan dukungannya selama ini.
11. Rekan-rekan seperjuangan Gani, Indra, Alfi, Roy, Hilda, Jaja, Dewa, Nadya Safira, Cahya, Chelpa, Ines, Sofyan, Putra dan Sonya yang telah memberikan semangat dan pengalaman-pengalaman berharga selama ini.
12. Seluruh rekan angkatan 2014 Abdi, Adira, Agil, Dendi, Sulton, Amel, Indah, Nai, Andrian (Ganteng), Ambar, Ari, Yoko, Asma'ul, Audy, Bagus DJ, Bang Bagus, Bona, Bubu, Candra, Celes, Coco, Dedi, Deska, Desna, Devris (Igun), Dwi Winda, Elisa, Evi, Fadhel, Fajar, Fajar Golok, Fara, Farhan, Farida, Fica, Firman, Fita, Sunan, Gustin, Hany, Henni, Hilda, Indah, Ivonne, Jesicha, Juju, Klara, Liza, Fadil, Safar, Vareza, Yogi, Megalensi, Aul, Ridhos, Irvan, Kafi, Ridho, Mutia, Nanda, Nining, Novi, Novan, Putri, Novan (Ocit), Pandu, Pandi, Mune, Rita, Doyok (Aa), Ani, Syahri, Taufik, Tazkia, Tessya, Tommy, Fini, Ciul, Ulfa, Uun, Wayan,



Widya, Wiwid, Winda yang telah memberikan semangat dan dukungannya serta membantu saya selama ini.

13. Teman seperjuangan Teknik Sipil Universitas Lampung, Keluarga baruku, seluruh teman-teman, kakak-kakak, dan adik-adik yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca dan semoga Allah Subhanahuwata'alla memberikan rahmat kepada kita semua.

Bandar Lampung, 2019

Penulis

**Muhamad Ridho Saputra**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	i
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iii
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	2
C. Tujuan Penelitian .....	2
D. Manfaat Penelitian .....	2
E. Batasan Masalah .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Perancangan Struktur Tahan Gempa Berbasis Kinerja.....	4
B. Mekanisme Keruntuhan .....	7
C. Pembebanan Struktur .....	8
1. Beban Mati.....	8
2. Beban Hidup .....	9
3. Beban Angin .....	10
4. Beban Gempa.....	10
D. Analisis Nonlinear Statik <i>Pushover</i> .....	22
1. Metode Koefisien Perpindahan FEMA-356 .....	24
2. Metode Spektrum Kapasitas ATC-40.....	27
E. Kinerja Batas Ultimit SNI 1726:2012.....	29
<b>III. METODE PENELITIAN</b>	
A. Umum .....	31
B. Data Penelitian .....	31
C. Metode Penelitian .....	33

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data-Data Gedung .....	36
B. Jenis Pembebanan .....	37
1. Beban Mati Akibat Berat Sendiri (DL).....	38
2. Beban Mati Tambahan (SIDL) .....	38
3. Beban Hidup (LL).....	40
4. Respon Spektrum Desain.....	41
5. Statik Ekuivalen.....	44
C. Pemodelan Struktur.....	47
1. Pemodelan Material Baja dan Beton .....	47
2. Pemodelan Elemen Struktur .....	49
D. Menentukan Proporsi Gaya Gempa Dinamik pada Struktur .....	57
1. <i>Input</i> Beban pada Pelat .....	57
2. <i>Input</i> Beban pada Balok.....	58
3. <i>Input</i> Grafik Respon Spektrum .....	59
4. <i>Define Mass Source</i> .....	60
5. Evaluasi Beban Gempa Arah-x.....	62
6. Evaluasi Beban Gempa Arah-y.....	62
E. Jumlah Ragam Terkombinasi .....	63
F. Simpangan Antar Lantai .....	64
G. Prosedur Analisis <i>Pushover</i> .....	65
1. Penentuan Titik yang Ditinjau .....	65
2. <i>Input Gravity Nonlinier Case</i> .....	66
3. <i>Input Nonlinier Pushover Case</i> Arah-x dan Arah-y .....	67
4. <i>Input Sendi Plastis pada Balok dan Kolom</i> .....	67
H. Perhitungan Kapasitas dengan Analisis <i>Pushover</i> .....	69
1. Kurva Kapasitas dan Sendi Plastis.....	69
2. Metode Spektrum Kapasitas ATC-40.....	78
3. Metode Target Perpindahan FEMA-356 .....	81
4. Penentuan Level Kinerja Struktur.....	83
5. Faktor Daktilitas ( $\mu$ ) dan Faktor Reduksi Gempa Aktual (R).....	85
6. Evaluasi Kinerja Struktur Hasil <i>Pushover</i> .....	88

#### V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan .....	92
B. Saran .....	94

#### DAFTAR PUSTAKA

#### LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Level kinerja bangunan.....	5
2. Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung .....	9
3. Beban hidup terdistribusi merata minimum pada lantai gedung .....	10
4. Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa .....	11
5. Faktor keutamaan gempa .....	13
6. Klasifikasi kelas situs .....	13
7. KDS parameter respon percepatan periode pendek.....	14
8. KDS parameter respon percepatan periode 1 detik .....	14
9. Koefisien situs $F_{PGA}$ .....	15
10. Faktor $R$ , $\rho$ , dan $C_d$ untuk sistem penahan gaya seismik .....	16
11. Nilai parameter periode pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	18
12. Penentuan nilai $k$ .....	19
13. Faktor amplifikasi $F_a$ percepatan respon spektrum .....	20
14. Faktor amplifikasi $F_v$ percepatan respon spektrum.....	20
15. Faktor modifikasi $C_0$ berdasarkan FEMA-356 .....	26
16. Faktor modifikasi $C_m$ berdasarkan FEMA-356 .....	26
17. Faktor modifikasi $C_2$ berdasarkan FEMA-356.....	26
18. Batasan <i>ratio drift</i> atap .....	29
19. Simpangan antar tingkat izin ( $\alpha$ ) .....	30
20. Mutu bahan .....	32
21. Data balok .....	37
22. Data kolom.....	37
23. Beban mati tambahan per $m^2$ pada lantai 2-4 .....	38
24. Beban mati tambahan per $m^2$ pada lantai atap.....	39
25. Perhitungan beban dinding .....	40
26. Hasil perhitungan respon spektrum Kota Metro.....	42
27. Pemilihan sistem struktur .....	44
28. Berat bangunan untuk setiap lantai.....	46
29. Perhitungan gaya lateral gempa pada pusat massa .....	47
30. Detail properti pada balok B1 .....	50
31. Detail properti pada kolom K1.1 .....	51

32. Gaya reaksi dasar (belum dikoreksi) .....	61
33. Gaya reaksi dasar (setelah dikoreksi) .....	63
34. Gaya reaksi dasar .....	63
35. Kontrol simpangan antar lantai tingkat arah-x .....	64
36. Kontrol simpangan antar lantai tingkat arah-y .....	65
37. <i>Output</i> beban dorong arah-x .....	69
38. <i>Output</i> beban dorong arah-y .....	75
39. Parameter daktilitas struktur gedung .....	86
40. Nilai kuat lebih sistem ( $\phi$ ) .....	87
41. Perbandingan level kinerja struktur .....	88



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Ilustrasi kinerja bangunan.....	6
2. Sendi plastis pada balok (a) dan pada kolom (b).....	7
3. Peta wilayah gempa di Indonesia.....	15
4. Desain kurva respon spektrum.....	21
5. Kurva <i>pushover</i> .....	23
6. Perilaku pasca leleh struktur berdasarkan FEMA-356.....	27
7. Penentuan titik kinerja menurut metode spektrum kapasitas.....	28
8. Denah pemodelan 3D struktur gedung rumah sakit.....	32
9. Diagram alir.....	34
10. Desain respon spektrum Kota Metro (redaman 5%).....	43
11. Material baja tulangan longitudinal $f_y$ 420 MPa.....	48
12. Material baja tulangan sengkang $f_y$ 240 MPa.....	49
13. Material beton $f'_c$ 17 MPa.....	49
14. Dimensi penampang balok B1.....	50
15. Properti penulangan pada balok.....	51
16. Dimensi penampang kolom K1.1.....	51
17. Properti penulangan pada kolom.....	52
18. <i>Section designer</i> pada kolom L.....	52
19. Properti pada pelat lantai.....	53
20. <i>Diaphragm</i> pada pelat lantai.....	54
21. Properti pada pelat tangga.....	54
22. <i>Rigid zone factor</i> .....	55
23. Konfigurasi <i>uniform loads to shell</i> pada pelat ruang pasien.....	57
24. <i>Input uniform loads to shell</i> pada pelat.....	58
25. <i>Input</i> beban pada balok.....	59
26. Pemodelan grafik respon spektrum.....	59
27. <i>Load case</i> respon spektrum.....	60
28. <i>Define mass source</i> .....	61
29. Menentukan titik yang ditinjau.....	66
30. <i>Gravity Nonlinier Case</i> .....	66
31. <i>Pushover</i> case arah-x dan arah-y.....	67

32. Properti sendi plastis pada balok dan kolom .....	67
33. Properti sendi plastis pada pemodelan 3D (a) dan as 4 (b).....	68
34. Tingkat plastifikasi sendi plastis elemen .....	70
35. <i>Push-x step 1 dan step 2</i> .....	72
36. <i>Push-x step 11</i> .....	73
37. Kurva kapasitas arah-x .....	74
38. <i>Push-y step 2</i> .....	75
39. <i>Push-y step 5</i> .....	76
40. Kurva kapasitas arah-y .....	77
41. <i>Performance point</i> arah-x .....	79
42. <i>Performance point</i> arah-y .....	80
43. Kurva biner <i>pushover</i> arah-x .....	81
44. Kurva biner <i>pushover</i> arah-y .....	82

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Indonesia termasuk salah satu negara yang rawan terhadap bencana gempa bumi, karena didorong oleh dua lempeng tektonik Samudera yang sangat aktif yakni lempeng tektonik Samudera Hindia-Australia dari sebelah Selatan dan lempeng tektonik Samudera Pasifik dari sebelah Timur. Pergerakan tektonik lempeng-lempeng tektonik ini mengakibatkan patahan-patahan aktif yang terdapat di wilayah Indonesia. Patahan-patahan aktif yang disebabkan tumbukan antar lempeng menjadi sumber dari gempa-gempa tektonik yang dapat menimbulkan bencana bagi manusia.

Kota Metro merupakan kota kedua di Provinsi Lampung setelah Kota Bandar Lampung. Perkembangan Kota Metro dalam beberapa waktu terakhir menimbulkan tingkat permintaan sarana fasilitas umum bagi masyarakat bertambah, salah satunya rumah sakit. Rumah sakit merupakan salah satu fasilitas umum yang sangat penting bagi masyarakat, sehingga diperlukan evaluasi terhadap struktur bangunan tersebut dengan menggunakan metode yang tepat.

Analisis *Pushover* adalah analisis statik nonlinear untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan atau struktur. Dengan analisis ini, bangunan diberikan beban lateral secara bertahap sampai komponen struktur mengalami plastis dan rusak yang kemudian menghasilkan kurva *pushover*/kapasitas. Kurva tersebut menggambarkan hubungan antara gaya geser dan *displacement* pada atap.

## **B. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja gedung empat lantai terhadap beban gempa dengan menggunakan metode nonlinear statik *pushover*.

## **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui besar *target displacement* dan level kinerja gedung sesuai dengan yang disyaratkan FEMA-356 dan ATC-40.
2. Untuk mengetahui pola keruntuhan yang terjadi pada struktur.
3. Untuk mengetahui gaya geser maksimum yang dapat ditahan struktur.
4. Untuk mengetahui tingkat daktilitas struktur

## **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kelayakan gedung RSUD Jend. Ahmad Yani Kota Metro terhadap beban gempa berdasarkan tingkat level kinerja gedung.

2. Mengetahui perilaku dinamis gedung dengan mode kegagalan balok/kolom.
3. Memberikan pengetahuan dalam melakukan analisis *pushover* dengan bantuan *software* ETABS 2016 dalam analisis struktur gedung.

#### **E. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Membahas analisis beban gempa dengan menggunakan metode nonlinier statik *pushover*.
2. Pembahasan dibatasi pada metode dan perhitungan dengan bantuan *software* ETABS 2016.
3. Gedung RSUD Jend. Ahmad Yani Kota Metro sebagai tempat penelitian.
4. Gedung merupakan bangunan empat lantai.
5. Struktur merupakan beton bertulang.
6. Bagian paling bawah kolom adalah tumpuan jepit.
7. Peraturan kegempaan mengacu pada SNI 1726:2012 dengan gedung dianggap memenuhi unsur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SPRMK)
8. Tidak mendesain pondasi.
9. Tidak memperhitungkan efek P- $\Delta$ .



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Perancangan Struktur Tahan Gempa Berbasis Kinerja

Kekuatan struktur gedung sangat terkait dengan keamanan dan ketahanan struktur dalam menahan beban yang bekerja pada struktur tersebut, sedangkan derajat kekakuan struktur sangat bergantung pada jenis sistem struktur yang dipilih. Berdasarkan *Uniform Building Code* (1997), tujuan desain bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa, dengan tiga faktor standar, sebagai berikut :

1. Tidak terjadi kerusakan sama sekali pada gempa kecil.
2. Ketika terjadi gempa sedang, diperbolehkan terjadi kerusakan arsitektural tetapi bukan merupakan kerusakan struktural.
3. Diperbolehkan terjadinya kerusakan struktural dan non-struktural pada gempa kuat, namun kerusakan yang terjadi tidak sampai menyebabkan bangunan runtuh.

Performa bangunan terhadap gempa dikenal dengan *seismic performance level*, yang terdiri atas kekakuan, periode getar dan partisipasi massa, kekuatan serta daktilitas. Salah satu prosedur untuk mendapatkan *seismic performance level* ini ditentukan dengan prosedur statik *pushover*, dimana struktur diberikan penambahan beban secara berulang hingga komponen struktur mengalami sendi plastis atau keruntuhan pada elemen struktur. Perancangan bangunan tahan

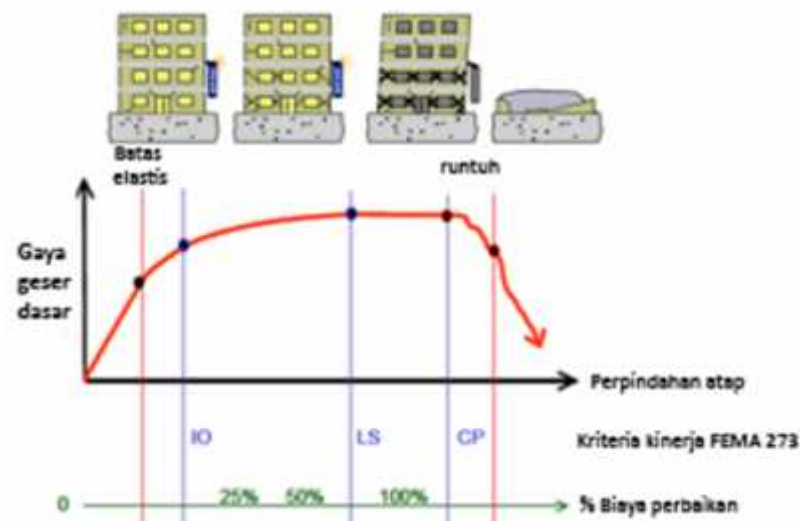
gempa berbasis kinerja merupakan proses yang dapat digunakan untuk perancangan bangunan baru maupun perkuatan bangunan yang sudah ada dengan pemahaman terhadap aspek resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan resiko kerugian finansial yang timbul akibat gempa (*economic loss*). ATC-40 menetapkan level kinerja untuk perancangan struktur tahan gempa sebagai berikut:

Tabel 1. Level kinerja bangunan

Level Kinerja	Keterangan
<i>Immediate Occupancy</i>	Elemen struktural dan non-struktural mengalami kerusakan minimum. Ancaman adanya korban jiwa nyaris nol.
<i>Damage Control</i>	Elemen struktural dan non-struktural mengalami kerusakan minimum, namun fasilitas operasional gedung mungkin ada yang tidak dapat digunakan. Sebaiknya dilakukan perbaikan sebelum digunakan kembali. Ancaman adanya korban jiwa sangat kecil.
<i>Life Safety</i>	Terjadi kerusakan struktural tetapi tidak terjadi keruntuhan, komponen non struktural tidak berfungsi tetapi bangunan masih dapat digunakan setelah dilakukan perbaikan.
<i>Structural Stability</i>	Ancaman terjadinya korban jiwa mungkin cukup tinggi dikarenakan gagal/runtuhnya elemen-elemen non struktural. Elemen struktural diharapkan tidak mengalami keruntuhan, sehingga kemungkinan adanya korban jiwa dapat dicegah/diminimalisir. Pada level ini bangunan sudah tidak dapat digunakan sama sekali.

Sumber: ATC-40

Proses perancangan bangunan tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*) dan ketahanan struktur, sehingga dapat memperkirakan berapa besar keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang akan terjadi. Perencana selanjutnya dapat mengatur ulang resiko kerusakan yang dapat diterima sesuai dengan resiko biaya yang dikeluarkan.

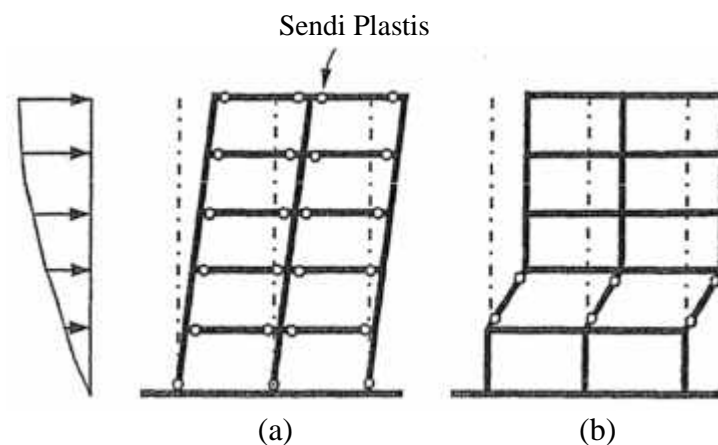


Gambar 1. Ilustrasi kinerja bangunan  
Sumber: FEMA 273

Gambar 1 menjelaskan level kinerja (*performance levels*) FEMA-273 yang digambarkan bersama dengan suatu kurva hubungan gaya *displacement* yang menunjukkan perilaku struktur secara menyeluruh terhadap pembebanan lateral. Kurva tersebut dihasilkan dari analisis nonlinier statik *pushover*, sehingga disebut juga sebagai kurva *pushover*.

## B. Mekanisme Keruntuhan

Dalam suatu perencanaan bangunan, perlu dilakukan perencanaan suatu mekanisme keruntuhan struktur bangunan untuk menghindari keruntuhan total bangunan. Perilaku struktur bila beban yang bekerja pada struktur tersebut terus bertambah secara linier, maka pada saat struktur dengan beban relatif kecil, besarnya momen-momen yang ada di setiap penampangnya masih terletak dalam daerah elastis. Kemudian apabila beban yang ditingkatkan bertambah besar akan mengakibatkan besar momen pada salah satu penampangnya mencapai kondisi momen plastisnya, sehingga akan terbentuk sendi plastis pertama, kedua, ketiga dan seterusnya sampai terbentuk jumlah sendi plastis yang cukup untuk menyebabkan struktur tersebut mengalami keruntuhan. Perencanaan suatu bangunan pada daerah resiko gempa besar harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat dan balok lemah. Apabila terjadi keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh terlebih dahulu, maka struktur langsung kolaps.



Gambar 2. Sendi plastis pada balok (a) dan pada kolom (b)

### C. Pembebanan Struktur

Kekuatan perlu ( $U$ ) harus paling tidak sama dengan pengaruh beban terfaktor.

Kombinasi pembebanan struktur mengacu pada pada SNI 1726:2012 adalah sebagai berikut:

1.  $U = 1,4D$
2.  $U = 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
3.  $U = 1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$
4.  $U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
5.  $U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$
6.  $U = 0,9D + 1,0W$
7.  $U = 0,9D + 1,0E$

Dimana:

D	: Beban mati
E	: Beban gempa
L	: Beban hidup
Lr	: Beban hidup atap
W	: Beban angin
S	: Beban salju
R	: Beban hujan

Beban-beban yang bekerja pada struktur adalah sebagai berikut:

#### 1. Beban mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang terpisahkan dari gedung tersebut. Beban mati terbagi sebagai berikut:

a. Beban mati akibat berat sendiri

Beban mati yang diakibatkan oleh elemen-elemen struktur bangunan yaitu balok, kolom dan pelat. Beban ini dihitung secara otomatis oleh program ETABS 2016.

b. Beban mati tambahan

Beban mati yang diakibatkan oleh berat dari bahan bangunan, komponen tambahan gedung dan finishing yang bersifat permanen.

Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung sebagai berikut:

Tabel 2. Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung

<b>Beban mati</b>	<b>Beban</b>
Beton bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>
Spesi per cm tebal	21 kg/m <sup>2</sup>
Dinding pasangan ½ bata	250 kg/m <sup>2</sup>
Langit-langit dan penggantung	18 kg/m <sup>2</sup>
Penutup lantai dari semen portland	24 kg/m <sup>2</sup>

Sumber: SNI 1727:2013

2. Beban hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang merupakan bagian dari gedung yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa layan dari gedung tersebut, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Tidak termasuk beban angin, beban gempa, dan beban khusus.

Tabel 3. Beban hidup terdistribusi merata minimum pada lantai gedung

No.	Hunian atau Penggunaan	Beban
1	Rumah Sakit	
	Ruang operasi	2,87 kN/m <sup>2</sup>
	Ruang pasien	1,92 kN/m <sup>2</sup>
	Koridor di atas lantai pertama	3,83 kN/m <sup>2</sup>
2	Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak melebihi 4,79 kN/m <sup>2</sup>
3	Helipad	2,87 kN/m <sup>2</sup> tidak boleh direduksi
4	Jalur untuk akses pemeliharaan	1,92 kN/m <sup>2</sup>
5	Gudang di atas langit-langit	0,96 kN/m <sup>2</sup>
6	Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	4,79 kN/m <sup>2</sup>
7	Atap	
	Atap datar, berbubung, dan lengkung	0,96 kN/m <sup>2</sup>
	Atap digunakan untuk taman atap	4,79 kN/m <sup>2</sup>

Sumber: SNI 1727:2013

### 3. Beban angin

Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tergantung dari kecepatan angin, rapat massa udara, letak geografis, bentuk dan ketinggian bangunan, serta kekakuan struktur. Bangunan yang berada pada lintasan angin, akan menyebabkan angin berbelok atau dapat berhenti. Sebagai akibatnya, energi kinetik dari angin akan berubah menjadi energi potensial, yang berupa tekanan atau hisapan pada bangunan.

### 4. Beban gempa

Beban gempa adalah beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur ditentukan berdasarkan suatu analisis dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah

gaya-gaya di dalam struktur tersebut, yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

- a. Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa
- Untuk berbagai macam kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 4. Kategori resiko bangunan dikelompokkan berdasarkan dari fungsi bangunan. Untuk pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan ( $I_e$ ) berdasarkan pada Tabel 5.

Tabel 4. Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan</li> <li>• Fasilitas sementara</li> <li>• Gudang penyimpanan</li> <li>• Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III dan IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perumahan</li> <li>• Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>• Pasar</li> <li>• Gedung perkantoran</li> <li>• Gedung apartemen atau rumah susun</li> <li>• Pusat perbelanjaan atau mall</li> <li>• Bangunan industry</li> <li>• Fasilitas manufaktur</li> <li>• Pabrik</li> </ul>	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioskop</li> <li>• Gedung pertemuan</li> <li>• Stadion</li> <li>• Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> </ul>	III



---

Lanjutan dari halaman sebelumnya

- Penjara
- Bangunan untuk orang jompo

Gedung dan non gedung, tidak termasuk dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan misal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Pusat pembangkit listrik biasa
- Fasilitas penanganan air
- Fasilitas penanganan limbah
- Pusat telekomunikasi

Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat bila terjadi kebocoran.

---

Gedung dan non gedung yang ditunjukan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:

- Bangunan-bangunan monumental
- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan
- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi serta garasi kendaraan darurat
- Tempat perlindungan 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 public 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

Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV

---

Tabel 5. Faktor keutamaan gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726:2012

## b. Klasifikasi situs untuk desain seismik

Klasifikasi situs dilakukan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam penentuan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah, profil tanah di situs harus di klasifikasikan sesuai dengan Tabel 6 berdasarkan profil tanah lapisan 30 meter paling atas. 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 6. Klasifikasi kelas situs

Kelas Situs	$f_{vs}$ (kN/m <sup>2</sup> ) (letik)	$N_{60}$ (kN/m <sup>2</sup> ) (N <sub>60</sub> )	$S_u$ (kPa) ( $S_u$ (kPa))
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 150	N/A	N/A
SC (tanah keras, sanga padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
	<175	<15	<50
SE (tanah lunak)	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralisir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF	Dibutuhkan investigasi khusus		

Sumber: SNI 1726:2012

c. Kategori desain seismik

Suatu struktur harus ditetapkan memiliki kategori desain seismik. Struktur dengan kategori resiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_1 = 0,75$  ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respon spektral percepatan desainnya ( $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ ). Kategori desain seismik dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. KDS parameter respon percepatan periode pendek

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

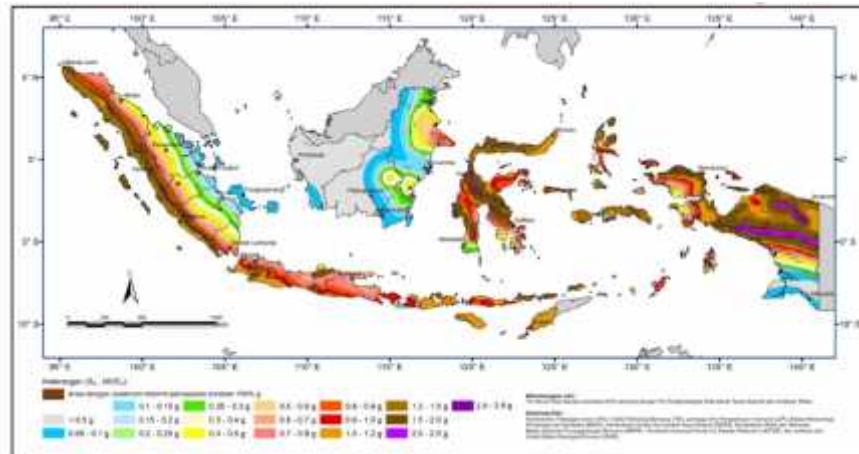
Sumber: SNI 1726:2012

Tabel 8. KDS parameter respon percepatan periode 1 detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,167 < S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 < S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 < S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2012

Menurut SNI 1726:2012 Indonesia dibagi menjadi beberapa kategori gerakan tanah seismik dan koefisien risiko dari gempa maksimum yang dipertimbangkan (*Maximum Considered Earthquake MCE*) dan dipetakan dalam gambar dibawah ini.



Gambar 3. Peta wilayah gempa di Indonesia  
Sumber : SNI 1726:2012

Tabel 9. Koefisien situs  $F_{PGA}$

Kelas Situs	PGA				
	0,1	0,2	0,3	0,4	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	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	Lihat 6.9				

CATATAN Gunakan interpolasi linier untuk mendapatkan nilai PGA antara  
Sumber : SNI 1726:2012

d. Sistem struktur

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu dari tipe yang ditunjukkan dalam Tabel 10. Pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan

gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur. Koefisien modifikasi respon ( $R$ ), faktor kuat lebih sistem ( $\Omega_0$ ), dan koefisien amplifikasi defleksi ( $C_d$ ) harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai desain.

Tabel 10. Faktor  $R$ ,  $\Omega_0$ , dan  $C_d$  untuk sistem penahan gaya seismik

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respon ( $R$ )	Faktor kuat lebih sistem ( $\Omega_0$ )	Faktor Pembesaran Defleksi ( $C_d$ )	Kategori Desain Seismik			
				B	$C^d$	$D^d$	$E^d$
1. Rangka beton pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI
2. Rangka beton pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI
3. Rangka beton pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB

Sumber: SNI 1726:2012

e. Analisis Statik Ekuivalen

Analisis statik ekuivalen pada prinsipnya adalah menggantikan beban gempa dengan gaya-gaya statik yang bertujuan menyederhanakan dan memudahkan perhitungan. Metode ini digunakan untuk bangunan struktur yang beraturan dengan ketinggian tidak lebih dari 40 m, yang mengasumsikan besarnya gaya gempa berdasarkan hasil perkalian suatu konstanta massa dari elemen tersebut. Berdasarkan SNI 1726:2012 gaya geser horisontal akibat gempa yang bekerja pada struktur bangunan

dalam arah sumbu X ( $V_x$ ) dan sumbu Y ( $V_y$ ), ditentukan dari persamaan:

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:  $V$  : Gaya geser dasar

$C_s$  : Koefisien *Response Seismic*

$W$  : Berat lantai

Koefisien respon seismik ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{T}\right)} \dots\dots\dots 2.2$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung tidak perlu melebihi:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{T}\right)} \dots\dots\dots 2.3$$

Dan  $C_s$  harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} \cdot I \geq 0,01 \dots\dots\dots 2.4$$

Sedangkan daerah dimana  $s1 \geq 0,6$  g maka  $C_s$  harus tidak kurang:

$$C_s = \frac{0,5 S_{D1}}{\left(\frac{R}{T}\right)} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana:  $S_{DS}$  : Parameter percepatan respon spektrum desain pendek

$S_{D1}$  : Parameter percepatan respon spektrum periode satu detik

$I$  : Faktor keutamaan gedung

$R$  : Faktor modifikasi respon

$T$  : Periode fundamental struktur

$C_s$  : Koefisien respon seismik

Periode fundamental pendekatan (T) harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana:  $T_a$  : Periode fundamental pendekatan

$C_t$  : Koefisien (Tabel 11)

$x$  : Koefisien (Tabel 11)

$h_n$  : Ketinggian struktur

Tabel 11. Nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe Struktur	$C_t$	$X$
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,80
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,90
Rangka baja dengan brecing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan brecing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

Sumber: SNI 1726:2012

Gaya gempa lateral ( $F_x$ ) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \dots\dots\dots 2.7$$

Untuk menentukan  $C_{vx}$  menggunakan persamaan berikut:

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana:  $C_{vx}$  : Faktor distribusi vertikal

$V$  : Gaya lateral desain total atau geser dasar struktur

$w_i$  dan  $w_x$  : Bagian seismik efektif total struktur  $W$  yang dikenakan pada tingkat  $I$  dan  $x$

$h_i$  dan  $h_x$  : Tinggi dari dasar tingkat  $I$  atau  $x$

$k$  : Eksponen yang terikat pada struktur

Tabel 12. Penentuan nilai  $k$

Perioda	$k$
Kurang dari 0,5 detik	1
2,5 detik atau lebih	2
0,5 detik sampai 2,5 detik	interpolasi

Sumber: SNI 1726:2012

f. Desain Spektra

Desain spektra dihasilkan melalui pengolahan nilai respons spektra di batuan dasar pada periode 0,2 detik ( $S_s$ ) dan 1 detik ( $S_1$ ). Nilai ini diperoleh melalui pembacaan peta gempa SNI 2012 untuk 0,2 detik dan 1 detik. Untuk menghasilkan respon spektra di permukaan, nilai  $S_s$  dan  $S_1$  kemudian dikalikan dengan faktor amplifikasi sehingga dihasilkan nilai respon spektra permukaan  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$ .

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \dots\dots\dots 2.9$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \dots\dots\dots 2.10$$

Dimana:  $S_{MS}$  : Parameter respon spektrum periode pendek

$S_{M1}$  : Parameter respon spektrum periode 1 detik

$F_a$  : Faktor amplifikasi (Tabel 13)

$F_v$  : Faktor amplifikasi (Tabel 14)



Tabel 13. Faktor amplifikasi  $F_a$  percepatan respon spektrum

Kelas Situs	$S_s$				
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

Sumber: SNI 1726:2012

Tabel 14. Faktor amplifikasi  $F_v$  percepatan respon spektrum

Kelas Situs	$S_1$				
	< 0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
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	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4

Sumber: SNI 1726:2012

Nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$  terlebih dahulu dikalikan dengan  $2/3$ , menghasilkan nilai respon spektra baru dengan sebutan  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ .

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} \dots\dots\dots 2.11$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana:  $S_{DS}$  : Parameter percepatan respon spektrum periode pendek

$S_{D1}$  : Parameter percepatan respon spektrum periode satu detik

Untuk menentukan desain spektra harus mengetahui periode fundamental struktur bangunan dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots 2.13$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots 2.14$$

Dimana:  $T_0$  : Periode awal

$T_s$  : Periode fundamental struktur

Setelah mengetahui periode fundamental struktur tersebut maka untuk menentukan kurva respon spektrum desain menggunakan ketentuan:

1. Untuk perioda  $< T_0$ ,

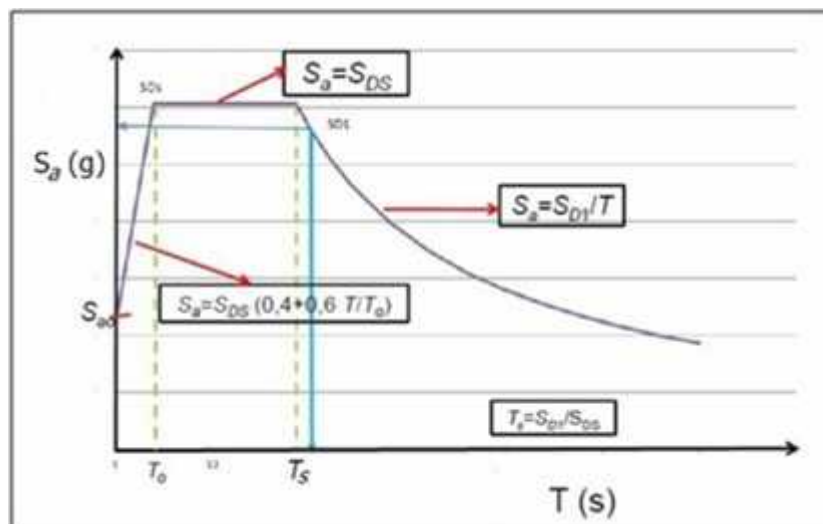
$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right) \dots\dots\dots 2.15$$

2. Untuk perioda  $T_s \geq T_0$ , respon spektrum percepatan desain  $S_a$  sama dengan  $S_{DS}$

3. Untuk perioda  $> T_s$ ,

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots 2.16$$

Maka kurva respon spektrum akan terbentuk seperti gambar berikut:



Gambar 4. Desain kurva respon spektrum

#### D. Analisis Nonlinear Statik *Pushover*

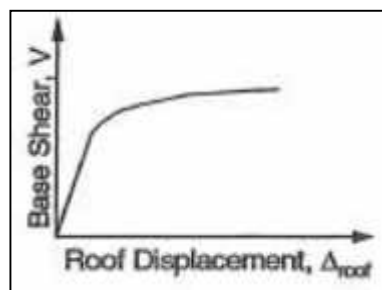
Analisis nonlinear statik *pushover* adalah suatu analisis statik nonlinier yang digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu struktur bangunan, dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan tersebut dianggap sebagai beban statik yang bekerja pada pusat massa masing-masing lantai. Dalam analisisnya beban statik ini nilainya ditingkatkan secara bertahap sampai melampaui beban yang menyebabkan terjadinya pelepasan (sendi plastis) pertama pada struktur bangunan tersebut, dan kemudian dengan peningkatan beban selanjutnya akan mengalami perubahan bentuk pasca elastik yang besar sampai struktur tersebut mencapai kondisi di ambang keruntuhan. Analisis Nonlinear Statik *Pushover* menghasilkan kurva *pushover* yang akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku nonlinier. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.

Beberapa metode yang digunakan untuk analisis nonlinear statik *pushover* tersebut diantaranya, metode spektrum kapasitas (ATC-40) dan metode *target displacement* (FEMA-356 dan FEMA-440). Dewobroto (2006), melakukan evaluasi kinerja bangunan baja tahan gempa dengan SAP2000. Dari hasil analisis studi kasus portal baja 3D didapat kesimpulan bahwa titik kerja yang menentukan adalah metode *target displacement* FEMA-356, sedangkan metode spektrum kapasitas ATC-40 didapatkan nilai paling kecil. Oleh karena itu dalam penelitian ini digunakan metode *target displacement* FEMA-356 dan metode spektrum kapasitas ATC-40 untuk menentukan kinerja bangunan. Kinerja bangunan/struktur adalah tingkatan performa suatu struktur terhadap gempa

rencana. Tingkatan performa struktur dapat diketahui dengan melihat tingkat kerusakan pada struktur saat terkena gempa rencana, oleh karenanya tingkat kinerja struktur akan selalu berhubungan dengan biaya perbaikan terhadap bangunan tersebut. Dalam desain struktur bangunan berbasis kinerja biasanya kinerja struktur didesain sesuai dengan tujuan dan kegunaan suatu bangunan, dengan pertimbangan faktor ekonomis terhadap perbaikan bangunan saat terjadi gempa tanpa mengesampingkan keselamatan terhadap pengguna bangunan.

Analisis statik *pushover* dilakukan dengan beberapa tujuan, antara lain:

1. Untuk mengetahui gaya geser dasar maksimum yang mampu ditahan oleh struktur, *displacement* pada kondisi leleh pertama dan ultimit dan mekanisme keruntuhan terhadap beban gempa.
2. Untuk mengetahui tingkat daktilitas struktur.
3. Untuk mengestimasi bagian struktur yang lebih banyak mengalami kerusakan selama respon gempa nonlinear.
4. Memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetilan atau stabilitasnya.



Gambar 5. Kurva *pushover*

### 1. Metode *Target Displacement* FEMA-356

Kriteria evaluasi kinerja kondisi bangunan didasarkan pada gaya dan deformasi yang terjadi ketika *displacement* titik kontrol berada pada titik kinerja. Jadi titik kinerja sangat penting peranannya bagi perencanaan berbasis kinerja. Pada metode *target displacement* FEMA-356 titik kinerja berada pada koordinat *target displacement* dan gaya geser dasar yang terjadi pada *target displacement* tersebut, perhitungan dilakukan dengan memodifikasi respons elastik linier sistem struktur SDOF ekuivalen dengan faktor modifikasi  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  dan  $C_3$  sehingga dapat dihitung *target displacement* ( ), dengan menetapkan dahulu waktu getar efektif ( $T_e$ ) untuk memperhitungkan kondisi *inelastik* struktur gedung.

$$T = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \frac{T_e^2}{4\pi^2} \cdot g \dots\dots\dots 2.17$$

Dimana :

- $T$  : *Target displacement*
- $C_0$  : Faktor modifikasi yang menghubungkan spektral *displacement* dengan peralihan lantai atap pada bangunan (Tabel 15)
- $C_1$  : Faktor modifikasi untuk menghubungkan peralihan inelastik maksimum dengan peralihan respons elastik linier.

$$C_1 = 1, \text{ untuk } T_e \geq T_s$$

$$C_1 = \frac{1 + \frac{(R-1) T_s}{T_e}}{R}, \text{ untuk } T_e < T_s \dots\dots\dots 2.18$$

$$R = \frac{S_a}{V_y/W'} \cdot C_m \dots\dots\dots 2.19$$

Dimana:

$T_e$  : Periode getar alami efektif bangunan

$T_s$  : Periode karakteristik dari respon spektrum

$R$  : Rasio “kuat elastis perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung”

$S_a$  : *response spectrum acceleration* pada periode alami efektif

$V_y$  : Gaya geser dasar pada saat leleh, dari idealisasi kurva *pushover* menjadi bilinear

$W$  : Beban gempa efektif

$C_m$  : Faktor massa efektif (Tabel 16)

$C_2$  : Faktor modifikasi untuk memperlihatkan *pinched hysteresis shape*, degradasi kekakuan dan penurunan kekuatan pada respon peralihan maksimum (Tabel 17)

$C_3$  : Faktor modifikasi untuk memperlihatkan kenaikan peralihan akibat efek p-delta. Untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh bernilai positif maka

$C_3 = 1$ , Untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh bernilai positif

$$C_3 = 1 + \frac{|\alpha|(R-1)^{\frac{3}{2}}}{T_e}, \text{ gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh}$$

negatif.....2.20

Dimana:

: Rasio kekakuan pasca-leleh terhadap kekakuan elastik efektif, hubungan gaya peralihan nonlinier diidealisasikan sebagai kurva bilinear (Gambar 6)

$g$  : Percepatan gravitasi 9,81 m/s<sup>2</sup>

Tabel 15. Faktor modifikasi  $C_0$  berdasarkan FEMA-356

Number of Stories	Shear Buildings	Other Buildings	
	Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3)	Uniform Load Pattern (2.1)	Any Load Pattern
1	1,0	1,0	1,0
2	1,2	1,15	1,2
3	1,2	1,2	1,3
5	1,3	1,2	1,4
10+	1,3	1,2	1,5

1. Linear interpolation shall be used to calculate intermediate values.
2. Buildings in which, for all stories, interstory drift with increasing height.

Sumber: FEMA-356

Tabel 16. Faktor modifikasi  $C_m$  berdasarkan FEMA-356

No. Of Stories	Concrete Moment Frame	Concrete Shear Wall	Concrete Pier- Spandrel	Steel Moment Frame	Steel Concentric Braced Frame	Steel Eccentric Braced Frame	Other
1-2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3	0,9	0,8	0,8	0,9			

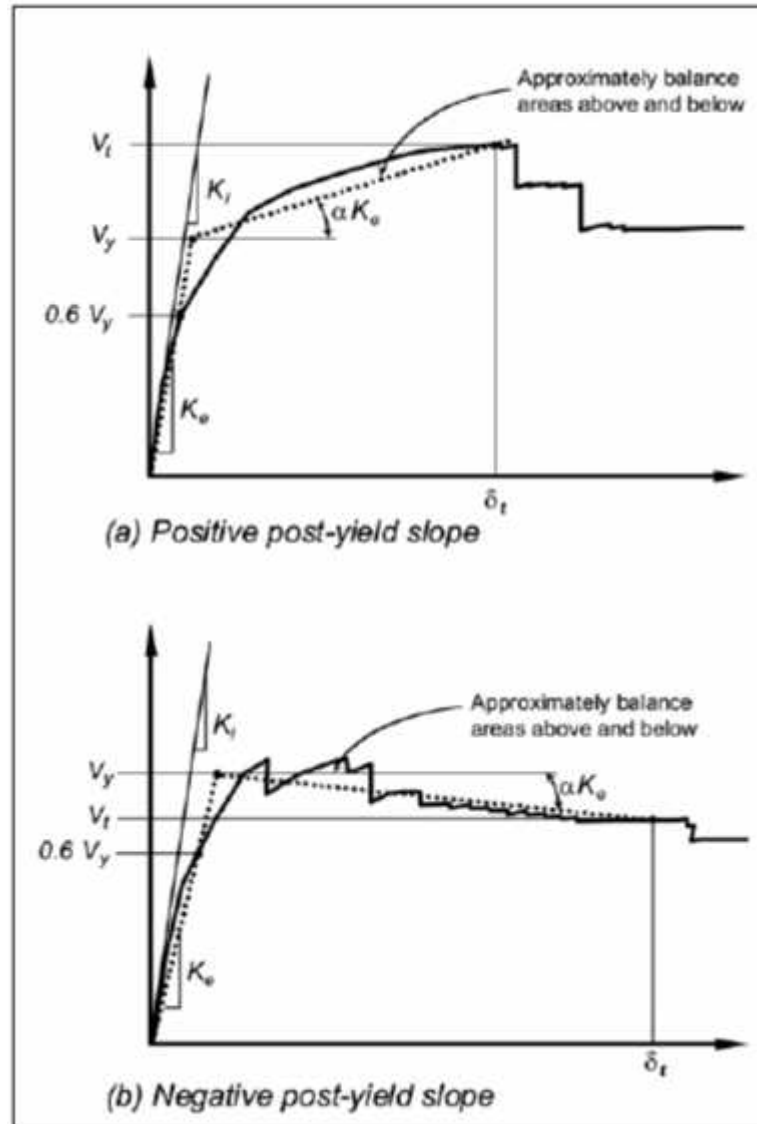
Sumber: FEMA-356

Tabel 17. Faktor modifikasi  $C_2$  berdasarkan FEMA-356

Structural Performance Level	$T \leq 0,1 \text{ second}^3$		$T > 0,1 \text{ second}^3$	
	Framing Type 1 <sup>1</sup>	Framing Type 2 <sup>2</sup>	Framing Type 1 <sup>1</sup>	Framing Type 2 <sup>2</sup>
Immediate Occupancy	1,0	1,0	1,0	1,0
Life Safety	1,3	1,0	1,1	1,0
Collapse Prevention	1,5	1,0	1,2	1,0

1. Structures in which more than 30% of the story shear at any level is resisted by any combination of the following components, elements, or frames: ordinary moment-resisting frames, concentrically-braced frames, frames with partially-restrained connections, tension-only braces, unreinforced masonry walls, shear-critical, piers and spandrels of reinforced concrete or masonry.
2. All frames not assigned to Framing Type 1.
3. Linear interpolation shall be used for intermediate values of  $T$ .

Sumber: FEMA-356



Gambar 6. Perilaku pasca leleh struktur berdasarkan FEMA-356

Sumber : FEMA 356

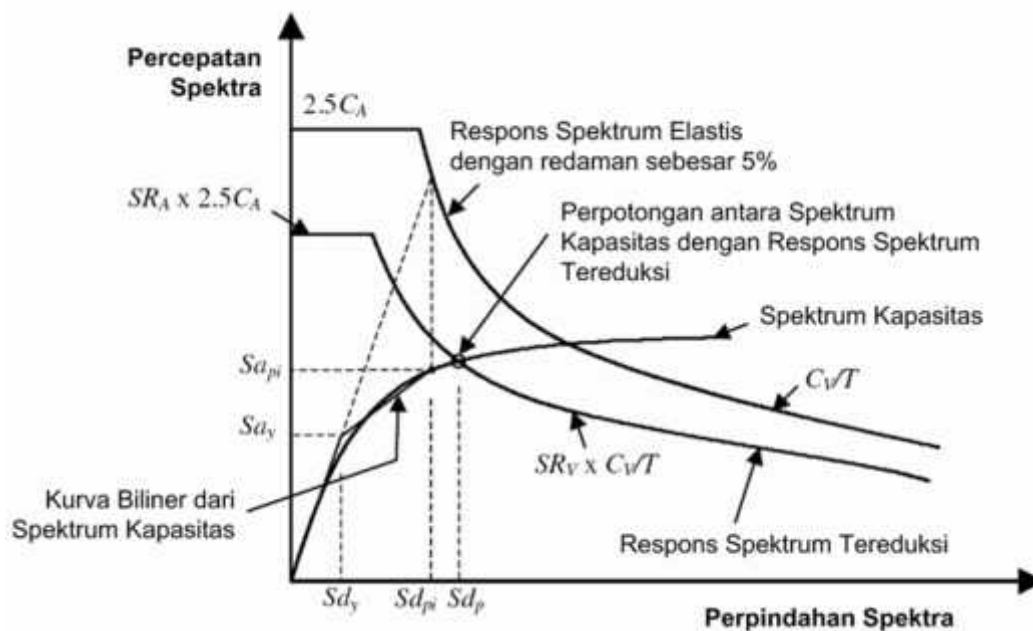
## 2. Metode Spektrum Kapasitas ATC-40

Metode spektrum kapasitas menyajikan secara grafis dua buah grafik yang disebut spektrum kapasitas (*capacity spectrum*) yang menggambarkan kapasitas struktur berupa hubungan gaya geser dasar (*base shear*) dengan *displacement* lateral struktur (biasanya ditetapkan di puncak bangunan) yang disebut kurva kapasitas (*capacity curve*), dan *spectrum demand* yang menggambarkan besarnya *demand* (tuntutan kinerja) akibat beban gempa



dengan periode ulang tertentu. Kurva tersebut diplotkan dalam format *Acceleration Displacement Response Spectrum (ADRS)*.

Penentuan *performance point* dengan metode spektrum kapasitas dilakukan dengan mencari titik potong antara *capacity spectrum* dan *demand spectrum* (Gambar 7). *Capacity spectrum* merupakan hasil transformasi *capacity curve* ke dalam satuan *spectral displacement* dan *spectral acceleration* ( $S_d$ ,  $S_a$ ). Sedangkan *demand spectrum* merupakan hasil transformasi *response spectrum* elastik gempa rencana ke dalam kondisi inelastik dengan satuan  $S_a$  dan  $S_d$ . Penyesuaian akibat kondisi inelastik perlu dilakukan karena *damping ratio* akan membesar pada kondisi inelastik sehingga *response spectrum* gempa rencana secara umum akan bergeser ke bawah.



Gambar 7. Penentuan titik kinerja menurut metode spektrum kapasitas

Metode ini secara khusus telah *built-in* dalam program ETABS, proses konversi kurva *pushover* ke format ADRS dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program. Data yang perlu dimasukkan cukup memberikan kurva Respons Spektrum Rencana.

ATC-40 memberikan batasan rasio simpangan/*displacement* atap pada struktur yang dievaluasi pada kondisi titik kinerja (*performance point*) yang dicapai oleh struktur. Parameter yang dipakai adalah simpangan/*displacement* maksimum total dan simpangan/*displacement* maksimum inelastik. Adapun batasan rasio simpangan/*displacement* atap ditampilkan pada Tabel 18.

Tabel 18. Batasan rasio simpangan/*displacement* atap

Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Control	LS	Structural Stability
Simpangan Maksimum total	0,01	0,01 s.d. 0,02	0,02	0,33 $V_i/P_i$
Simpangan Maksimum inelastik	0,005	0,005 s.d. 0,0015	No limit	No limit

Sumber: ATC-40

#### E. Kinerja Batas Ultimit SNI 1726:2012

Pada SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, memberikan batasan simpangan antara lantai tingkat ( ), yaitu tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (  $a$  ) seperti pada Tabel 17. Dimana  $h_{sx}$  adalah tinggi lantai tingkat dihitung dari dasar bangunan. Batasan simpangan antara lantai tingkat, yaitu tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (  $a$  ).

Tabel 19. Simpangan antar tingkat izin ( a)

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah di desain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat	0,025 $h_{sx}$	0,020 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$
Semua struktur lainnya	0,020 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$

Sumber: SNI 1726:2012

Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa ditingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Defleksi pada massa di tingkat  $x$  ( $\delta_x$ )(mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots 2.21$$

Dimana:

$C_d$  : Faktor amplikasi defleksi (Tabel 10)

$\delta_{xe}$  : Defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis

$I_e$  : Faktor keutaman gempa

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **A. Umum**

Metode penelitian merupakan suatu cara peneliti bekerja untuk memperoleh data yang dibutuhkan yang selanjutnya akan digunakan untuk dianalisis sehingga memperoleh kesimpulan yang ingin dicapai dalam penelitian. Metode penelitian bertujuan untuk mempermudah pelaksanaan dalam melakukan penelitian guna memperoleh pemecahan masalah dengan maksud dan tujuan yang telah ditetapkan secara sistematis.

Penelitian ini dilakukan dengan metode analisis data kuantitatif dimana data-data berupa angka dan data-data pendukung yang sudah dikumpulkan diolah dengan menggunakan bantuan *software* dalam rangka menjawab rumusan masalah. Analisis nonlinear statik *pushover* digunakan untuk mengevaluasi tingkat kinerja bangunan. Analisis dilakukan dengan mengacu pada SNI 1726:2012, metode *target displacement* FEMA-356 dan metode spektrum kapasitas ATC-40.

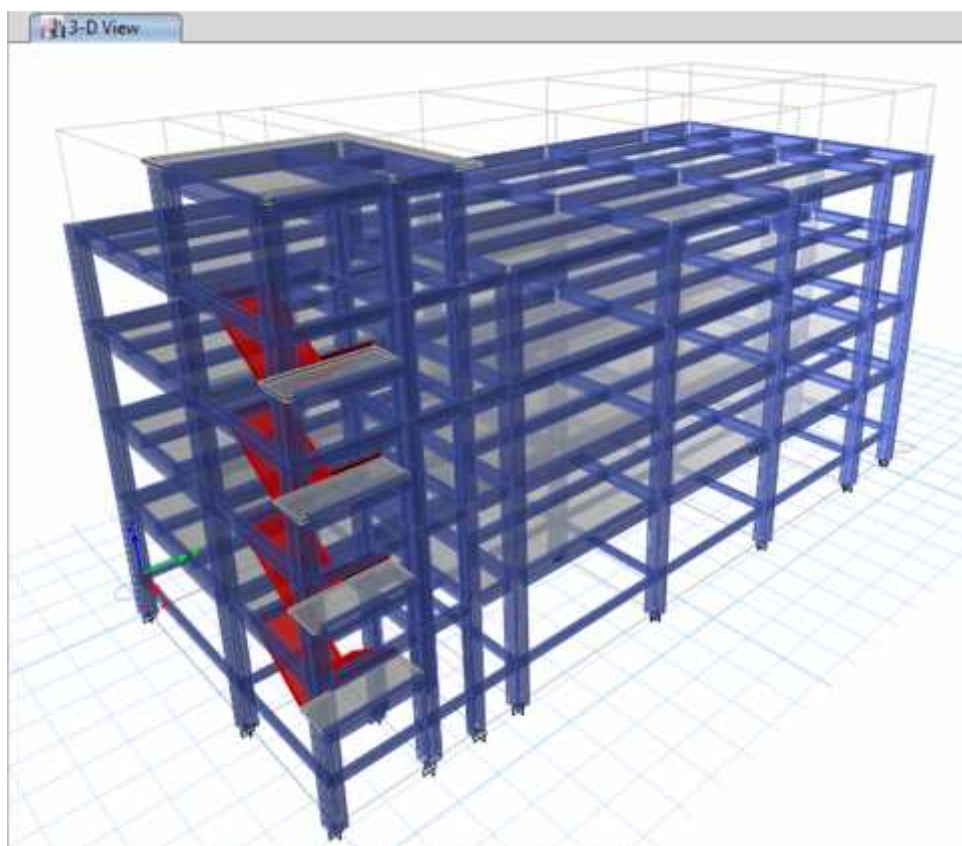
#### **B. Data Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada gedung rumah sakit yang berlokasi di Kota Metro. Gedung ini terdiri dari empat lantai dengan sebuah atap tambahan yang berada diatas lantai empat, atap tersebut merupakan atap dari tangga dan lift untuk akses lantai empat menuju ke atap. Berdasarkan SNI 1726:2012, dalam penentuan

beban gempa termasuk kategori resiko 4 untuk gedung rumah sakit dan Faktor keutamaan ( $I_e$ ) adalah 1,5. Klasifikasi jenis tanah diasumsikan termasuk jenis tanah sedang (SD). Dalam analisis *pushover*, atap tambahan dimodelkan namun tidak dijadikan titik acuan *displacement* atap karena merupakan sebidang struktur tambahan sehingga titik acuan *displacement* atap berada pada lantai empat dengan ketinggian 17,4 m. Untuk mutu bahan yang digunakan dalam struktur gedung dapat dilihat pada Tabel 20.

Tabel 20. Mutu bahan

Bahan	Mutu
Beton	$f'_c$ 17 MPa
Tulangan ulir	$f_y$ 420 MPa
Tulangan polos	$f_y$ 240 MPa

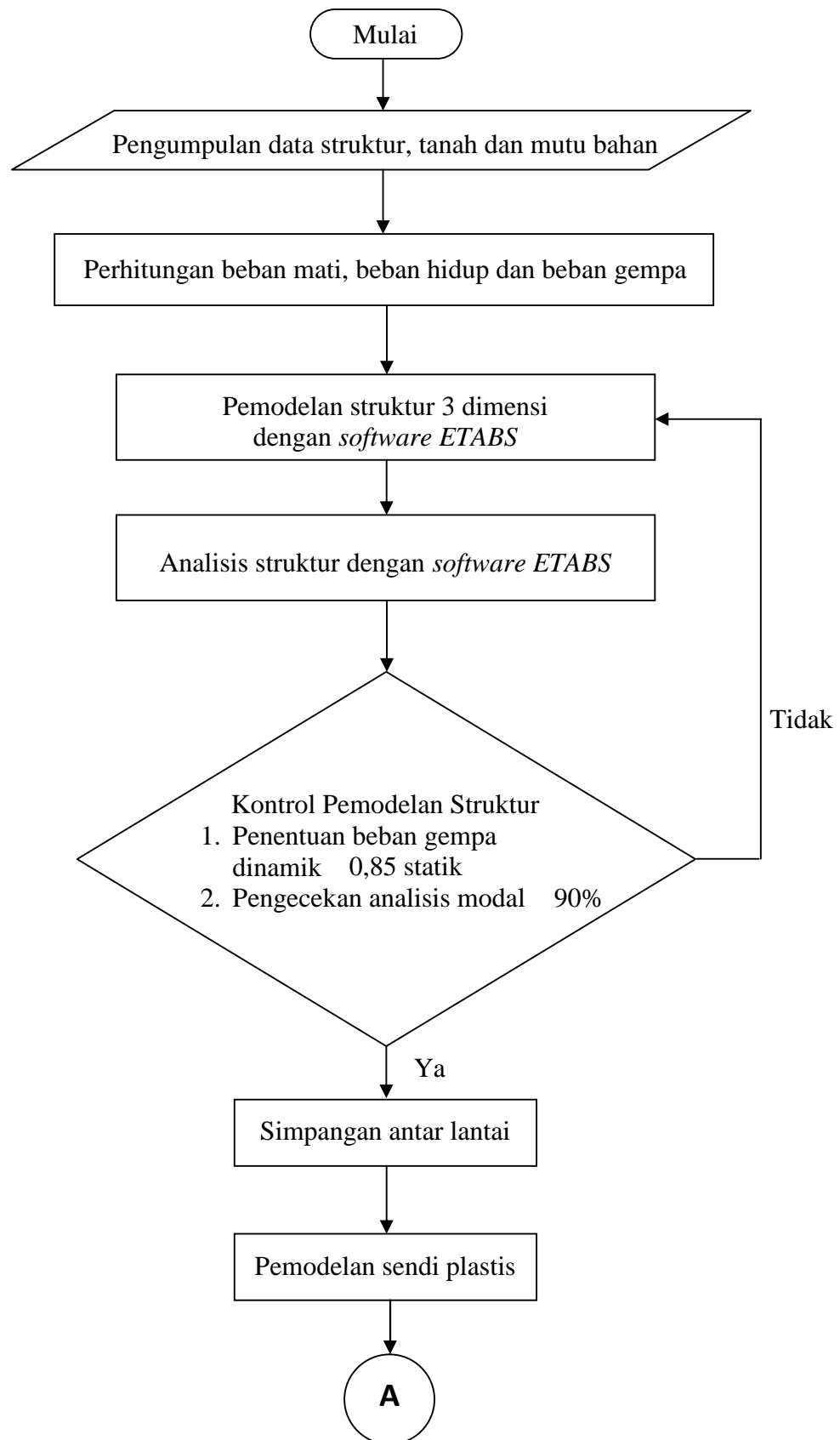


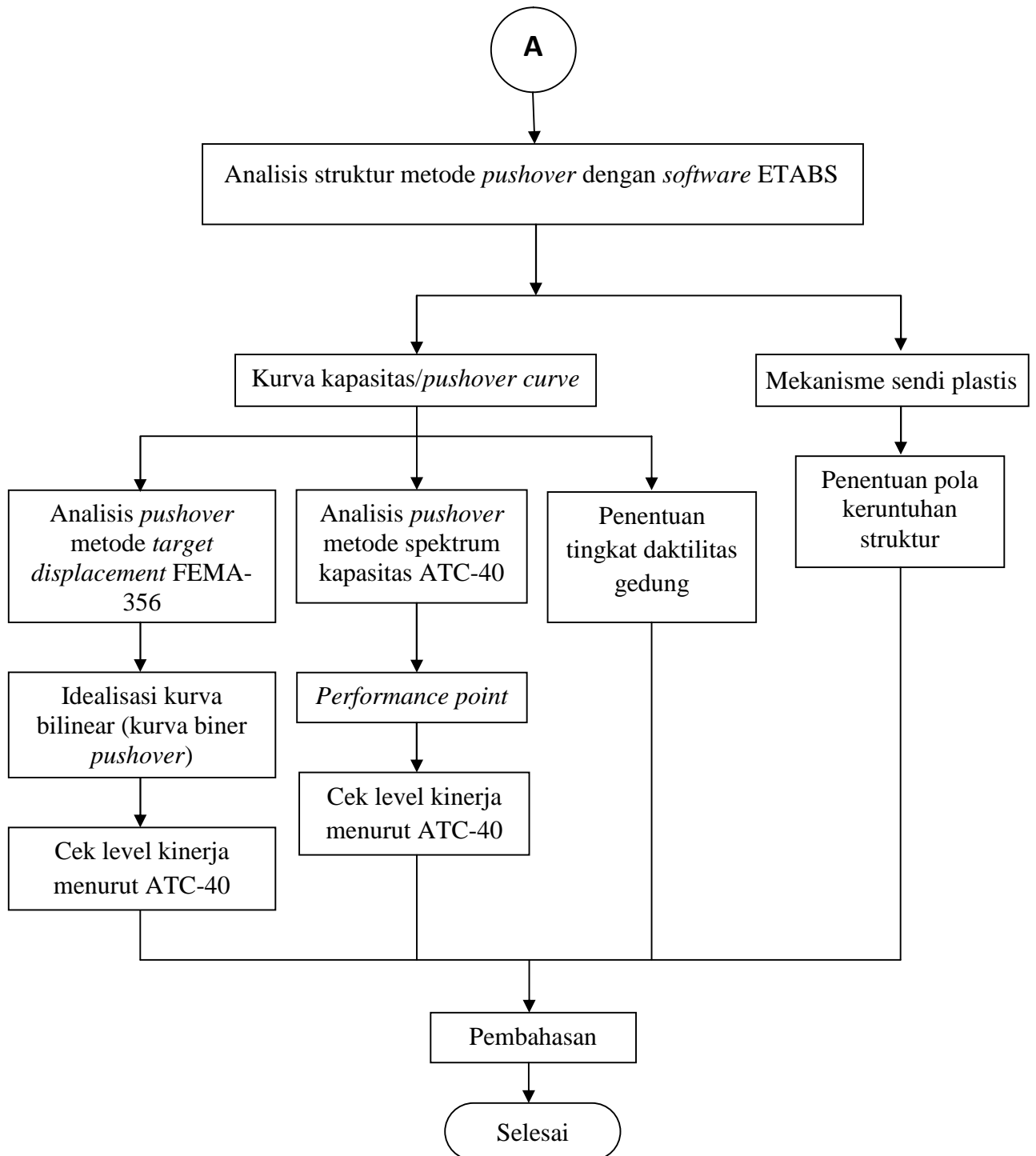
Gambar 8. Denah pemodelan 3D struktur gedung rumah sakit

### C. Metode Penelitian

Untuk melaksanakan penelitian, maka langkah analisis yang hendak dilakukan sesuai dengan prosedur berikut:

1. Pengumpulan data yang didapat adalah data struktur, *shop drawing* dan data *hammer test* RSUD Jend. Ahmad Yani Kota Metro.
2. Menghitung pembebanan bangunan yang terdiri dari beban mati, beban mati tambahan, beban gempa statik ekuivalen dan grafik fungsi respon spektrum.
3. Membuat model 3D struktur gedung RSUD Jend. Ahmad Yani Kota Metro.
4. Menginput properti struktur berupa dimensi penampang dan mutu bahan.
5. Menginput beban yang terdiri dari beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, beban gempa statik ekuivalen dan grafik fungsi respon spektrum.
6. Running struktur guna mengecek kontrol pemodelan struktur berupa besaran beban gempa dinamik, dan analisis modal.
7. Menghitung simpangan antar lantai.
8. Menginput beban statik nonlinier.
9. Menginput sendi plastis pada setiap ujung elemen balok dan kolom.
10. Melakukan analisis nonlinear statik *pushover*.
11. Mengevaluasi level kinerja struktur menggunakan metode *target displacement* FEMA-356 dan metode spektrum kapasitas ATC-40.
12. Mengevaluasi mekanisme keruntuhan struktur.
13. Mengevaluasi tingkat daktilitas struktur.





Gambar 9. Diagram alir



## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan dari analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *displacement* menggunakan metode *target displacement* FEMA-356 didapatkan hasil yang lebih kecil dibandingkan metode spektrum kapasitas ATC-40, sehingga tingkatan level kinerja struktur gedung yang diperoleh dari metode *target displacement* FEMA-356 menjadi lebih baik tingkatannya dibandingkan metode spektrum kapasitas ATC-40. Perbedaan hasil dari kedua metode yang digunakan disebabkan karena pengolahan data kurva *pushover* pada masing-masing metode menggunakan pendekatan perhitungan yang berbeda sehingga nilai *displacement* yang didapatkan akan berbeda.
2. Pada metode spektrum kapasitas ATC-40 didapatkan nilai *displacement* untuk arah-x sebesar 322,027 mm dan arah-y sebesar 229,491 mm, sedangkan pada metode *target displacement* FEMA-356 didapatkan nilai *displacement* untuk arah-x sebesar 251,6 mm dan arah-y sebesar 210,6 mm.
3. Tingkat level kinerja struktur pada metode spektrum kapasitas ATC-40 dan metode *target displacement* FEMA-356 berada pada tingkat *damage control*. Level kinerja *damage control* berada dalam kategori *range* antara *immediate occupancy* dan *life safety* dimana resiko korban jiwa manusia sangat kecil,

kerusakan yang terjadi masih dapat diperbaiki dan bangunan masih mampu menahan beban gempa rencana yang terjadi.

4. Tingkat plastifikasi pada elemen kolom struktur untuk pembebanan *pushover* arah-x ditemukan tiga elemen kolom yang mengalami kondisi diantara *immediate occupancy* (IO) dan *life safety* (LS), dua elemen kolom yang mengalami kondisi diantara *life safety* (LS) dan *collapse prevention* (CP) dan delapan elemen kolom yang mengalami kondisi lebih dari *collapse prevention* (>CP). Sedangkan untuk pembebanan *pushover* arah-y ditemukan delapan elemen kolom yang mengalami kondisi diantara IO dan LS dan satu elemen kolom yang mengalami kondisi >CP. Untuk tingkat plastifikasi sendi plastis elemen balok struktur secara keseluruhan pada pembebanan *pushover* arah-x dan arah-y tidak sampai ke dalam kondisi IO, namun hanya berada pada rentang kondisi A dan dibawah kondisi IO.
5. Kondisi plastifikasi memiliki hubungan dengan biaya perbaikan. Untuk kondisi A-IO belum dibutuhkan perbaikan sehingga tidak memerlukan biaya perbaikan. Untuk kondisi IO-LS, kerusakan elemen struktur dapat menyebabkan biaya perbaikan 25% hingga 50%. Dalam penentuan perbaikan untuk perkuatan struktur yang memiliki kondisi tersebut, dapat dilakukan dengan cara pembesaran dimensi, penambahan tulangan eksternal, *steel jacketing* atau pemasangan *fiber reinforced polymer* (FRP). Untuk kondisi LS-CP, kerusakan elemen struktur dapat menyebabkan biaya perbaikan hingga 100%. Salah satu opsi perbaikan tersebut dengan mengganti struktur tersebut dengan struktur yang baru. Untuk kondisi >CP, struktur telah runtuh sehingga tidak dapat dilakukan perbaikan.

6. Berdasarkan tabel *output* analisis *pushover*, didapatkan nilai gaya geser maksimum yang mampu ditahan oleh struktur sebesar 7824,0059 kN dengan *displacement* maksimum 239,861 mm pada pembebanan *pushover* arah-y.
7. Pola keruntuhan gedung saat dikenai beban gempa rencana telah memenuhi pola keruntuhan yang diharapkan yaitu balok lemah kolom kuat dimana pada hasil analisis *pushover*, terbentuknya sendi-sendi plastis terjadi pada mayoritas ujung-ujung balok dan pada ujung bawah kolom lantai dasar.
8. Tingkat daktilitas struktur bangunan berdasarkan SNI 1726:2002 adalah daktail parsial dengan nilai R aktual = 4,07. Namun nilai R aktual lebih kecil dibandingkan nilai R untuk struktur gedung pemikul momen khusus (SPRMK) berdasarkan SNI 1726:212 yaitu R = 8. Nilai faktor reduksi (R) adalah nilai modifikasi respon yang ditetapkan sesuai dengan jenis struktur dan tingkat daktilitas struktur yang didesain. Semakin daktail struktur tersebut didesain (R besar) maka gaya geser dasar yang diberikan pada struktur akan semakin kecil sehingga pendetailan tulangan yang diberikan pada elemen struktur tersebut akan semakin detail atau khusus.

## **B. Saran**

1. Perlunya pembelajaran dan pemahaman lebih lanjut dalam penggunaan aplikasi ETABS untuk analisis struktur.
2. Perlunya data-data struktur secara mendetail, sehingga hasil analisis dapat mendekati dengan keadaan sebenarnya.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai dinding geser, dimensi elemen struktur, penulangan elemen struktur dan mutu bahan terhadap hasil analisis *pushover*.

4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membandingkan hasil analisis metode *pushover* dengan metode statik nonlinear *time history*.

## DAFTAR PUSTAKA

ASCE 7-10. 2010. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.

Virginia: American Society of Civil Engineers.

ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*.

California: Applied Technology Council.

Desain Spektra Indonesia. Diakses 2 Mei 2019.

[http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/).

Dewobroto, Wiryanto. 2006. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP 2000*. *Jurnal Teknik Sipil*, 3 (1): 7-24.

FEMA-273. 1997. *NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.

FEMA-356. 2000. *Prestandard And Rehabilitation Of Buildings*. Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.

FEMA-440. 2005. *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures* (FEMA-440). Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.

SNI 1726:2002. 2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.

SNI 1726:2012. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.

SNI 1727:2013. 2013. *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.

SNI 2847:2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.

Tavio, dan Wijaya U. 2018. *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Yogyakarta: ANDI OFFSET.

Uniform Building Code. 1997. *Structural Engineering Design Provisions*. ICBO: U.S.A.