

PROPOSAL TUGAS AKHIR

**EVALUASI KINERJA DAN KERENTANAN SEISMIC
GEDUNG FASILITAS PENDIDIKAN DENGAN
ANALISIS *PUSHOVER* DAN METODE *HAZUS*
(*EVALUATION OF PERFORMANCE AND SEISMIC
VULNERABILITY OF EDUCATIONAL FACILITIES
BUILDING USING PUSHOVER ANALYSIS AND
HAZUS METHOD*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat S1 Teknik Sipil**



**Ardha Aga Saputra
13511246**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2018**

PROPOSAL TUGAS AKHIR

**EVALUASI KINERJA DAN KERENTANAN SEISMIC
GEDUNG FASILITAS PENDIDIKAN DENGAN
ANALISIS *PUSHOVER* DAN METODE *HAZUS*
(*EVALUATION OF PERFORMANCE AND SEISMIC
VULNERABILITY OF EDUCATIONAL FACILITIES
BUILDING USING PUSHOVER ANALYSIS AND
HAZUS METHOD*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat S1 Teknik Sipil**



**Ardha Aga Saputra
13511246**

Disetujui :

Pembimbing

Yunalia Muntafi, S.T.,M.T.

Tanggal :

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Ringkasan Penelitian	5
2.1.1 Penelitian – Penelitian Terdahulu	5
2.1.2 Penelitian yang akan Dilakukan dan Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya	8
2.2 Keaslian Penelitian	11
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Gempa Bumi	12
3.2 Bangunan Tahan Gempa	12
3.3 Analisis Pembebanan	12
3.3.1 Beban mati	13
3.3.2 Beban hidup	13
3.3.3 Beban gempa	14
3.4 Konsep <i>Performance Based Earthquake Engineering</i> (PBEE)	24
3.5 Sendi Plastis (<i>Hinge</i>)	24

3.6 Analisis Statik Nonlinier (<i>Pushover Analysis</i>) dengan Metode <i>Capacity Spectrum</i>	25
3.6.1 Analisis pushover menggunakan ATC-40 prosedur B	25
3.6.2 Kurva Kapasitas	26
3.6.3 <i>Performance point</i> (titik kinerja)	29
3.6.4 Batasan deformasi	30
3.6.5 Kinerja struktur metode ATC-40	30
3.7 Analisis Kurva Kerentanan (<i>Fragility Curve</i>) dengan Metode HAZUS31	
3.7.1 Deskripsi model tipe bangunan	32
3.7.2 <i>Capacity curve</i>	33
3.7.3 <i>Fragility curve</i>	33
BAB IV METODE PENELITIAN	35
4.1 Obyek Penelitian	35
4.2 Pengambilan Data	35
4.3 Program atau <i>Software</i> yang Digunakan	37
4.4 Tahapan Tugas Akhir	38
4.6 Bagan Alir Penelitian	40
DAFTAR PUSTAKA	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan	9
Tabel 3.1	Beban Mati yang Digunakan	13
Tabel 3.2	Beban Hidup yang Digunakan	13
Tabel 3.3	Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa	14
Tabel 3.4	Faktor Keutamaan Gempa	15
Tabel 3.5	Koefisien Situs F_a	16
Tabel 3.6	Koefisien Situs F_v	17
Tabel 3.7	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek (S_{DS})	18
Tabel 3.8	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik (S_{DI})	18
Tabel 3.9	Definisi Syarat Kategori Desain Seismik	19
Tabel 3.10	Faktor R, C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa	21
Tabel 3.11	Koefisien untuk Batas Atas Pada Periode yang Dihitung	22
Tabel 3.12	Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	22
Tabel 3.13	Batasan Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur	30
Tabel 3.14	Kondisi Bangunan Setelah Terjadi Gempa dan Kategori Bangunan pada Tingkat Kinerja Struktur	31
Tabel 3.15	Model Tipe Bangunan	32
Tabel 4.1	Tipe dan Dimensi Kolom	36
Tabel 4.2	Tipe dan Dimensi Sloof, Balok	36
Tabel 4.3	Tipe dan Dimensi Pelat	37
Tabel 4.4	<i>Time Schedulle</i> Penyelesaian Tugas Akhir	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Peta Spektrum Respons Percepatan Periode 0,2 Detik (S_5)	16
Gambar 3.2 Peta Spektrum Respons Percepatan Periode 1,0 Detik (S_1)	16
Gambar 3.3 Spektrum Respons Desain	20
Gambar 3.4 <i>Default</i> Sendi Plastis M3 dan P-MM (FEMA 356)	24
Gambar 3.5 Kurva Kapasitas (<i>Capacity Curve</i>)	26
Gambar 3.6 Faktor Partisipasi Modal dan Modal Koefisien Massa	27
Gambar 3.7(a) Perubahan Format Kurva Kapasitas Kurva Kapasitas Format Standard	28
Gambar 3.7(b) Perubahan Format Kurva Kapasitas Kurva Kapasitas Format ADRS	28
Gambar 3.8(a) Perubahan Format Respons Spektra Respon Spektra Format Standard	29
Gambar 3.8(b) Perubahan Format Respons Spektra Respon Spektra Format ADRS	29
Gambar 3.9 Penentuan <i>Performance Point</i>	29
Gambar 3.10 Ilustrasi Keruntuhan Gedung	30
Gambar 3.11 Kurva Kerentanan dengan Metode <i>HAZUS</i>	32
Gambar 3.12 <i>Fragility Curve</i>	34
Gambar 4.1 Denah Tipikal Gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia	35
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian	40

DAFTAR NOTASI

ADRS	= <i>Acceleration Displacement Response Spectrum</i>
a_{pi}, dpi	= Percepatan (<i>acceleration</i>) pada titik maksimum
ATC-40	= <i>Applied Technology Council</i>
a_y, d_y	= Percepatan (<i>acceleration</i>) pada titik leleh
β_{eff}	= Perhitungan Redaman Viskous Efektif
β_{ds}	= Log Normal Standar Deviasi dari Spektral Displacement Tingkat Kerusakan
C	= Koefisien Gempa
C_a	= Percepatan Tanah Puncak
C_d	= Faktor Pembesaran Defleksi
CP	= <i>Collapse Prevention</i>
C_{rl}	= Koefisien Risiko Terpetakan 1 Detik
C_s	= Nilai Koefisien Respon Seismik
C_t	= Parameter Periode Pendekatan
C_v	= Nilai Koefisien Gempa
D	= Beban Mati
D_t	= Displacement Total
E	= Pengaruh Beban Gempa
E_c	= Modulus Elastisitas Beton
F_a	= Faktor Percepatan pada Getaran Periode Pendek
FEMA	= <i>Federal Emergency Management Agency</i>
f'_c	= Tegangan Desak Beton (Mpa)
f_v	= Tegangan Leleh Baja (Mpa)
F_1	= Faktor Percepatan pada Getaran Periode 1 Detik
g	= Percepatan Gravitasi (m/dt^2)
HAZUS	= Hazard US
H_i	= Tinggi (m) dari Dasar Sampai Tingkat ke-i

I_e	= Faktor Keutamaan Gempa
IO	= <i>Immediate Occupancy</i>
K	= Faktor Modifikasi Redaman
k	= Kekakuan Bangunan
L	= Beban Hidup
LS	= <i>Life Safety</i>
M3	= Momen Sumbu 3
N	= Jumlah Lantai
PBSE	= <i>Performance Based Earthquake Evaluation</i>
PBSD	= <i>Performance Based Earthquake Design</i>
PF ₁	= Modal Participation
PM2M3	= Gaya Aksial dan Momen pada Kolom
Qd	= Beban Mati Merata per Meter
R	= Koefisien Modifikasi Respons
s	= Jarak Tulangan (mm)
S_I	= Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek 1 Detik (g)
S_a	= Spektrum Respons Percepatan Desain
S_{ai}	= <i>Spectral Acceleration</i> pada Periode ke-i
SCWB	= <i>Strong Column Weak Beam</i>
S_b	= Selimut Beton (mm)
S_{DI}	= Percepatan Spektrum Respons Desain Panjang
S_{di}	= Spectral Displacement pada Periode ke-i
S_{Ds}	= Percepatan Spektrum respons Desain Periode Pendek
SF	= <i>Safety Factor</i>
S_{MI}	= Respon Percepatan Panjang
S_{MS}	= Respon Percepatan Pendek
S_s	= Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek (g)
T	= Periode Getar Fundamental Struktur (Detik)
T_a	= Periode Fundamental Pendekatan (Detik)
T_c	= Periode dari Hasil Komputer (Etabs) (Detik)

V	= Gaya Geser Dasar
V_{maks}	= Gaya Geser Maksimum
W	= Berat Mati Bangunan di Tambah Beban Hidup
W_i	= Bagian Berat Seismik Efektif Total Struktur (W)
W_i/g	= Massa pada Level-i
$W_{t,xy}$	= Berat Total Bangunan arah x dan arah y
α_1	= <i>Modal Mass Coefficient</i>
Δ_{atap}	= Perpindahan Atap

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara yang berada di wilayah jalur gempa Pasifik (*Circum Pasific Earthquake Belt*) dan jalur gempa Asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*) sehingga sangat berpotensi mengalami gempa bumi. Tidak semua wilayah Indonesia adalah daerah rawan terhadap gempa. Daerah Istimewa Yogyakarta adalah salah satu daerah yang ditetapkan sebagai daerah rawan gempa. Gempa bumi di Yogyakarta yang terjadi pada 26 Mei 2006 menimbulkan banyak korban jiwa dan telah banyak merusak banyak bangunan..

Perencanaan bangunan direncanakan sedemikian rupa sehingga tidak terjadi kerusakan saat terjadi gempa. Terdapat banyak cara dalam melakukan analisis struktur bangunan tahan gempa diantaranya adalah *Performance Based Earthquake Engineering* (PBEE). Metode PBEE dibagi menjadi dua yaitu *Performance Based Seismic Design* (PBSD) dan *Performance Based Seismic Evaluation* (PBSE). Dalam kaitannya dengan metoda desain berbasis kinerja faktor yang diutamakan dalam analisis adalah keamanan, kontrol pada deformasi dan kinerja yang harus memenuhi persyaratan.

Pada penelitian ini menggunakan data *As Built Drawing* dari Gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia. Lokasi gedung tersebut berada di kompleks kampus terpadu Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang km 14,5 Sleman, Yogyakarta.

Gedung ini dibangun sekitar tahun 2013 dimana gedung ini berjumlah 4 lantai. Perencanaan gedung tersebut masih memakai peraturan gempa dan pembebanan yang lama. Gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia dari awal dibangun hingga sekarang, belum pernah dilakukan evaluasi terkait kinerja dan kerentanan dari gedung tersebut. Dilatarbelakangi hal tersebut maka akan dilakukan evaluasi kinerja dengan metode *pushover* dan menghitung tingkat kerentanan gedung tersebut berdasarkan peraturan terbaru

seperti SNI 1726 – 2012, SNI 1727 -2013, dan dalam analisis tingkat kerentanan akan menggunakan metode *HAZUS*.

Hasil evaluasi tersebut diharapkan dapat mengetahui apakah dengan menggunakan peraturan terbaru struktur bangunan masih mampu menahan gempa. Selain itu dari hasil analisis tingkat kerentanan akan didapat nilai probabilitas kerusakan bangunan tersebut apabila terjadi gempa, dengan skenario gempa Yogyakarta tahun 2006.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang diatas maka, masalah yang menjadi fokus dalam penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana kurva kapasitas hasil dari analisis pushover pada bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia ?
2. Berapa target perpindahan (*Performance Point*) dari hasil analisis *pushover* struktur bangunan gedung tersebut ?
3. Bagaimana hasil kinerja seismik bangunan sesuai metode ATC-40 ?
4. Bagaimana pola keruntuhan atau sendi plastis gedung tersebut setelah dianalisis dengan *pushover* ?
5. Bagaimana kurva kerapuhan (*Fragility curve*) bangunan saat ditinjau menggunakan metode *HAZUS* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dari dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. Mendapatkan kurva kapasitas pada bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia,
2. Mendapatkan hasil target perpindahan (*performance point*) dari hasil analisis pushover,
3. Mengetahui hasil kinerja seismik bangunan sesuai metode ATC-40,
4. Mengetahui mekanisme keruntuhan dan sendi plastis yang terjadi, dan
5. Mengetahui kurva kerapuhan (*fragility curve*) bangunan tersebut saat ditinjau menggunakan metode *HAZUS*.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian, maka diharapkan penelitian dapat memberikan manfaat sebagai berikut ini.

1. Bagi penulis, menambah ilmu dan pemahaman akan analisis statik nonlinier. Kemudian menambah pemahaman akan aplikasi program komputer ETABS.
2. Bagi pembaca, memberikan wawasan dan ilmu pengetahuan mengenai perilaku struktur bangunan terhadap gempa dengan analisis *pushover* dan menjadi bahan referensi jika terdapat penelitian selanjutnya terkait analisis *pushover*.
3. Bagi gedung yang menjadi bahan *study case*, diharapkan penelitian ini dapat menjadi salah satu referensi kaitannya dalam perbaikan, perkuatan, dan rehabilitasi.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian dijelaskan sebagai berikut ini.

1. Bangunan yang diteliti adalah Gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia
2. Fungsi gedung adalah sebagai fasilitas pendidikan.
3. Struktur gedung merupakan gedung beton bertulang dengan bentuk denah yang beraturan.
4. Beban yang dihitung meliputi beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), dan beban gempa (*earthquake load*).
5. Jenis tanah adalah tanah keras.
6. Struktur yang digunakan struktur beton dijelaskan sebagai berikut ini.
 - a. Struktur portal beton bertulang,
 - b. Pelat lantai beton bertulang,
 - c. Atap dengan struktur beton bertulang menggunakan kolom miring.
7. Data material bahan digunakan berdasarkan data *as built drawing* dari gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia.
8. Peraturan yang digunakan sebagai berikut ini.

- a. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (SNI 1727-2013),
 - b. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012),
 - c. *The Federal Emergency Management Agency HAZUS – Multy Hazard (FEMA HAZUS-MH)*
9. Kriteria kinerja keselamatan struktur gedung menggunakan peraturan *Applied Technology Council (ATC-40)*.
 10. Tidak meninjau segi ekonomis dan estetika bangunan.
 11. Lift dan tangga tidak dimodelkan
 12. Struktur yang dianalisis adalah struktur utama balok, kolom dan pelat.
 13. Analisis pada penelitian adalah sebagai berikut ini.
 - a. Pemodelan gedung secara 3D dengan menggunakan program ETABS Versi 9.6 ,
 - b. Tumpuan diasumsikan sebagai jepit,
 - c. Sistem struktur adalah *open frame*,
 - d. Balok dan kolom diasumsikan sebagai *frame*,
 - e. Pelat lantai dimodelkan sebagai *shell*,
 - f. Daktilitas bangunan dianggap elastik,
 - g. Jumlah tingkat yang dianalisis adalah 4 tingkat dengan 1 atap dengan kuda-kuda beton bertulang,
 - h. Gaya lateral yang ditinjau berupa beban gempa horizontal sedangkan beban angin diabaikan,
 - i. Rangka atap dimodelkan secara terpisah secara 3D.
 - j. Analisis yang digunakan adalah analisis *pushover* statik nonlinear,
 - k. Analisis *pushover* yang digunakan sesuai ATC-40 prosedur B, dan
 - l. Pendefinisian sendi plastis (*Hinges properties*) dalam ETABS Versi 9.6 input secara otomatis berdasarkan FEMA 356,
 - m. Kurva kerentanan dihitung secara manual dengan bantuan *software Microsoft Excel 2010*

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ringkasan Penelitian

Ringkasan penelitian dari berbagai sumber yang terkait dibuat untuk memberikan gambaran maupun masukan terhadap penelitian yang akan dilakukan, serta membandingkan hasil penelitian yang dilakukan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sehingga dapat diambil kesimpulan yang berkesinambungan. Berikut adalah rangkuman penelitian – penelitian terdahulu dan penelitian yang akan dilakukan.

2.1.1 Penelitian – Penelitian Terdahulu

Berikut beberapa kutipan hasil penelitian yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan.

1. Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri Dengan Analisis Pushover

Penelitian ini bersumber dari *Prosiding Simposium Nasional RAPI XI FT UMS* yang dilakukan oleh Muntafi (2012). Gedung DPU berjumlah empat lantai. Analisisnya menggunakan analisis statik nolinear (*pushover analysis*) dengan konsep *Performance Based Earthquake Engineering (PBEE)*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan Kurva kapasitas (*pushover curve*), titik kinerja (*performance point*), dan tahap-tahap terbentuknya sendi plastis (skema kelelahan) sampai gedung tersebut runtuh. Metode penelitian menggunakan prosedur B analisis *pushover* metode *capacity spectrum* ATC-40.

Hasil penelitian adalah sebagai berikut ini.

- a. Besar gaya lateral maksimum adalah sebesar 594,0694 ton terjadi pada step-8 dari analisis *pushover*.
- b. Berdasar *performance point* didapatkan gaya geser dasar $V_t = 345,3610$ ton, *displacement* pada step ke-3 sebesar 0,0760 m > 0,037 m (Dt). Kinerja struktur tersebut tidak melewati LS (*life safety*).
- c. Nilai maksimum total *drift* = 0,0021 dan maksimum inelastik *drift* = 0,00155. Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa gedung yang ditinjau

termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO), maka apabila terjadi gempa, gedung tidak mengalami kerusakan struktural dan nonstruktural sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.

2. Evaluasi Kinerja Seismik Laboratorium Seni Musik dan Tari Universitas Negeri Yogyakarta dengan Analisis *Pushover* Metode *Capacity Spectrum*.

Penelitian ini bersumber dari tugas akhir yang dilakukan oleh Ikramullah (2017). Gedung laboratorium seni musik dan tari UNY merupakan gedung berjumlah empat lantai. Bangunan tersebut untuk fasilitas pendidikan. Ukuran dimensi dan mutu beton serta baja mengikuti denah *as built drawing* dari gedung tersebut. Pemodelan dilakukan dengan bantuan program SAP 2000 Versi 18.

Dalam analisisnya menggunakan metode analisis *pushover*. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui kurva kapasitas, target perpindahan gedung tersebut, kinerja struktur menurut ATC-40, dan skema keruntuhan gedung tersebut. Dalam menentukan titik kinerja gedung digunakan metode *capacity spectrum* yang mengacu pada ATC-40.

Hasil penelitian adalah sebagai berikut ini.

- a. Besar gaya lateral maksimum dan *displacement* untuk arah-x sebesar 2426,623 KN dan 0,23465 m, dan untuk arah-y sebesar 2195,849 KN dan 0,2098 m.
- b. Nilai *performance point* untuk arah-x adalah $V = 2397,681$ KN, $D = 0,209$ m, $S_a = 0,185$ g, dan $S_d = 0,192$ m dan untuk arah-y adalah $V = 2214,057$ KN, $D = 0,226$ m, $S_a = 0,17$ g, dan $S_d = 0,206$ m.
- c. Sendi plastis terjadi pada balok step ke-1 di kedua arah, untuk sendi plastis pada kolom terjadi pada step ke-3 arah-x dan step ke-2 arah-y. struktur mulai leleh pada step ke-15 untuk arah-x dan step ke-9 untuk arah-y.
- d. Level kinerja gedung baik arah-x maupun arah-y dengan parameter *maximum total drift ratio* dan *maximum inelastic drift ratio* masuk dalam kategori *damage control*. Setelah terjadi gempa gedung tidak mengalami kerusakan yang signifikan dan dapat langsung digunakan.

3. Studi Kerentanan Bangunan Gedung Beton Bertulang Akibat Gempa dengan Analisis *Pushover* dan *HAZUS*.

Pada penelitian ini bersumber dari tugas akhir yang dilakukan oleh Faraodi (2017). Bangunan yang diteliti adalah gedung perkuliahan berlokasi di Yogyakarta. Gedung tersebut berlantai 3 dengan tinggi total bangunan 17,076 m. Pemodelan struktur dalam 3D dibuat dengan bantuan *software* ETABS Versi 7.2.4 untuk struktur atap dan bantuan *software* SAP 2000 Versi 11 untuk struktur bangunan utama.

Tingkat kerentanan bangunan terhadap gempa dianalisis dengan metode *pushover* terhadap *HAZUS*. Metode yang dipakai adalah analisis statik nonlinear (*pushover*) sesuai peraturan gempa SNI 1726-2012. Variabel dalam penelitian ini adalah analisis *pushover*, perpindahan (*displacement*), rasio simpangan antar tingkat (*drift ratio*), gaya geser dasar (*base shear*), kurva kapasitas, kurva spektrum respon, dan kurva kerentanan.

Hasil penelitian adalah sebagai berikut ini.

- a. Kurva kapasitas pembebanan arah-x berhenti pada step ke-12 nilai titik kontrol sebesar 0,110129 m dan nilai gaya geser dasar sebesar 325,030 ton. Kurva kapasitas pembebanan arah-y berhenti pada step ke-15 nilai titik kontrol sebesar 0,112566 m dan nilai gaya geser dasat sebesar 205,203 ton. Hal tersebut menunjukkan bahwa struktur arah-x memiliki kekakuan lebih tinggi dari pada struktur arah-y.
- b. Untuk nilai *drift ratio* pada pembebanan arah-x adalah $0,004 < 0,01$ dari hasil tersebut level kinerja arah-x adalah *Immediate Occupancy*. Untuk nilai *drift ratio* pada pembebanan arah-y adalah $0,00434 < 0,01$ dari hasil tersebut level kinerja arah-y adalah *Immediate Occupancy*. Hal ini berarti jika terjadi gempa, struktur mampu menahan gempa tersebut , tidak terjadi kerusakan yang berarti pada struktur, sehingga dapat langsung dipakai tanpa harus diperbaiki.
- c. Setelah dilakukan analisis tingkat kerentanan bangunan berdasarkan *HAZUS*, diperoleh betuk kurva kerentanan yang cukup landai. Dari nilai *cumulative probability* menunjukkan bangunan diperkirakan mengalami

kerusakan tingkat *slight* dengan probabilitas sebesar 48,12%, diperkirakan mengalami kerusakan tingkat *moderate* dengan probabilitas sebesar 25,53%, diperkirakan mengalami kerusakan tingkat *extensive* dengan probabilitas sebesar 3,94%, diperkirakan mengalami kerusakan tingkat *complete* dengan probabilitas sebesar 0,23% sehingga nilai total *vulnerability* adalah 48,12%, bangunan tidak mengalami kerusakan sama sekali sebesar 22,19%.

4. Analisis Struktur Gedung POP Hotel Terhadap Beban Gempa Dengan Metode *Pushover Analysis*

Penelitian ini bersumber dari *journal* dari Arifin Zainal dkk (2015). Analisis yang dilakukan menggunakan program SAP 2000 Versi 14. Lokasi penelitian berada di Bandar Lampung. Gedung POP Hotel memiliki 8 lantai yang tipikal dengan tambahan *basement*, *ground*, dan *roof*.

Melalui analisis statik nonlinear (*pushover*) dinilai memberikan hasil yang paling representatif terhadap perilaku dan kinerja bangunan. Hasil analisis yang menjadi perhatian yaitu *performance* bangunan dan pola keruntuhan bangunan. Dalam menentukan *performance point* bangunan, program SAP 2000 Versi 14 melakukan iterasi mengikuti prosedur B, ATC-40. Iterasi yang dilakukan berdasarkan kurva *demand* elastik (*damping ratio* 5%).

Hasil penelitian adalah sebagai berikut ini.

- a. Analisis *pushover* arah x bangunan mengalami kerusakan level kinerja *Immediate Occupancy* dengan nilai perpindahan sebesar 0,21 meter.
- b. Analisis *pushover* arah y bangunan mengalami kerusakan dengan level kinerja *Damage Control* dengan perpindahan sebesar 0,47 meter dan gedung mengalami keruntuhan *beam sway*.

2.1.2 Penelitian yang akan Dilakukan dan Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Dari keseluruhan penelitian sebelumnya baik bersumber dari tugas akhir sebelumnya maupun dari *journal*, akan dibandingkan dengan penelitian yang akan dilakukan. Dirangkum menjadi sebuah tabel yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Parameter Pembeding	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Akan Dilakukan
Peneliti	Muntafi, Yunalia (2012)	Arifin, Zainal (2015)	Ikramullah (2017)	Faraodi, Rohma (2017)	Aga Saputra, Ardha (2018)
Judul Penelitian	Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri dengan Analisis <i>Pushover</i> .	Analisis Struktur Gedung POP Hotel Terhadap Beban Gempa Dengan Metode <i>Pushover Analysis</i> .	Evaluasi Kinerja Seismik Laboratorium Seni Musik dan Tari Universitas Negeri Yogyakarta dengan Analisis <i>Pushover</i> metode <i>Capacity Spectrum</i> .	Studi Kerentanan Bangunan Gedung Beton Bertulang Akibat Gempa dengan Analisis <i>Pushover</i> dan <i>HAZUS</i> .	Evaluasi Kinerja dan Studi Kerentanan Seismik Gedung Fasilitas Pendidikan Dengan Analisis <i>Pushover</i> dan Metode <i>HAZUS</i> .
Tujuan Penelitian	Menghasilkan kurva kapasitas (<i>pushover curve</i>), titik kinerja (<i>performance point</i>), dan mengetahui tahap-tahap terbentuknya sendi plastis atau keruntuhan bangunan.	Mengetahui pola keruntuhan dan perpindahan saat diberikan beban gempa pada bangunan tersebut.	Mengetahui kurva kapasitas, target perpindahan gedung, kinerja struktur menurut ATC-40, dan skema keruntuhan gedung tersebut.	Mengetahui kurva kapasitas, level kinerja (<i>performance level</i>), mekanisme sendi plastis atau keruntuhan bangunan setelah dilakukan <i>pushover</i> dan, menghitung kurva kerentanan dengan metode <i>HAZUS</i> .	Mengetahui kurva kapasitas, <i>performance point</i> , kinerja struktur menurut ATC-40, skema keruntuhan, dan menghitung kurva kerentanan dengan metode <i>HAZUS</i> .
Bentuk dan Tinggi Bangunan Gedung	Gedung beraturan berjumlah 4 lantai. Tinggi lantai dasar 5,75 m, tinggi lantai 2-4 adalah 4 m. Tinggi total bangunan 17,75 m	Gedung beraturan 8 lantai yang tipikal dengan tambahan <i>basement</i> , <i>ground</i> , dan <i>roof</i> .	Gedung beraturan berlantai 4. Ketinggian gedung dari lantai dasar sampai atap adalah 22,75 m. Ketinggian lantai 1 – 4 sebesar 4,2 m dan tinggi atap 5,95 m	Gedung tidak beraturan berlantai 3 dengan tinggi total bangunan 17,076 m. Tinggi lantai 1 adalah 4 m, lantai 2 adalah 4 m, dan lantai 3 adalah 4,115 m.	Gedung beraturan berlantai 4. Tinggi total bangunan 18,90 m sudah termasuk atap, untuk tinggi lantai 1 – 3 adalah 4 m, untuk lantai 4 adalah 3,6 m dan tinggi atap 3,3 m
Peraturan yang Digunakan	ATC-40 (1996), SNI 1727-1989, SNI 1726-2002.	ATC-40 (1996), SNI 1727-2013, SNI 1726-2012, SNI 2847-2002	ATC-40 (1996), SNI 1726-2012, SNI 1727-2013, SNI 2847-2013, FEMA-273 (1997), FEMA-356 (2000), FEMA-440 (2005)	ATC-40 (1996), SNI 1726-2012, SKBI-1.3.5.3.1987, FEMA-356 (2000), FEMA-440 (2005), HAZUS-MH MR4 (1999)	ATC-40 (1996), SNI 1726-2012, SNI 1727-2013, SNI 2847-2013, FEMA-273 (1997), FEMA-356 (2000), FEMA-440 (2005), HAZUS-MH MR4 (1999)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

<p>Metode penelitian</p>	<p>Pemodelan dan ukuran struktur gedung sesuai data perencanaan, menghitung beban dan gaya yang bekerja (<i>dead, live, quake load</i>), melakukan analisis <i>pushover</i> dengan metode <i>capacity spectrum</i> prosedur B ATC-40.</p>	<p>Menyiapkan data penelitian, perhitungan beban struktur antara lain beban hidup, mati dan gempa. Kemudian melakukan pemodelan struktur dengan SAP 2000, analisis struktur dengan metode <i>pushover</i>, terakhir menyimpulkan hasil analisis tersebut.</p>	<p>Pemodelan geometri struktur gedung dan ukuran struktur sesuai data perencanaan, menghitung beban dan gaya yang bekerja (<i>dead, live, quake load</i>), melakukan analisis <i>pushover</i> dengan metode <i>capacity spectrum</i> prosedur B ATC-40.</p>	<p>Pengumpulan data bangunan, memodelkan struktur atap dengan program ETABS dan struktur utama pada SAP 2000, elemen struktur yang dimodelkan kolom utama dan balok-balok primer. Kemudian analisis <i>pushover</i> setelah selesai dilakukan, dilanjutkan analisis kerentanan menggunakan metode HAZUS.</p>	<p>Pemodelan dan ukuran struktur bangunan sesuai data perencanaan, menghitung beban dan gaya yang bekerja (<i>dead, live, quake load</i>), melakukan analisis <i>pushover</i> dengan metode <i>capacity spectrum</i> prosedur B ATC-40. Setelah selesai <i>pushover</i> dilakukan analisis kerentanan menggunakan metode HAZUS.</p>
<p>Kesimpulan dari Hasil Penelitian</p>	<p>Besar gaya lateral maksimum 594,0694 ton terjadi pada step-8 <i>pushover analysis</i>. Berdasarkan <i>performance point</i> didapat gaya geser dasar $V_t=345,3610$ ton, displacement pada step -3 sebesar $0,0760 > 0,037$m. Gedung termasuk dalam level kinerja <i>Immediate Occupancy</i> (IO). Jika terjadi gempa tidak mengalami kerusakan struktural dan nonstruktural.</p>	<p>Analisis <i>pushover</i> arah x bangunan tersebut mengalami level kinerja <i>Immediate Occupancy</i> dengan nilai perpindahan sebesar 0,21 meter. Analisis <i>pushover</i> arah y bangunan mengalami level kinerja <i>Damage Control</i> dengan perpindahan sebesar 0,47 meter dan gedung mengalami keruntuhan <i>beam sway</i>.</p>	<p>Besar gaya lateral maksimum arah-x 2426,623 KN, arah-y 2195,849 KN. Struktur mulai leleh pada step ke-15 untuk arah-x dan pada step ke-9 untuk arah-y. Sendi plastis terjadi pada balok step ke-1 dan pada kolom step ke-3 untuk arah-x serta step ke-2 untuk arah-y. Level kinerja gedung arah-x dan arah-y termasuk dalam kategori <i>Damage Control</i>. Jika terjadi gempa gedung tidak mengalami kerusakan yang signifikan, dan dapat langsung digunakan</p>	<p>Gedung berada pada level kinerja <i>Immediate Occupancy</i> (IO) dengan nilai total <i>vulnerability</i> sebesar 77,81% dimana besar <i>cumulative probability</i> untuk level <i>slight, moderate, extensive</i>, dan <i>complete</i> secara berturut-turut sebesar 48,12%, 25,53%, 3,94%, 0,23%.</p>	

2.2 Keaslian Penelitian

Berdasarkan dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang terangkum dalam Tabel 2.1 di atas, penelitian mengenai evaluasi kinerja dan kerentanan gedung pernah dilakukan namun yang membedakan adalah gedung yang ditinjau dan peraturan – peraturan yang digunakan, adapun detail bukti penelitian yang akan dilakukan merupakan karya asli dan bukan merupakan bentuk karya plagiasi adalah sebagai berikut :

1. Data yang digunakan merupakan denah berdasarkan *as built drawing*, dari gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia.
2. Analisis menggunakan program komputer ETABS Versi 9 dan akan di modelkan secara 3D dengan ukuran serta mutu mengikuti data eksisting bangunan. Desain tersebut meliputi desain bagian struktur bangunan dan atap bangunan tersebut
3. Setelah analisis *pushover* selesai dilakukan, kemudian penelitian berlanjut mengenai kajian kerentanan struktur bangunan gedung menggunakan metode *HAZUS* pada bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia.

Berdasarkan hal tersebut maka dapat dikatakan bahwa penelitian ini dapat dipertanggungjawabkan keasliannya.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energy secara tiba-tiba akibat dari pecah atau slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi (Widodo,2012). Gempa yang berkaitan dengan struktur bangunan gedung dan non gedung adalah gempa bumi tektonik.

Gempa tektonik akibat pergerakan lempeng dapat terjadi di laut dan di darat. Indonesia sendiri dilewati oleh lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia sehingga bencana gempa dapat terjadi kapan saja, maka dari itu bangunan gedung dan non gedung di Indonesia harus didesain mampu menahan gaya gempa yang besar.

3.2 Bangunan Tahan Gempa

Widodo (2012) menyatakan diperlukan perencanaan bangunan yang dapat mengurangi atau bahkan menghindari risiko kerusakan akibat gempa, sehingga dibutuhkan bangunan yang sangat kuat, sangat aman untuk menghindari kerusakan.

Para ahli kemudian memutuskan bahwa bangunan yang dibangun harus relatif kuat menahan gempa tetapi biaya pembangunannya tidak perlu mahal. Prinsip ini nantinya akan bermuara pada bangunan yang aman tetapi ekonomis. Bangunan seperti ini kemudian populer disebut *earthquake resistant building*, yaitu bangunan yang kuat terhadap bahaya gempa tetap pembangunannya relatif tidak mahal.

3.3 Analisis Pembebanan

Pada tugas akhir ini hanya akan dianalisis 3 jenis beban yang paling berpengaruh terhadap struktur yaitu beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

3.3.1 Beban Mati

Menurut SNI 1727 – 2013 pasal 3.1.1 beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung, dan komponen arsitektural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Dalam penentuan beban mati harus digunakan berat bahan dan berat konstruksi yang sebenarnya.

Berdasarkan SNI 1727 – 2013 pasal 3.1.2 jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang. Berdasar hal tersebut dalam tugas akhir ini besaran beban mati yang digunakan bersumber pada SKBI-1.3.5.3-1987. Beban mati yang digunakan antara lain dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Beban Mati yang Digunakan

No	Material Bangunan	Berat
1	Beton Bertulang	24 KN/m ³
2	pasir	18 KN/m ³
3	spesi	21 KN/m ³
4	keramik	24 KN/m ³
5	langit – langit dan penggantung	0,18 KN/m ³
6	Penutup atap genteng	0,5 KN/m ³

Sumber : SKBI-1.3.53-1987 (1987)

3.3.2 Beban Hidup

Menurut SNI 1727 – 2013 pasal 4.1 beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Dalam perencanaan ini beban yang hidup minimum yang digunakan sesuai dengan SNI 1727 – 2013 dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.2 Beban Hidup yang Digunakan

No	Fungsi / Penggunaan	Beban Minimum
1	Sistem lantai akses (ruang kantor, ruang kuliah)	2,4 KN/m ²
2	Atap	0,96 KN/m ²

Sumber : SNI 1727-2013 (2013)

3.3.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam kaitannya dalam perencanaan beban gempa untuk tugas akhir ini terdapat ketentuan – ketentuan sebagai berikut :

1. Kategori risiko struktur bangunan gedung

Kategori risiko bangunan sesuai SNI 1726 – 2012 di bagi menjadi 4 kategori berdasarkan jenis pemanfaatan bangunan tersebut dan kaitannya dengan risiko yang akan ditimbulkan berdasarkan prioritasnya. Kategori tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Kategori Risiko 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, tetapi tidak dibatasi untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none"> – Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan – Fasilitas semntara, – Gudang penyimpanan, – Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III,IV, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> – Perumahan – Rumah toko dan rumah kantor – Pasar, – Gedung perkantoran – Gedung apartemen/rumah susun – Pusat perbelanjaan/mall – Bangunan industri – Fasilitas manufaktur – pabrik 	II
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"> – Bioskop, – Gedung pertemuan, – Stadion, – Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat, – Fasilitas penitipan anak, – Penjara, – Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> – Pusat pembangkit listrik biasa – Fasilitas penanganan air – Fasilitas penanganan limbah – Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

**Lanjutan Tabel 3.3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung
untuk Beban Gempa**

<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan – bangunan monumental, - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan, - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lain yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat, - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisis, 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 eergi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat, - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyiapan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kabakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang termasuk ke dalam kategori risiko IV</p>	IV
--	----

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

2. Faktor keutamaan gempa

Setiap risiko bangunan memiliki faktor keutamaan gempa yang berbeda – beda hal ini digunakan untuk sebagai faktor pengali dalam perhitungan beban gempa yang dapat dilihat pada Tabel 3.4 menunjukkan hubungan kategori risiko gempa dengan faktor keutamaan gempa.

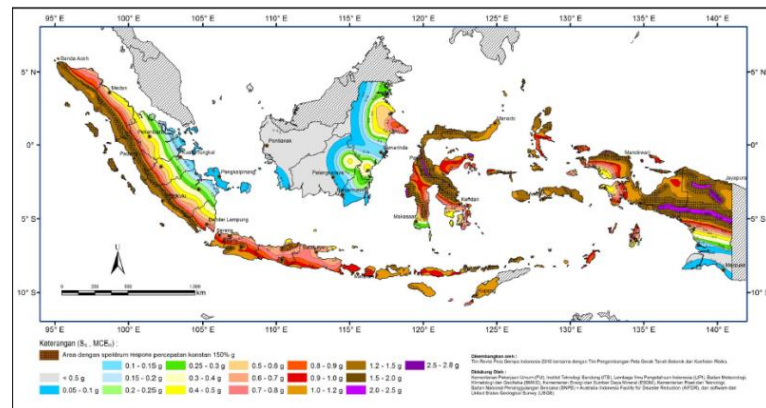
Tabel 3.4 Faktor Keutamaan Gempa

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

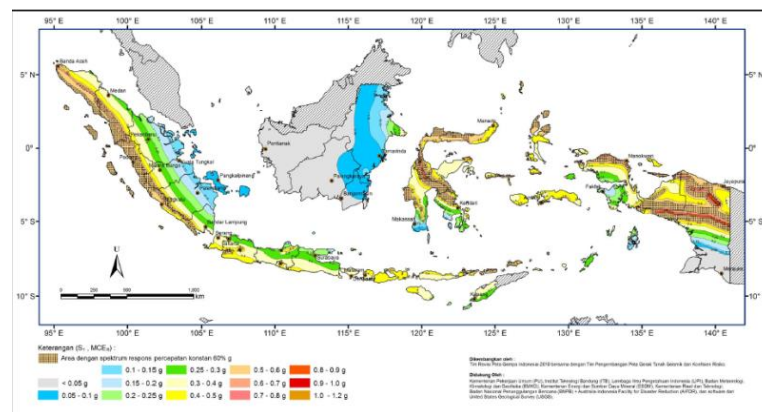
Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

3. Penentuan nilai respons spektra

Respons spektra setiap daerah berbeda - beda akibat adanya kemungkinan kejadian gempa daerah satu dengan lainnya sangat berbeda. Untuk mendesain sebuah bangunan gedung, diperlukan penentuan nilai respons spektra pada percepatan periode pendek yaitu 0,2 detik (S_s) dan nilai respon spektra pada percepatan 1 detik (S_1). Nilai tersebut dapat dilihat pada peta gempa pada SNI 1726 – 2012. Seperti yang disajikan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Peta Spektrum Respons Percepatan Periode 0,2 Detik (S_s)
(Sumber : SNI 1726-2012, 2012)



Gambar 3.2 Peta Spektrum Respons Percepatan Periode 1,0 Detik (S_1)
(Sumber : SNI 1726-2012, 2012)

Selain itu untuk menentukan parameter respons spektra percepatan gempa di permukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik (F_a) dan periode 1 detik (F_v) yang bisa didapatkan dari hubungan parameter respons spektra percepatan gempa dengan kelas situs yang dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

Tabel 3.5 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq$
SA (batuan keras)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB (batuan)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD (tanah sedang)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE (tanah lunak)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF (tanah khusus)	SS^2				

Catatan :

- a. Untuk nilai-nilai antara S_I dapat dilakukan interpolasi linier
- b. SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik.

Tabel 3.6 Koefisien Situs F_v

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 1$ detik, S_I				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I \geq 0,5$
SA (batuan keras)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB (batuan)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD (tanah sedang)	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE (tanah lunak)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF (tanah khusus)	SS ²				

Catatan :

1. Untuk nilai-nilai antara S_I dapat dilakukan interpolasi linier
2. SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik.

Parameter respons spektrum percepatan di permukaan tanah dapat diketahui dengan persamaan 3.1 dan persamaan 3.2.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (3.1)$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I \quad (3.2)$$

Keterangan :

S_s = parameter respons spektrum percepatan MCE_R terpetakan untuk periode pendek.

S_I = parameter respons spektrum percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik

Kemudian dihitung nilai respons spektrum desain yang akan di pakai dalam perancangan. Perhitungannya dilakukan berdasarkan persamaan 3.3 dan persamaan 3.4.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.3)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (3.4)$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter spektral desain perioda pendek

S_{DI} = parameter spektral desain untuk perioda 1 detik

4. Kategori desain seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu Kategori Desain Seismik (KDS) yang mengikuti ketentuan seperti berikut ini.

- a. Struktur dengan kategori risiko I,II, atau III nilai $S_1 > 0,75$ ditetapkan sebagai struktur dengan Kategori Desain Seismik E
- b. Struktur dengan kategori risiko IV nilai $S_1 > 0,75$ harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori Desain Seismik F.

Struktur yang memiliki ketentuan diluar ketentuan tersebut Kategori Desain Seismiknya ditetapkan berdasarkan hubungan nilai SDS dan SD1 terhadap Kategori Resiko Gedung seperti pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8.

Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda Pendek (S_{DS})

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

Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik (S_{DI})

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

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

5. Definisi Kategori Desain Seismik

- a. Kategori desain seismik A dan B

Gedung yang memiliki kategori desain seismik A dan B, didesain minimal, menggunakan peraturan yang mengacu kepada desain Struktur Momen Pemikul Momen Biasa (SMPMB) maupun Sistem Dinding Struktur Biasa (SDSB).

b. Kategori Desain Seismik C

Gedung yang memiliki kategori desain seismik C, didesain minimal, menggunakan peraturan yang mengacu kepada desain Struktur Momen Pemikul Momen Menengah (SMPMM) maupun Sistem Dinding Struktur Biasa (SDSB).

c. Kategori Desain Seismik D

Gedung yang memiliki kategori desain seismik D, didesain menggunakan peraturan yang mengacu kepada desain Struktur Momen Pemikul Momen Khusus (SMPMK), Dinding Struktur Khusus (SDSK).

d. Kategori Desain Seismik E dan F

Gedung yang memiliki kategori desain seismik E dan F, harus didesain mengikuti peraturan yang diisyaratkan di kategori desain seismik D.

Dari definisi kategori desain seismik diatas dapat disimpulkan dalam Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Definisi Syarat Kategori Desain Seismik

Tingkat Risiko Kegempaan	Kategori Desain Seismik	Syarat
Rendah	A dan B	SRPM B/M/K SDS B/K
Menengah	C	SRPM M/K SDS B/K
Tinggi	D,E dan F	SRPM K SDS K

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

Keterangan :

SRPM = Sistem Rangka Pemikul Momen

SDS = Sistem Dinding Struktur

B ; M ; K = Biasa; Menengah; Khusus

6. Spektrum Respons Desain

Pada SNI 1726 – 2012 pasal 6.4 disebutkan bahwa bila spektrum oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-spesifik tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 3.3 dan mengikuti ketentuan berikut ini.

- a. Periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan berikut :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.5)$$

- b. Periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} .

- c. Periode lebih besar dari T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.6)$$

Keterangan :

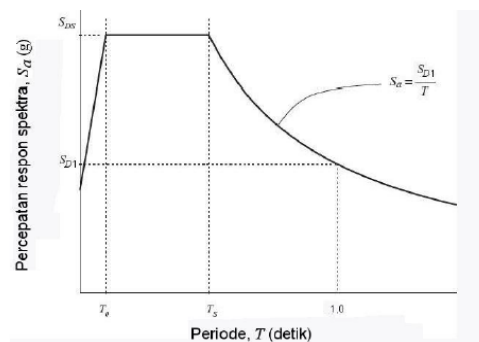
S_{DS} = parameter respons spektrum percepatan desain para periode pendek

S_{D1} = parameter respons spektrum percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.7)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.8)$$



Gambar 3.3 Spektrum Respons Desain
(Sumber : SNI 1726-2012, 2012)

7. Parameter dan pemilihan sistem gedung

Setelah itu gedung yang akan didesain sesuai Tabel 3.10, akan di dapatkan 3 jenis faktor yang berguna dalam menghitung beban lateral. Ketiga faktor tersebut adalah faktor modifikasi respon R , faktor kuat lebih sistem Ω_0 , dan faktor pembesaran defleksi C_d . Untuk Tabel yang disajikan hanya contoh untuk Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen yang sering digunakan.

Tabel 3.10 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa
(Contoh untuk Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen)

Sistem Penahan- gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
3. Sistem Rangka pemikul momen								
a. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
b. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
c. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	$2\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

Keterangan:

TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diiijinkan

8. Periode fundamental pendekatan

Dalam menentukan periode fundamental struktur T dapat diperoleh dari hasil analisis strktuktur yang ditinjau. Namun SNI 1726 – 2012 memberi persyaratan bahwa periode fundamental yang dipakai sebagai perhitungan tidak boleh melebihi dari batas atas periode fundamental pendekatan yang mana nilainya adalah perkalian dari koefisien periode batas atas (C_u) yang bisa di dapatkan pada Tabel 3.11, dengan periode pendekatan (T_a). Untuk memudahkan pelaksanaan periode alami fundamental T ini boleh langsung digunakan periode pendekatan T_a .

Periode pendekatan ditentukan berdasarkan Persamaan 3.9.

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (3.9)$$

Keterangan :

hn adalah ketinggian struktur bangunan gedung dengan satuan meter diatas dasar sampai tingkat tertentu, sedangkan nilai C_t dan x di tentukan pada Tabel 3.12.

Tabel 3.11 Koefisien untuk Batas Atas Pada Perioda yang Dihitung

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

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

Tabel 3.12 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa :		
Rangka baja pemikul momen	0.0724	0.8
Rangka beton pemikul momen	0.0466	0.9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0.0731	0.75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0.0731	0.75
Semua sistem struktur lainnya	0.0488	0.75

Sumber : SNI 1726-2012 (2012)

9. Gaya geser dasar seismik

Besar gaya geser dasar seismik seperti Persamaan 3.10.

$$V = C_s \times W \quad (3.10)$$

Keterangan :

V = gaya geser dasar seismik

C_s = koefisien respons seismik

W = berat gravitasi total struktur gedung efektif

Sedangkan koefisien respons seismik ditentukan oleh Persamaan 3.11 yang nilainya tidak melebihi oleh nilai yang dihasilkan oleh Persamaan 3.12, dan nilai C_s tidak kurang dari nilai yang dihasilkan persamaan 3.13. Sebagai tambahan persyaratan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana

$S_1 \geq 0,6g$; maka nilai C_s yang diambil tidak diperkenankan melebihi dari nilai yang dihasilkan pada Persamaan 3.14

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.11)$$

$$C_s = \frac{S_{S1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.12)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \cdot SDS \cdot I_e \geq 0,01 \quad (3.13)$$

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.14)$$

10. Distribusi vertikal gaya gempa

Pendistribusian beban ke setiap lantai mengikuti Persamaan 3.15 dengan menggunakan koefisien faktor distribusi vertikal berupa C_{vx} sesuai pada Persamaan 3.16

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3.15)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.16)$$

Keterangan :

C_{vx} = faktor distribusi vertikal,

V = geser dasar seismik,

W_x dan W_i = berat seismik efektif total struktur (w) tingkat I atau x ,

h_x dan h_i = tinggi tingkat i atau x yang diukur dari dasar struktur,

k = ekponen yang berhubungan dengan periode getar struktur nilainya adalah 1,0 untuk periode getar $< 0,5$ detik, dan bernilai 2,0 jika periode getar $> 2,5$ detik. Untuk periode getar diantara 0,5 detik dan 2 detik perlu dilakukan interpolasi.

3.4 Konsep *Performance Based Earthquake Engineering (PBEE)*

Pada konsep desain berbasis kinerja dapat dipastikan bahwa desain mampu memenuhi tingkat kinerja yang ditentukan, dimana pada konsep desain berbasis kinerja ini mampu memenuhi kapasitas layan dan kuat rencana.

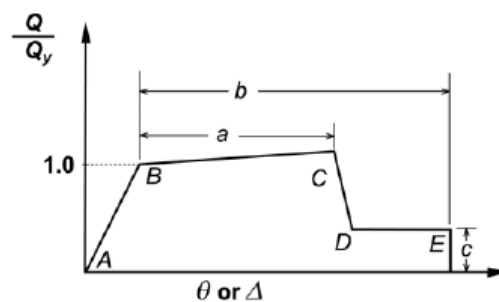
Konsep rekayasa gempa berbasis kinerja bisa digunakan *Performance Based Earthquake Design (PBSD)* dan *Performance Based Earthquake Evaluation (PBSE)*. Salah satu evaluasi berdasarkan metode PBSE adalah dengan menggunakan analisis beban dorong (*pushover*) statik nonlinier.

3.5 Sendi Plastis (*Hinge*)

Sendi plastis (*Hinge*) merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur dalam menahan gaya-gaya yang bekerja pada struktur tersebut. Untuk menghindari terjadinya sendi plastis, perencanaan struktur harus sesuai dengan konsep *strong column weak beam (scwb)*.

Pemodelan sendi plastis digunakan untuk mendefinisikan perilaku nonlinier atau momen rotasi yang ditempatkan pada balok dan kolom struktur. Pemodelan sendi plastis berupa *rigid*. Dalam analisis elemen balok menggunakan tipe sendi *default-M3* dan elemen kolom menggunakan tipe sendi *default-PMM*.

Perilaku plastifikasi sendi plastis sesuai kurva beban-perpindahan seperti terlihat pada Gambar 3.4 dengan parameter a, b, c , didefinisikan sesuai *Tabel 6-7* dan *Tabel 6-8* dalam FEMA 356 untuk beton. Keseluruhan proses evaluasi akan dikerjakan secara otomatis oleh program ETABS yang mengadopsi kriteria evaluasi berdasar FEMA 356. Hasil sendi plastis ditampilkan dalam bentuk deformasi struktur beserta sendi plastis yang membentuk kondisi kinerjanya.



Gambar 3.4 Default Sendi Plastis M3 dan P-MM (FEMA 356)

(Sumber : FEMA 356 *Figure 6-1*)

Keterangan :

Q = Gaya pada Komponen,

Q_y = Kekuatan yang Tersedia pada Komponen,

Δ = Perpindahan Elastis-Plastis Total,

θ = Rotasi Elastis-Plastis Total.

3.6 Analisis Statik Nonlinier (*Pushover Analysis*) dengan Metode *Capacity Spectrum*

Analisis *pushover* bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur bangunan terhadap gempa. Analisis ini dilakukan dengan cara memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur yang ditingkatkan secara bertahap dengan suatu faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai dan biasanya titik tersebut terletak pada pusat massa atap.

Hasil analisis *pushover* menggambarkan hubungan antara *base shear* dan *roof displacement*, hubungan tersebut kemudian dideskripsi kedalam kurva kapasitas struktur. Selain itu, analisis *pushover* juga dapat memperlihatkan secara visual perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis dan sampai keruntuhan. Salah satu metode untuk menentukan level kinerja suatu struktur adalah dengan metode *Capacity Spectrum (CSM)* berdasar dari ATC-40 (*Applied Technology Council*),1996.

Metode *capacity spectrum* merupakan metode yang memplotkan *demand* respon spektrum dan kurva kapasitas dalam satu format antara spektral percepatan vs spektral perpindahan atau disebut sebagai format *Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS)*.

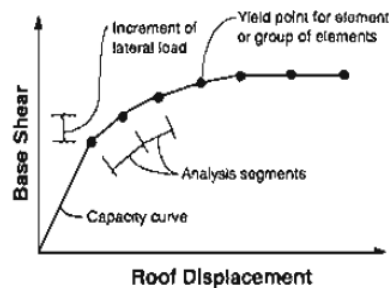
3.6.1 Analisis *pushover* menggunakan ATC-40 prosedur B

Dalam ATC-40, terdapat beberapa prosedur yang digunakan untuk mengetahui nilai dari *performance point* yaitu prosedur A, B, dan C. Pada tugas akhir ini menggunakan prosedur B untuk menentukan nilai *performance point*. Hal-hal yang perlu diperhatikan pada prosedur B menurut ATC-40 adalah sebagai berikut ini.

1. Menggunakan metode analitik;
2. Lebih sederhana dari prosedur A, karena asumsi yang disederhanakan (tetapi tidak selalu memiliki hasil yang lebih akurat);
3. Metode termudah jika menggunakan lembar pemrograman;
4. Metode penerapan yang cukup jelas; dan
5. Penggunaan metode di butuhkan pemahaman akan asumsi yang digunakan.

3.6.2 Kurva kapasitas

Kurva kapasitas menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan deformasi dari masing-masing komponen struktur. Kurva kapasitas menerangkan tentang hubungan antara *base shear* dan *roof displacement*, untuk lebih jelasnya mengenai kurva kapasitas dapat dilihat pada Gambar 3.5.

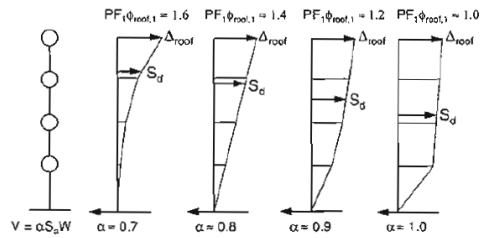


Gambar 3.5 Kurva Kapasitas (*Capacity Curve*)

(Sumber : *Applied Technology Council-40,1996 Figure 8-1*)

1. Konversi kurva kapasitas dalam format *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS)

Untuk merubah kurva kapasitas ke dalam format ADRS atau menjadi spektrum kapasitas maka terlebih dahulu dipahami tentang hubungan faktor partisipasi modal, modal koefisien massa, dan perpindahan bangunan. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Faktor Partisipasi Modal dan Modal Koefisien Massa

(Sumber : *Applied Technology Council-40,1996 Figure 8-5*)

Pada Gambar 3.6 terlihat hubungan antara faktor partisipasi modal dan modal koefisien massa untuk nilai simpangan antar lantai yang berbeda disetiap bangunan. Proses pertama untuk merubah kurva kapasitas ke format ADRS adalah menghitung nilai faktor partisipasi massa (PF_1), dan modal koefisien massa (α_1). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada persamaan 3.17 dan persamaan 3.18.

$$PF_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]}{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3.17)$$

$$\alpha = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N (w_i / g) \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3.18)$$

Keterangan :

PF_1 : faktor partisipasi modal pada *mode* pertama;

α_1 : modal koefisien massa pada mode pertama;

w_i / g : massa pada tingkat ke- i ;

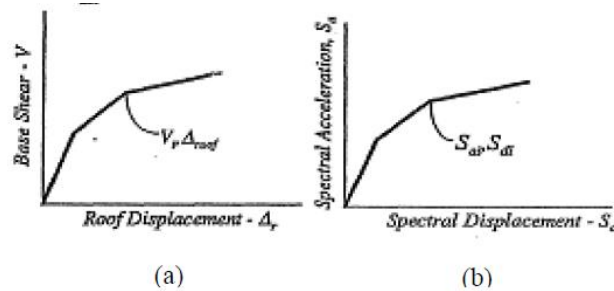
ϕ_{i1} : amplitude *mode*-1 pada tingkat ke- i .

Kemudian setiap point pada kurva kapasitas (V) dan (Δ_{roof}) dikonversi ke point (S_a) dan (S_d). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada persamaan 3.19 dan persamaan 3.20.

$$S_a = \frac{V / W}{\alpha_1} \quad (3.19)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof.1}} \quad (3.20)$$

Dari persamaan di atas maka akan didapatkan spektrum kapasitas. Perubahan format kurva kapasitas dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Perubahan Format Kurva Kapasitas. (a) Kurva Kapasitas Format Standar, (b) Kurva Kapasitas Format ADRS
(Sumber : *Applied Technology Council-40,1996 Page 8-5*)

Demand spektrum didapatkan dengan merubah respon spectrum yang biasanya dinyatakan dalam spectra percepatan (S_a) dan periode (T) menjadi format ADRS (S_a, S_d).

Metode konversi kurva kapasitas ke format spektrum kapasitas secara khusus telah di *built-in* pada program ETABS, konversi kurva kapasitas ke format ADRS dikerjakan secara otomatis oleh program tersebut.

2. Konversi kurva respon spektrum (*demand spectrum*) ke format ADRS

Untuk merubah respon spektrum ke dalam format ADRS dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \cdot (g) \quad (3.21)$$

atau

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}} \quad (3.22)$$

Keterangan :

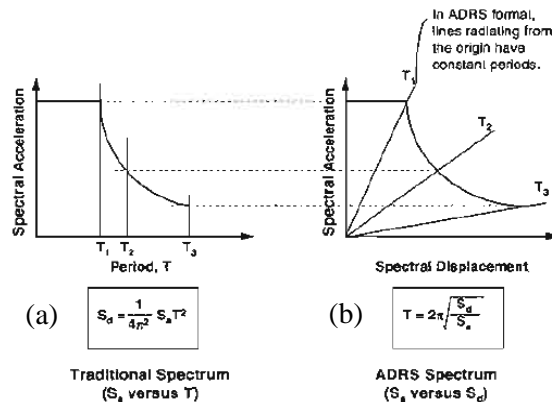
S_a : spectra percepatan / *spectral acceleration* (m);

S_d : spectra perpindahan / *spectral displacement* (g);

g : percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$);

T : periode getar fundamental (dt)

Sehingga hasil kurva *demand spectrum* dapat dilihat pada Gambar 3.8



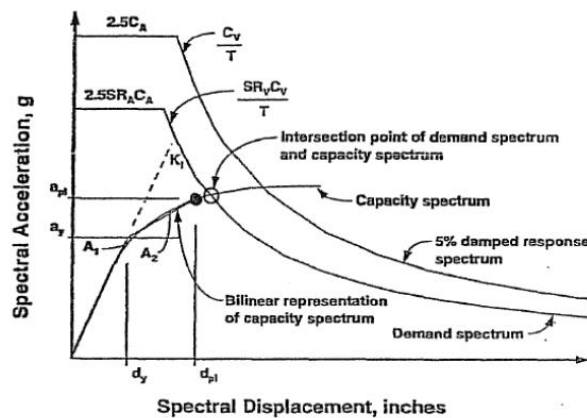
Gambar 3.8 Perubahan Format Respons Spektra . (a) Respon Spektra Format Standar, (b) Respon Spektra Format ADRS

(Sumber : *Applied Technology Council-40,1996 Figure 8-6*)

Pada ETABS, proses konversi kurva kapasitas dan kurva respon spektrum ke format ADRS sudah dihitung dan dibuat secara otomatis oleh program tersebut, yang dilakukan hanya perlu memasukkan data untuk membuat respon spektrum.

3.6.3 Performance point (titik kinerja)

Perpotongan antara *demand spectrum* dan *capacity spectrum* akan menghasilkan sebuah titik, titik tersebut yang dinamakan *performance point*. Pada *performance point* dapat mengetahui nilai periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis. Untuk penentuan nilai *performance point* membutuhkan iterasi yang akan dilakukan secara otomatis menggunakan program ETABS. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Penentuan Performance Point

(Sumber : *Applied Technology Council-40 Figure 8-28,1996*)

3.6.4 Batasan deformasi

Deformasi lateral pada saat *performance point* harus dicek terhadap deformasi limit yang ditetapkan dalam ATC-40, 1996 bab 11.3.3. deformasi limit pada berbagai tingkat kinerja dapat dilihat pada Tabel 3.13 berikut.

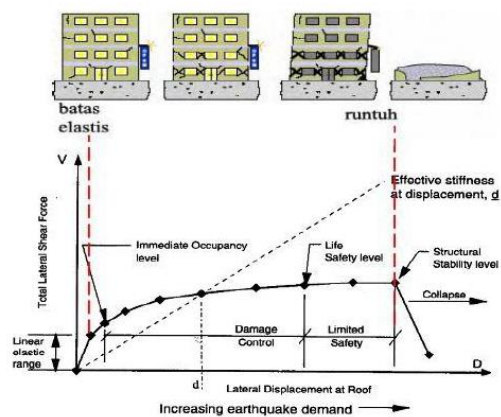
Tabel 3.13 Batasan Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur

Batasan simpangan antar tingkat	Level kinerja struktur			
	<i>Immediate occupancy</i>	<i>Damage control</i>	<i>Life safety</i>	<i>Structural stability</i>
Simpangan total maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33 V_i/P_i$
Simpangan inelastis maksimum	0,005	0,005-0,015	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan

(Sumber : *Applied Technology Council-40, 1996*)

3.6.5 Kinerja struktur metode ATC-40

Ada beberapa tingkatan kinerja sesuai ATC-40, dimana tingkatan kinerja digambarkan kurva hubungan antara perpindahan lateral dan besar gaya yang bekerja atau kurva kapasitas. Kurva kapasitas menggambarkan plot dari total gaya geser dasar akibat gempa (V) pada struktur, untuk berbagai kenaikan pembebanan dan perpindahan lateral gedung pada atap pada tingkat gaya lateral tertentu. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Ilustrasi Keruntuhan Gedung

(Sumber : *Applied Technology Council-40, 1996*)

Pada Gambar 3.10, simbol (\diamond) pada kurva kapasitas mewakili kejadian-kejadian pening selama respon lateral terhadap struktur. Kejadian-kejadian penting tersebut seperti pelelehan pertama pada salah satu elemen struktur atau

kerusakan tertentu contohnya adalah pecahnya atau terkelupasnya selimut beton pada kolom atau kegagalan geser pada spandel hingga keruntuhan total pada sistem.

Gambar 3.10 telah diketahui kurva kapasitas suatu struktur terhadap beban lateral, dimana terdapat level-level kinerja tertentu. Level kinerja tersebut dapat dideskripsikan lagi atas bagaimana kondisi bangunan setelah terjadi gempa dan kategori bangunan yang diizinkan terhadap level kinerja tertentu, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Kondisi Bangunan Setelah Terjadi Gempa dan Kategori Bangunan pada Tingkat Kinerja Struktur

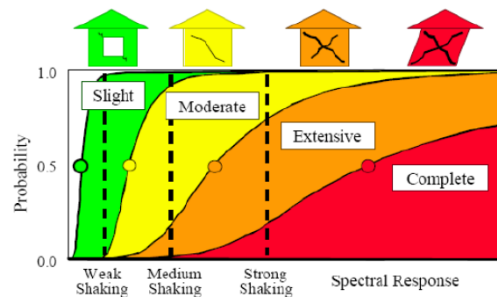
Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
<i>SP-1 Immediate Occupancy (IO)</i>	Bangunan aman saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan kembali.	Struktur bangunan yang mutlak difungsikan sebagai sarana penyelamatan, penyimpanan barang berbahaya, atau struktur bangunan yang dapat mempengaruhi ekonomi nasional. Contohnya rumah sakit, gudang bahan bakar atau bahan berbahaya.
<i>SP-2 Damage Control (DO)</i>	Merupakan transisi antara <i>SP-1</i> dan <i>SP-3</i> . Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, resiko korban jiwa manusia sangat kecil.	Struktur untuk bangunan bersejarah, bangunan yang menjadi tempat penyimpanan barang-barang berharga.
<i>SP-3 Life Safety (LS)</i>	Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia (resiko korban jiwa sangat rendah). Setelah terjadi gempa maka bangunan dapat berfungsi kembali setelah dilakukan perbaikan komponen struktural maupun non struktural.	Fasilitas-fasilitas umum, gedung perkantoran, perumahan, gudang dan lain sebagainya.
<i>SP-4 Limited Safety</i>	Merupakan transisi antara <i>SP-3</i> dan <i>SP-4</i> dan bukan merupakan tingkatan serta tidak memperhitungkan aspek ekonomis dalam melakukan perbaikan pasca gempa.	-
<i>SP-5 Structural Stability (SS)</i>	Struktur pasca gempa mengalami kerusakan hingga diambang keruntuhan total maupun parsial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kestabilan sudah diambang keseluruhan.	-
<i>SP-5 Structural Stability (SS)</i>	Struktur pasca gempa mengalami kerusakan hingga diambang keruntuhan total maupun parsial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kestabilan sudah diambang keseluruhan.	-

Sumber : *Applied Technology Council-40*, (1996)

3.7 Analisis Kurva Kerentanan (*Fragility Curve*) dengan Metode HAZUS

Metode HAZUS digunakan untuk memprediksi kerusakan bangunan yang disebabkan oleh guncangan akibat beban gempa, dengan merekomendasikan

kurva kapasitas dan kurva kerapuhan. Kurva kerentanan dengan metode *HAZUS* digambarkan pada Gambar 3.11



Gambar 3.11 Kurva Kerentanan dengan Metode *HAZUS*
(Sumber : *HAZUS*, 1999)

Metode *HAZUS* membagi *fragility curve* berbeda untuk keempat keadaan tingkat kerusakan yaitu *slight* (ringan), *moderate* (sedang), *extensive* (berat), dan *complete* (roboh). Dengan adanya *fragility curve* dapat diketahui seberapa besar tingkat probabilitas pada keempat kategori kerusakan tersebut pada bangunan yang dianalisa dan dapat digunakan dalam upaya untuk mitigasi bencana.

3.7.1 Deskripsi model tipe bangunan

Di deskripsikan dalam *HAZUS* terdapat 36 jenis tipe bangunan yang berdasarkan FEMA, untuk selengkapnya dapat dijelaskan pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15 Model Tipe Bangunan

No	Kode	Description	Height			
			Range		Typical	
			Name	Stories	Stories	Ft
1	W1	Wood, Light Frame ($\leq 5,000$ sq.ft.)		1-2	1	14
2	W2	Wood, Commercial and Industrial ($>5,000$ sq.ft)		All	2	24
3	S1L	Steel Moment Frame	Low-Rise	1-3	2	24
4	S1M		Mid-Rise	4-7	5	60
5	S1H		High-Rise	+8	13	156
6	S2L	Steel Brace Frame	Low-Rise			
7	S2M		Mid-Rise			
8	S2H		High-Rise			
9	S3	Steel Light Frame		All	1	15
10	S4L	Steel Frame With Cast-In Place Concrete Shear Wall	Low-Rise	1-3	2	24
11	S4M		Mid-Rise	4-7	5	60
12	S4H		High-Rise	+8	13	156

Lanjutan Tabel 3.15 Model Tipe Bangunan

13	S5L	<i>Steel Frame With Unreinforced Masonry Infill Wall</i>	<i>Low-Rise</i>	1-3	2	24
14	S5M		<i>Mid-Rise</i>	4-7	5	60
15	S5H		<i>High-Rise</i>	+8	13	156
16	C1L	<i>Concrete Moment Frame</i>	<i>Low-Rise</i>	1-3	2	20
17	C1M		<i>Mid-Rise</i>	4-7	5	50
18	C1H		<i>High-Rise</i>	+8	12	120
19	C2L	<i>Concrete Shear Wall</i>	<i>Low-Rise</i>	1-3	2	20
20	C2M	<i>Concrete Shear Wall</i>	<i>Mid-Rise</i>			
21	C2H		<i>High-Rise</i>			
22	C3L	<i>Concrete Frame With Unreinforced Masonry Infill Walls</i>	<i>Low-Rise</i>	1-3	2	20
23	C3M		<i>Mid-Rise</i>	4-7	5	50
24	C3H		<i>High-Rise</i>	+8	12	120
25	PC1	<i>Precast Concrete Tilt-Up Walls</i>		All	1	15
26	PC2L	<i>Precast Concrete Frame With Concrete Shear Walls</i>	<i>Low-Rise</i>	1-3	2	20
27	PC2M		<i>Mid-Rise</i>	4-7	5	50
28	PC2H		<i>High-Rise</i>	+8	12	120
29	RM1L	<i>Reinforced Masonry Bearing Walls With Wood or Metal Deck Diaphragms</i>	<i>Low-Rise</i>	1-3	2	20
30	RM1M		<i>Mid-Rise</i>	+4	5	50
31	RM2L	<i>Reinforced Masonry Bearing Walls With Precast Concrete Diaphragms</i>	<i>Low-Rise</i>	1-3	2	20
32	RM2M		<i>Mid-Rise</i>	4-7	5	50
33	RM2H		<i>High-Rise</i>	+8	12	120
34	URML	<i>Unreinforced Masonry Bearing Walls</i>	<i>Low-Rise</i>	1-2	1	15
35	URMM		<i>Mid-Rise</i>	+3	3	35
36	MH	<i>Mobile Homes</i>		All	1	10

Sumber : HAZUS (1999)

3.7.2 Capacity Curve

Membuat *capacity curve* dapat digunakan parameter dari HAZUS chapter 5 *Direct Physical Damage – General Building Stock* halaman 31 – 33 dengan tabel *code building capacity curve* yang terdiri dari tiga macam tabel, yaitu *high code seismic design level*, *moderate code seismic design level*, dan *low code seismic design level*. Penggunaannya sesuai dengan tipe resiko bangunan yang ditinjau.

3.7.3 Fragility curve

Membuat *fragility curve*, menggunakan parameter dari HAZUS yakni dijelaskan pada tabel *structural fragility curve parameter* pada chapter 5 *Direct Physical Damage – General Building Stock* halaman 41 - 42. Sama seperti dengan *code building capacity curve*, *structural fragility curve parameters* terbagi

menjadi tiga macam tabel. Tabel tersebut antara lain *high code seismic design level*, *moderate code seismic design level*, dan *low code seismic design level*. Tabel tersebut digunakan sesuai bangunan yang ditinjau.

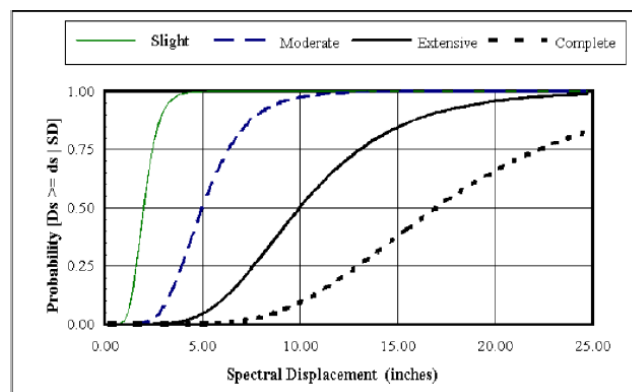
Dari tabel *fragility curve* dapat dihitung probabilitas kejadian (*probability of being in or exceeding a damage state*) dengan persamaan berikut :

$$P[ds|Sd] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{Sd}{\bar{Sd}, ds} \right) \right] \quad (3.23)$$

Keterangan :

- $P[ds|Sd]$ = Peluang kemungkinan mengalami kejadian kerusakan
 Sd = Perpindahan Spektral (*inches*),
 \bar{Sd}, ds = Nilai median dari perpindahan spektral, pada saat bangunan mencapai kondisi batas kerusakan,
 β_{ds} = Nilai standard deviasi logaritma natural dari perpindahan spektral untuk status kerusakan,
 Φ = Nilai fungsi standard kumulatif distribusi normal

Dari menghitung nilai *probability of being in or exceeding a damage state* maka dapat didapatkan nilai *cumulative probability* yang kemudian dapat digunakan untuk membuat *fragility curve* (kurva kerentanan). Untuk contoh *fragility curve* dari HAZUS, dapat dilihat pada Gambar 3.12

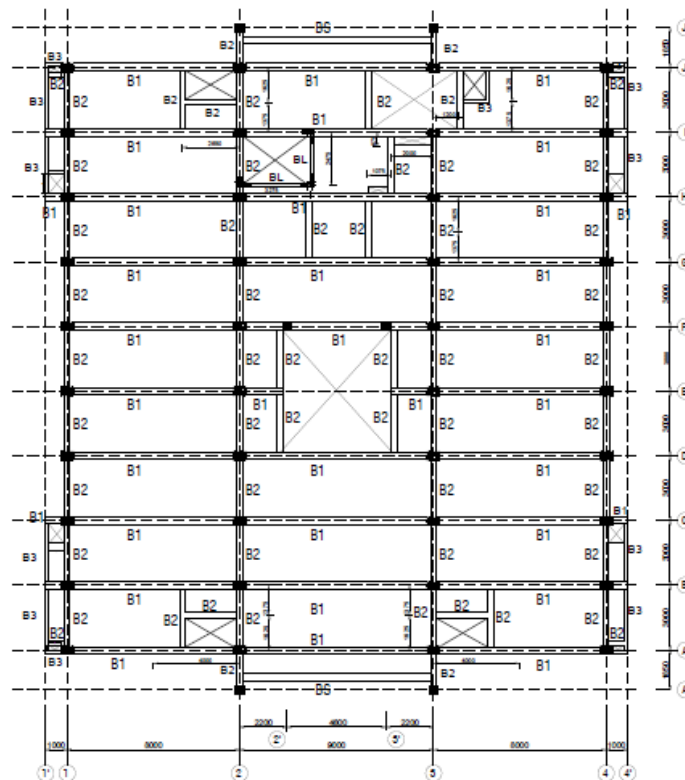


Gambar 3.12 Fragility Curve
 (Sumber : HAZUS, 1999)

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Obyek Penelitian

Obyek penelitian ini adalah gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia yang berlokasi di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang km 14,5 Sleman, Yogyakarta. Gedung tersebut memiliki 4 lantai tipikal. Tinggi total bangunan dari dasar bangunan sampai ke atap adalah sebesar 21,9 meter. Denah bangunan disajikan pada Gambar 4.1



**Gambar 4.1 Denah Tipikal Gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran
Universitas Islam Indonesia**

(Sumber : Data As Built Drawing, 2013)

4.2 Pengambilan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data *As Built Drawing*. Data tersebut diperoleh dari Pengelola Fasilitas Kampus (PFK) Badan Wakaf UII. Data yang diperoleh dari *As Built Drawing* adalah sebagai berikut ini.

1. Mutu beton
 - a. f'_c = 20 Mpa
 - b. berat jenis beton = 2,4 ton/m³
 - c. modulus elastisitas beton (E_c) = $4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 21019,0389$ Mpa
2. Mutu baja tulangan
 - a. Baja tulangan dengan diameter ≥ 10 mm dipakai jenis baja tulangan berulir dengan kekuatan leleh sebesar 400 Mpa.
 - b. Baja tulangan dengan diameter < 10 mm dipakai jenis baja tulangan polos dengan kekuatan leleh sebesar 240 Mpa.
3. Dimensi elemen struktur
 - a. Kolom
Dimensi dan tipe kolom dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Tipe dan Dimensi Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1	K1	400x600
2	K1U	400x600
3	K2	400x600
4	K3	400x400
5	K4	400x200
6	K5	400x400
7	K6	200x200
8	KP	150x150
9	KM	200x350

Sumber : Data *As Built Drawing* (2013)

- b. Sloof dan Balok
Dimensi dan tipe sloof, balok dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut

Tabel 4.2 Tipe dan Dimensi Sloof, Balok

No	Tipe Sloof, Balok	Dimensi (mm)
1	S1	350x500
2	S2	250x350
3	S3	150x200
4	S4	150x250
5	B1	350x700
6	B2	250x350

Lanjutan Tabel 4.2 Tipe dan Dimensi Sloof, Balok

7	B2A	150x250
8	B2B	250x700
9	B2C	250x350
10	B3	150x200
11	B4	150x400
12	B5	150x450
13	BM1	350x700
14	BM2	250x700
15	BM3	350x700
16	BM4	350x700
17	BM5	150x700

Sumber : Data As *Built Drawing* (2013)

c. Pelat

Dimensi dan tipe pelat dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut

Tabel 4.3 Tipe dan Dimensi Pelat

No	Tipe Pelat	Tebal (mm)
1	P1	120
2	P2	120
3	P3	120
4	P4	100
5	P5	120
6	P6	100

Sumber : Data As *Built Drawing* (2013)

4.3 Program atau *Software* yang Digunakan

Pada penelitian ini bantuan beberapa *software* sangat dibutuhkan, untuk mempermudah menyelesaikan masalah. *Software* yang digunakan adalah sebagai berikut ini.

1. ETABS 9.6, Program ini berfungsi sebagai alat pemodelan struktur bangunan dan analisis struktur.
2. *Microsoft Excel 2010*, Program ini digunakan dalam menghitung dan menganalisis data hasil *output* dari program ETABS 9.6.
3. Autocad 2014, Program ini digunakan untuk menggambar denah bangunan, tampak gedung tersebut.

4.4 Tahapan Tugas Akhir

Tahapan pengerjaan dalam tugas akhir adalah sebagai berikut ini.

1. Studi literatur

Pada studi literatur bersumber dari tugas akhir, *journal*, dan buku – buku yang ada kaitannya dengan analisis *pushover* statik nonlinier dan analisis kerentanan dengan metode *HAZUS*. Acuan yang digunakan dalam studi literatur di tugas akhir ini adalah SNI 1726-2012 untuk bangunan tahan gempa, SNI 1727-2013 untuk pembebanan yang digunakan, *Applied Technology Council for Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings* (ATC-40), *Federal Emergency Management Agency for Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings* (FEMA-356), *HAZUS Book 1999 Chapter 5 and Chapter 6*.

2. Pengumpulan data

Pada tugas akhir ini data yang didapat berupa data struktur dan arsitek sesuai *As Built Drawing* dari Gedung tersebut.

3. Perhitungan pembebanan

Dalam perhitungan pembebanan terdiri atas berikut ini.

a. Beban gravitasi (beban mati dan beban hidup)

Dalam perhitungannya sendiri sudah dijelaskan pada bab landasan teori sub sub bab 3.3.1 dan 3.3.2

b. Beban gempa

Dalam perhitungan beban gempa telah dijelaskan pada bab landasan teori sub sub bab 3.3.3

4. Pemodelan 3D

Pemodelan 3D dibuat dengan program ETABS 9.6. Bagian struktur atap dibuat terpisah namun tetap dalam bentuk 3D.

a. Pelat

Pelat yang digunakan dalam pemodelan pelat lantai dan atap adalah bertipe *shell*.

b. Balok

Balok dimodelkan sebagai elemen *frame*.

c. Kolom

Kolom dimodelkan sebagai elemen *frame*.

d. Pondasi

Pondasi dimodelkan dengan elemen *constrain* berbentuk jepit.

5. Input pembebanan

Setelah melakukan pemodelan 3D langkah selanjutnya adalah input pembebanan. Masukkan beban mati, hidup, dan beban gempa yang telah dihitung pada pemodelan struktur.

6. *Running analysis*

Running analysis dengan *analysis case dead, live, modal, Eqx, Eyy, Rxx, dan Ryy*.

7. Cek syarat bahwa V dinamik $\leq 0,85 V$ statik.

8. Analisis struktur dengan metode *pushover*

Dilakukan dengan memberikan beban dorong pada setiap pusat massa lantai dan ditingkatkan secara berkala hingga tercapai target perpindahan pada atap gedung. Hasil dari metode *pushover* ini berupa kurva kapasitas gedung yang telah dianalisis.

9. Penentuan letak sendi plastis

Sendi plastis diharapkan terjadi pada struktur balok dan kolom utama. Untuk balok dikenakan beban momen arah sumbu lokal 3 (M3), sedangkan pada kolom dikenakan beban gaya aksial (P), momen (M) sumbu lokal 2 (M2) dan sumbu lokal 3 (M3).

10. Menentukan *performance point*

langkah-langkah menentukan *performance point* berdasarkan prosedur B ATC-40 sudah di *built-in* secara otomatis oleh program ETABS 9.6.

11. Pembahasan hasil analisis *pushover*

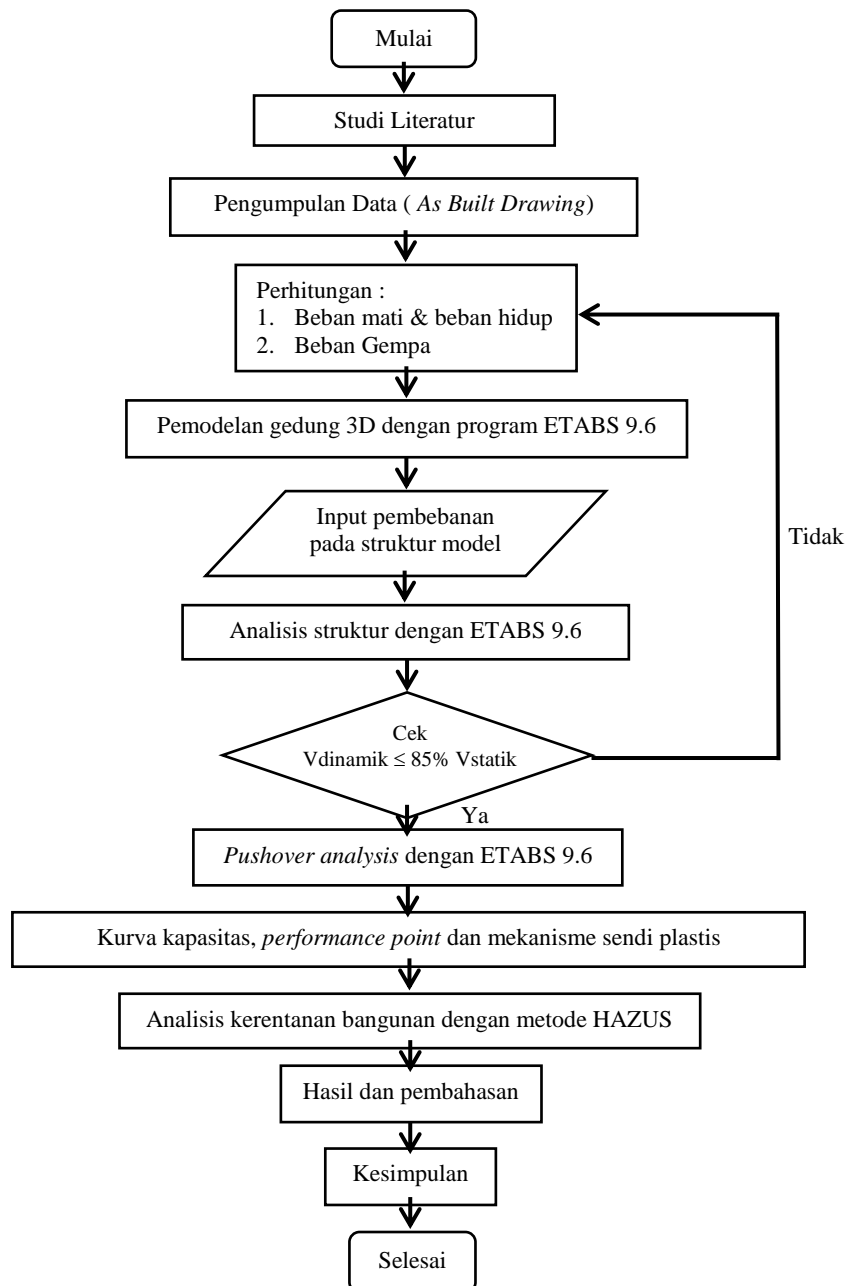
Dari hasil *performance point* dapat diketahui kriteria kinerja struktur berdasarkan ATC-40.

12. Menganalisis tingkat kerentanan dengan metode *HAZUS*.

13. Membuat kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan.

4.5 Bagan Alir Penelitian

Skema proses pelaksanaan penelitian secara garis besar tergambar dalam bagan alir Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Bagan Alir Peneliti

Tabel 4.4 *Time Schedule Penyelesaian Tugas Akhir*

Bulan		1				2				3				4				5				6				
Minggu ke-	Kegiatan	Jam Kerja																								
No	Persiapan	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Pengumpulan Materi dan Jurnal	4	2	2																						
2	Studi Literatur	4			2	2																				
Pengumpulan Data																										
1	Mencari Lokasi Gedung	6			2	2	2																			
2	Pengambilan Foto Gedung	2						1	1																	
3	Pengambilan Data <i>As Built Drawing</i>	2						1	1																	
Analisis Beban Gempa Statik Ekuivalen																										
1	Perhitungan Respon Spektrum	7						3.5	2	1																
2	Perhitungan Beban Gempa	12						4	4	4																
Analisis Pushover																										
1	Pemodelan dan Input Beban Secara Nonlinier	6									2	2	2													
2	Analisis menggunakan ETABS 9.6	20											5	5	10											
3	Skema Distribusi Sendi Plastis	7													3.5	3.5										
Analisis HAZUS																										
1	Analisis kerentanan	3															1.5	1.5								
Pembahasan Analisis																										
1	Pembacaan Kurva Kapasitas	3															1.5	2								
2	Menentukan Performance Point	5															2	2	1							
3	Pembahasan Analisis <i>Pushover</i>	9															3	2	1	3						
4	Pembahasan Skema Distribusi Sendi Plastis	10															2	2	2	2	2					
5	Pembahasan tentang Analisis Kurva Kerentanan	10																		5	5					
Penyusunan Laporan																										
1	Laporan Sementara	4																				2	2			
2	Laporan Akhir	18																				2	2	5	6	3
Jumlah Jam		132	2	2	2	4	2	4	9.5	6	5	2	2	7	5	13.5	5	10	8	4	10	11	4	5	6	3
Jumlah Jam Kumulatif			2	4	6	10	12	16	25.5	31.5	36.5	38.5	40.5	47.5	52.5	66	71	81	89	93	103	114	118	123	129	132

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Z., Suyadi., dan Sebayang, S. 2015. Analisis Struktur Gedung POP Hotel Terhadap Beban Gempa Dengan Metode *Pushover Analysis*. JRSDD, Edisi September 2015, Vol 3, No 3, Hal 427-440. Lampung.
- ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I*. California. Seismic Safety Commission State of California.
- BSN. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 1726-2012. Penerbit Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- BSN. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain*, SNI 1727-2013. Penerbit Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- DPU. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*, SKBI – 1.3.53.1987 Penerbit Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Faraodi, R. 2017. Studi Kerentanan Bangunan Gedung Beton Bertulang Akibat Gempa dengan Analisis *Pushover* dan *HAZUS*. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- FEMA-356. 2000. *Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*. Virginia American Society of Civil Engineers.
- FEMA. 2003. *HAZUS-MH MR4 Technical Manual*. Washington, DC, U.S.A.
- Ikramullah, 2017. Evaluasi Kinerja Seismik Laboratorium Seni Musik dan Tari Universitas Negeri Yogyakarta dengan Analisis *Pushover* Metode *Capacity Spectrum*. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Jamal, A.U. 2011. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Kuliah Umum Dr Sardjito. Tesis. (Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Muntafi, Y. 2012. Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri dengan Analisis *Pushover*. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS. 2012*. Surakarta.
- Prawirodikromo, W. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Satyarno, I., Nawangalam, P., dan Pratomo, I. 2012. *Belajar SAP 2000 Seri 2*. Zamil Publisihing. Yogyakarta.

Tavio dan Wijaya U. 2018. *Desaian Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Andi Offset. Yogyakarta.