

**EVALUASI KINERJA SEISMIK STRUKTUR GEDUNG DENGAN
ANALISIS *PUSHOVER* SISTEM KONVENSIONAL DAN SISTEM
*PRECAST***

(Skripsi)

Oleh

FEBRIYAN DWI WISENA

NPM 1815011061



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**EVALUASI KINERJA SEISMIC STRUKTUR GEDUNG DENGAN
ANALISIS *PUSHOVER* SISTEM KONVENSIIONAL DAN SISTEM
*PRECAST***

**Oleh
FEBRIYAN DWI WISENA**

Skripsi

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

Pada

**Program Studi S1 Teknik Sipil
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

EVALUATION OF SEISMIC PERFORMANCE OF BUILDING STRUCTURES USING CONVENTIONAL AND PRECAST SYSTEM PUSHOVER ANALYSIS

By

FEBRIYAN DWI WISENA

The construction of multi-storey buildings can be done by making structures in the field (conventional system) or by fabricating structural elements and assembling them in the field (precast system). The two methods have different structural behavior against earthquake loads.

This research takes a case study at the Flats of the University of Lampung. In actual conditions it is designed using conventional methods, but the author wants to analyze how the behavior of the building structure when an earthquake occurs if the precast method is applied with the bolted-connection and coupler method. The performance evaluation is carried out by static nonlinear pushover analysis which refers to ATC-40 and FEMA.

This study aims to determine the performance of the building based on the mechanism of plastic hinge formation in the beam column and the relationship between base shear and displacement on the pushover curve and seismic demand curve. The results of the analysis show that the conventional system building structure has a smaller displacement and greater base shear capability than the precast system building structure. The destruction of the conventional system building structure occurs at the 25th step with a displacement value of 83.3290 mm and a base force value of 16901.1096 kN, while the precast system occurs at the 13th step with a displacement value of 113.4920 mm and a base value of force of 9281.8481 kN. Thus the systemic performance of the conventional building system is better than the precast system. Based on these results it also shows that the building structure is included in the Immediate Occupancy performance level and has met the criteria for the strong column weak beam design concept marked by the appearance of the first plastic hinge on the beam section, so that the building is safe against the planned earthquake.

Key words: pushover analysis, spectrum capacity, conventional, precast.

ABSTRAK

EVALUASI KINERJA SEISMIK STRUKTUR GEDUNG DENGAN ANALISIS *PUSHOVER* SISTEM KONVENSIONAL DAN SISTEM *PRECAST*

Oleh

FEBRIYAN DWI WISENA

Pembangunan gedung bertingkat dapat dilakukan dengan cara membuat struktur di lapangan (sistem konvensional) atau sistem pabrikasi elemen struktur dan dirangkai di lapangan (sistem *precast*). Kedua cara tersebut memiliki perilaku struktur yang berbeda terhadap beban gempa.

Penelitian ini mengambil studi kasus pada Rumah Susun Universitas Lampung. Pada kondisi sebenarnya dirancang menggunakan metode konvensional, namun penulis ingin menganalisis bagaimana perilaku struktur gedung ketika terjadi gempa jika diterapkan metode *precast* dengan metode penyambungan *bolted-connection* dan *coupler*. Pada evaluasi kinerja dilakukan dengan analisis *static nonlinier pushover* yang mengacu pada ATC-40 dan FEMA.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja gedung berdasarkan mekanisme terbentuknya sendi plastis pada balok kolom serta hubungan *base shear* dengan *displacement* pada kurva *pushover* dan kurva *seismic demand*. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur gedung sistem konvensional memiliki *displacement* lebih kecil dan kemampuan *base shear* lebih besar dibandingkan struktur gedung sistem *precast*. Kehancuran struktur gedung sistem konvensional terjadi pada *step* ke-25 dengan nilai *displacement* sebesar 83,3290 mm dan nilai *base force* sebesar 16901,1096 kN, sedangkan pada sistem *precast* terjadi pada *step* ke-13 dengan nilai *displacement* sebesar 113,4920 mm dan nilai *base force* sebesar 9281,8481 kN. Dengan demikian kinerja sismik gedung sistem konvensional lebih baik dibandingkan sistem *precast*. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan juga bahwa struktur gedung termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* dan telah memenuhi kriteria konsep desain *strong column weak beam* ditandai dengan munculnya sendi plastis pertama pada bagian balok, sehingga gedung aman terhadap gempa rencana.

Kata kunci: analisis *pushover*, kapasitas spektrum, konvensional, pracetak.

Judul Skripsi : **EVALUASI KINERJA SEISMIC STRUKTUR GEDUNG DENGAN ANALISIS *PUSHOVER* SISTEM KONVENSIONAL DAN SISTEM *PRECAST***

Nama Mahasiswa : **Febriyan Dwi Wisena**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011061

Jurusan : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik



Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.
NIP 19700430 199703 1 003

Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.
NIP 19720308 199802 1 004

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil

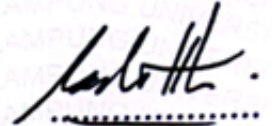
Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.**



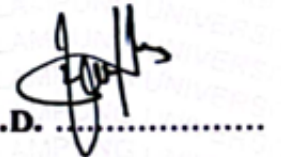
Sekretaris

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



Penguji

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



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **24 Maret 2023**

SURAT PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : FEBRIYAN DWI WISENA
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011061
Judul Skripsi : Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Gedung dengan Analisis *Pushover* Sistem Konvensional dan Sistem *Precast*
Jurusan : Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti Kaidah Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 24 Maret 2023

Penulis



FEBRIYAN DWI WISENA
NPM 1815011061

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sekampung pada tanggal 26 Februari 2000, merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Adi Sucipto dan Ibu Suprapti. Penulis memiliki satu orang saudara, yaitu kakak perempuan yang bernama Isnι Resita. Penulis memulai jenjang pendidikan tingkat dasar di SD N 2 Sukadana Baru yang diselesaikan pada tahun 2012, lalu dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMP N 2 Sekampung yang diselesaikan pada tahun 2015, dan dilanjutkan menempuh pendidikan tingkat atas di SMA N 1 Sekampung.

Penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2018. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Penelitian dan Pengembangan Periode 2019-2020, kemudian pada periode 2020-2022 penulis menjadi kepala Departemen Penelitian dan Pengembangan Periode 2020-2022.

Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode I di Desa Tanjung Harapan, Kecamatan Margatiga, Lampung Timur selama 40 hari, Februari-Maret 2021. Di tahun yang sama, penulis juga telah melakukan kerja praktik di Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Bersama Fakultas Teknik Universitas Lampung, Bandar Lampung selama 3 bulan. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul “Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Gedung dengan Analisis *Pushover* Sistem Konvensional dan Sistem *Precast*”.

PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan teruntuk orang tuaku tercinta,
keluarga, pacar, sahabat, dan teman.

&

Semua pihak yang selalu memberi semangat dan motivasi

MOTTO

“Sesudah kesulitan pasti ada kemudahan..”

(QS. Al Insyirah: 6)

*“If A is a success in life, then A equals x plus y plus z. Work is x;
y is play; and z is keeping your mouth shut”*

*“If you can't explain it simply, you don't
understand it well enough”*

(Albert Einstein)

“Dalam hidup ini saya memiliki mental seperti orang
yang bermain sepeda, bila saya tidak mengayuh
sepeda maka saya akan jatuh, jika saya berhenti
bekerja maka saya mati”

(BJ Habibie)

*“If you only knew the magnificence of the 3, 6 and 9,
then you would have a key to the universe”*

(Nikola Tesla)

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah senantiasa memberikan rahmat dan anugerah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Gedung dengan Analisis *Pushover* Sistem Konvensional dan Sistem *Precast*”**. dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:


1. Allah SWT yang selalu memberikan petunjuk, kekuatan, kesabaran, dan pertolongan yang tiada henti, serta senantiasa memberikan berkah ilmu kepada setiap hamba-Nya.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Lampung.
5. Bapak Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, ide-ide, dan saran serta kritik dalam proses penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil., selaku Dosen Pembimbing Kedua atas kesediannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, ide-ide, dan saran serta kritik dalam proses penyusunan skripsi ini.
7. Ibu Ir. Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan arahan kepada penulis guna penyempurnaan skripsi ini.

8. Ibu Hasti Riakara Husni, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membantu penulis selama perkuliahan.
9. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis, serta seluruh karyawan jurusan atas bantuannya kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
10. Kedua orang tua tercinta, Bapak Adi Sucipto dan Ibu Suprapti yang telah dengan tulus, penuh kasih sayang, dan kesabaran dalam memberikan dorongan, dukungan, nasihat serta doa yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan segala proses perkuliahan.
11. Kakak tersayang Isnii Resita yang selalu menemani, mengingatkan, menghibur dan memberi dukungan untuk penulis.
12. Indana Zulva yang selalu sabar, perhatian, dan selalu menemani penulis dalam memecahkan persoalan
13. *Motherkis Group* (Eko, Lucky, Frendi, Sinung, Bagus, Firas, Agoy, dan Wirawan) yang selalu membantu dan menemani berbagi suka dan duka.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, namun penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan, khususnya bagi penulis pribadi.

Bandar Lampung, 24 Maret 2023

Penulis,



Febriyan Dwi Wisena

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR NOTASI	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	5
1.4. Tujuan Penulisan.....	5
1.5. Manfaat Penelitian	6
1.5.1. Bagi Mahasiswa	6
1.5.2. Bagi Universitas.....	6
1.6. Sistematika Penulisan	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Konsep Dasar Mekanisme Gempa Bumi	8
2.2. Ketentuan Umum Bangunan Gedung Tahan Gempa.....	10
2.2.1. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	10
2.2.2. Klasifikasi Situs	12
2.2.3. Wilayah Gempa	13
2.2.4. Koefisien Situs	14
2.2.5. Parameter Percepatan Spektral Desain	15
2.2.6. Spektrum Respons Desain	16
2.2.7. Kategori Desain Seismik.....	16
2.3. Pembebanan	17
2.3.1. Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	17
2.3.2. Beban Mati Tambahan (<i>Super Dead Load</i>)	17
2.3.3. Beban Hidup (<i>Live Load</i>).....	18
2.3.4. Beban Gempa (<i>Earthquake Load</i>)	18
2.3.5. Kombinasi Pembebanan.....	18
2.4. Kontrol Dinamis Struktur	20
2.4.1. Periode Fundamental Gedung.....	21
2.4.2. Gaya Geser Dasar Seismik.....	21
2.4.3. Distribusi Vertikal Gaya Seismik	23
2.5. Beton <i>Precast</i>	23
2.5.1. Sambungan pada Beton <i>Precast</i>	24

2.6. Beton Konvensional	25
2.7. Daktilitas	27
2.8. Analisis <i>Pushover</i>	27
2.9. Sendi Plastis	29
2.9.1. <i>Hinge Properties</i> Balok	29
2.9.2. <i>Hinge Properties</i> Kolom.....	30
2.9.3. Penentuan Letak Sendi Plastis	30
2.10. Metode <i>Capacity Spectrum</i>	31
2.10.1. Kurva Kapasitas.....	31
2.10.2. <i>Demand Spectrum</i>	33
2.10.3. <i>Performance Point</i>	36
2.11. Kriteria Struktur Tahan Gempa.....	37
III. METODE PENELITIAN	40
3.1. Pendekatan Penelitian	40
3.2. Lokasi Penelitian.....	40
3.3. Data Struktur Gedung	41
3.3.1. Luas Bangunan.....	43
3.3.2. Elevasi Bangunan.....	44
3.3.3. Balok	44
3.3.4. Kolom	45
3.3.5. Pelat.....	45
3.3.6. Dinding Geser	46
3.3.7. Data Tanah	46
3.4. Tahapan Analisis.....	48
3.4.1. Studi Literatur	48
3.4.2. Pengumpulan Data	48
3.4.3. Pemodelan 3D.....	49
3.4.3.1. Pemodelan Balok Konvensional dan Balok <i>Precast</i>	49
3.4.3.2. Pemodelan Kolom Konvensional dan Kolom <i>Precast</i> ...	50
3.4.3.2. Pemodelan Pelat Konvensional dan Pelat <i>Precast</i>	50
3.4.3.2. Pemodelan Dinding Geser Konvensional dan Dinding Geser <i>Precast</i>	50
3.4.3.5. Pemodelan Struktur Lain.....	51
3.4.4. Perhitungan Pembebanan.....	51
3.4.5. Analisis Respons Spektrum	52
3.4.6. Perhitungan Beban Gempa	53
3.4.7. Penentuan Sendi Plastis	55
3.4.8. Analisis Pembebanan <i>Nonlinier Pushover</i>	55
3.4.9. Analisis Kinerja Struktur dari Hasil Analisis <i>Pushover</i>	56
3.4.10. Perencanaan Sambungan Beton <i>Precast</i>	56
3.4.10.1. Perencanaan Konsol Pendek	57
3.4.10.2. Sambungan <i>Base Plate</i> – Kolom / Kolom – Kolom	57
3.4.10.3. Sambungan Balok – Kolom.....	58
3.4.10.4. Sambungan Balok Induk – Balok Anak	59
3.4.10.5. Sambungan Balok – Pelat Lantai	60
3.4.11. Pembahasan Hasil Analisis <i>Pushover</i> dari Program ETABS ...	61
3.5. Diagram Alir Penelitian	62

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	65
4.1. Data Struktur Gedung	65
4.1.1. Spesifikasi Material	65
4.1.2. Spesifikasi Elemen Struktur.....	66
4.2. Pemodelan Struktur Gedung	69
4.3. Pembebanan Struktur	69
4.3.1. Beban Mati.....	69
4.3.2. Beban Hidup	70
4.3.3. Beban Gempa.....	70
4.4. Kombinasi Pembebanan.....	75
4.5. Analisis Statik Ekuivalen	76
4.5.1. Perhitungan Periode Getar Pada Wilayah Gempa 2	76
4.5.2. Perhitungan Gaya Geser Nominal	77
4.5.3. Distribusi Beban Gempa Statik Ekuivalen	79
4.6. Hasil Analisis <i>Pushover</i>	79
4.6.1. Kurva Kapasitas	79
4.6.2. Kurva Kapasitas Spektrum	81
4.7. Perhitungan <i>Performance Point</i> Menurut ATC-40 Pada Sistem Konvensional	83
4.7.1. Perhitungan Kurva Kapasitas Menjadi Kurva Spektrum.....	83
4.7.1.1. Faktor α_1 dan PF_1	83
4.7.1.2. Merubah Kapasitas Kurva Menjadi Kapasitas Spektrum.....	84
4.7.2. Perhitungan <i>Demand Spectrum</i>	85
4.7.3. Menentukan Nilai d_y dan a_y	87
4.7.4. Persamaan Garis Linier Pada Kurva Kapasitas	88
4.7.5. Perhitungan <i>Demand Spectrum</i> Baru.....	89
4.7.6. <i>Performance Level</i>	91
4.8. Perhitungan <i>Performance Point</i> Menurut ATC-40 Pada Sistem <i>Precast</i>	92
4.8.1. Perhitungan Kurva Kapasitas Menjadi Kurva Spektrum.....	92
4.8.1.1. Faktor α_1 dan PF_1	92
4.8.1.2. Merubah Kapasitas Kurva Menjadi Kapasitas Spektrum.....	93
4.8.2. Perhitungan <i>Demand Spectrum</i>	94
4.8.3. Menentukan Nilai d_y dan a_y	96
4.8.4. Persamaan Garis Linier Pada Kurva Kapasitas	97
4.8.5. Perhitungan <i>Demand Spectrum</i> Baru.....	98
4.8.6. <i>Performance Level</i>	100
4.9. Skema Distribusi Sendi Plastis Pada Sistem Konvensional	101
4.10. Skema Distribusi Sendi Plastis Pada Sistem <i>Precast</i>	104
4.11. Perbandingan Gaya Dalam Sistem Konvensional dan Sistem <i>Precast</i>	109
4.11.1. Gaya Normal.....	109
4.11.2. Gaya Lintang.....	111
4.11.3. Gaya Momen.....	112
4.11.4. Rekapitulasi Gaya Dalam Pada Setiap As Gedung.....	114
4.12. Perencanaan Sambungan Pada Sistem <i>Precast</i>	115

4.12.1. Perencanaan Konsol Pendek	115
4.12.2. Perencanaan Sambungan Balok - Kolom	119
4.12.3. Perencanaan <i>Double – Sided Connections</i> Balok - Balok	122
4.12.4. Perencanaan Sambungan Balok Induk – Balok Anak	124
4.12.5. Perencanaan Sambungan Pelat Lantai – Balok.....	127
4.12.6. Perencanaan Sambungan Kolom – Kolom	130
V. SIMPULAN DAN SARAN	133
5.1. Simpulan	133
5.2. Saran	134
DAFTAR PUSTAKA	135
LAMPIRAN A (Langkah – langkah Pemodelan Struktur Gedung)	
LAMPIRAN B (<i>Output</i> ETABS V19)	
LAMPIRAN C (<i>As Built Drawing</i> Rumah Susun Universitas Lampung)	
LAMPIRAN D (Produk <i>Piekko Group</i>)	
LAMPIRAN E (Perhitungan Pondasi)	
LAMPIRAN F (Lembar Asistensi)	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerusakan gempa Banten tahun 2022.....	2
2. Skema pergerakan permukaan tanah.....	8
3. Skema pergeseran antarpelat tektonik.....	9
4. Parameter spektral percepatan gempa untuk periode 1 detik (S_I).....	13
5. Parameter spektral percepatan gempa untuk periode pendek 0,2 detik (S_s)..	14
6. Spektrum respons desain.....	16
7. Posisi sumbu lokal balok struktur	29
8. Posisi sumbu lokal kolom struktur.....	30
9. Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom.....	31
10. <i>Capacity curve</i>	32
11. Modifikasi <i>capacity curve</i> menjadi <i>capacity spectrum</i>	33
12. Perubahan format respons percepatan menjadi ADRS	34
13. Reduksi <i>response spectrum elastic</i> menjadi <i>demand spectrum</i>	34
14. Penentuan <i>performance point</i>	36
15. Kurva kriteria kinerja	38
16. Ilustrasi keruntuhan gedung	38
17. Lokasi Penelitian.....	40
18. <i>Site plan</i>	41
19. Tampak depan gedung	42
20. Tampak belakang gedung	42
21. Tampak samping kanan dan kiri	43
22. Detail penulangan dinding geser.....	46
23. Parameter geometri konsol pendek.....	57
24. Gaya aksial dan gaya geser kolom.....	58
25. <i>Single sided connection</i> pada sambungan balok – kolom.....	58
26. <i>Double sided connection</i> pada sambungan balok – kolom.....	59

27. Sambungan balok induk dengan balok anak.....	60
28. Sambungan balok induk dengan pelat.....	61
29. Diagram alir penelitian analisis <i>pushover</i>	64
30. Spesifikasi penulangan pada dinding geser.....	68
31. Pemodelan struktur gedung.....	69
32. Kurva respon spektrum.....	73
33. Kurva kapasitas pada sistem konvensional dan sistem <i>precast</i>	80
34. Kurva kapasitas spektrum pada sistem konvensional.....	81
35. Kurva kapasitas spektrum pada sistem <i>precast</i>	81
36. <i>Capacity spectrum curve</i> pada sistem konvensional.....	85
37. <i>Demand spectrum curve</i> pada sistem konvensional.....	87
38. Penggabungan <i>Capacity spectrum curve</i> dengan <i>Demand spectrum curve</i> pada sistem konvensional.....	87
39. Penarikan garis bantu untuk menentukan nilai d_y dan a_y pada sistem konvensional.....	88
40. <i>Capacity spectrum curve</i> pada sistem <i>precast</i>	94
41. <i>Demand spectrum curve</i> pada sistem <i>precast</i>	96
42. Penggabungan <i>Capacity spectrum curve</i> dengan <i>Demand spectrum curve</i> pada sistem <i>precast</i>	96
43. Penarikan garis bantu untuk menentukan nilai d_y dan a_y pada sistem <i>precast</i>	97
44. Gambar portal As – 5 sendi plastis <i>step 0</i> sistem konvensional.....	101
45. Gambar 3D sendi plastis <i>step 0</i> sistem konvensional.....	101
46. Gambar portal As – 5 sendi plastis <i>step 1</i> sistem konvensional.....	102
47. Gambar 3D sendi plastis <i>step 1</i> sistem konvensional.....	102
48. Gambar portal As – 5 sendi plastis <i>step 15</i> sistem konvensional.....	103
49. Gambar 3D sendi plastis <i>step 15</i> sistem konvensional.....	103
50. Gambar portal As – 5 sendi plastis <i>step 25</i> sistem konvensional.....	104
51. Gambar 3D sendi plastis <i>step 25</i> sistem konvensional.....	104
52. Gambar portal As – 6 sendi plastis <i>step 0</i> sistem <i>precast</i>	105
53. Gambar 3D sendi plastis <i>step 0</i> sistem <i>precast</i>	105
54. Gambar portal As – 6 sendi plastis <i>step 1</i> sistem <i>precast</i>	106
55. Gambar 3D sendi plastis <i>step 1</i> sistem <i>precast</i>	106
56. Gambar portal As – 6 sendi plastis <i>step 3</i> sistem <i>precast</i>	107

57. Gambar 3D sendi plastis <i>step</i> 3 sistem <i>precast</i>	107
58. Gambar portal As – 6 sendi plastis <i>step</i> 13 sistem <i>precast</i>	108
59. Gambar 3D sendi plastis <i>step</i> 13 sistem <i>precast</i>	108
60. Potongan konsol pendek tampak samping	118
61. Potongan konsol pendek tampak atas	118
62. Gaya aksial maksimum (N_{Rd}) profil	121
63. Detail sambungan pada balok G2.1 - kolom K1	122
64. Detail sambungan pada balok G2.1 - kolom K1 – balok G2.1	124
65. Detail sambungan pada balok B3.1 – balok G1.1	127
66. Detail sambungan pelat lantai – balok	130
67. Nilai desain tahanan tarik atau tekan pada kolom.....	131
68. Detail sambungan kolom K1 – kolom K1	132

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa	10
2. Faktor keutamaan gempa	12
3. Klasifikasi situs	12
4. Koefisien situs, F_a	15
5. Koefisien situs, F_v	15
6. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	17
7. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik	17
8. Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x	21
9. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	21
10. Perbedaan metode penyambungan beton <i>precast</i>	25
11. Perbandingan beton konvensional dengan <i>precast</i>	26
12. <i>Values for damping modification factor, K</i>	35
13. <i>Minimum allowable SR_A and SR_V values</i>	36
14. <i>Deformation limits</i>	39
15. <i>Structural behavior types</i>	39
16. Data elevasi bangunan	44
17. Data penulangan balok beton	44
18. Data penulangan kolom beton	45
19. Data penulangan pelat beton	45
20. Nilai N-SPT pada BH-01	47
21. Dimensi desain minimum dari muka tumpuan ke ujung komponen pracetak	59
22. Spesifikasi mutu beton	65
23. Spesifikasi penulangan lentur dan geser pada balok	66
24. Spesifikasi penulangan torsi pada balok	67

25. Spesifikasi penulangan pada kolom	67
26. Spesifikasi penulangan pada pelat	68
27. Parameter percepatan desain respon spektral.....	73
28. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik.....	74
29. Nilai koefisien respon seismik	78
30. Massa dan berat bangunan	78
31. Distribusi beban lateral tiap lantai.....	79
32. Nilai <i>performance point</i> pada sistem konvensional.....	82
33. Nilai <i>performance point</i> pada sistem <i>precast</i>	82
34. Nilai <i>displacement</i> tiap lantai pada sistem konvensional.....	83
35. Faktor α_1 dan PF_1 pada sistem konvensional	83
36. Perhitungan kurva kapasitas dalam format ADRS pada sistem konvensional	84
37. Nilai <i>demand spectrum curve</i> pada sistem konvensional	86
38. Nilai <i>displacement</i> tiap lantai pada sistem <i>precast</i>	92
39. Faktor α_1 dan PF_1 pada sistem <i>precast</i>	92
40. Perhitungan kurva kapasitas dalam format ADRS pada sistem <i>precast</i>	93
41. Nilai <i>demand spectrum curve</i> pada sistem <i>precast</i>	95
42. Tingkat kerusakan struktur akibat terbentuknya sendi plastis	109
43. Perbandingan gaya normal pada As – 10.....	109
44. Perbandingan gaya normal pada As – 8.....	110
45. Perbandingan gaya normal pada As – 6.....	110
46. Perbandingan gaya lintang pada As – 10	111
47. Perbandingan gaya lintang pada As – 8	111
48. Perbandingan gaya lintang pada As – 6	112
49. Perbandingan gaya momen pada As – 10	112
50. Perbandingan gaya momen pada As – 8	113
51. Perbandingan gaya momen pada As – 6	113
52. Rekapitulasi selisih rata – rata gaya dalam pada setiap As gedung	114
53. Rekapitulasi perhitungan konsol pendek	118
54. Rekapitulasi perhitungan sambungan balok – kolom	122
55. Rekapitulasi perhitungan <i>double – sided connections</i> balok - balok	124
56. Rekapitulasi perhitungan sambungan balok induk – balok anak.....	127

57. Rekapitulasi perhitungan sambungan pelat lantai – balok.....	130
58. Rekapitulasi perhitungan sambungan kolom – kolom.....	132

DAFTAR NOTASI

C_s	= koefisien respons seismik
C_{vx}	= faktor distribusi vertikal
D	= pengaruh beban mati
E	= pengaruh beban seismik horizontal dan vertikal
E_h	= pengaruh gaya seismik horizontal
E_v	= pengaruh gaya seismik vertikal
h_n	= ketinggian struktur
h_i dan h_x	= tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)
I_e	= faktor keutamaan gempa
K	= faktor modifikasi redaman
k	= eksponen yang terkait dengan periode struktur
L	= pengaruh beban hidup
L_r	= pengaruh beban hidup di atap
PF_1	= <i>modal participation</i> untuk modal pertama
Q_E	= pengaruh gaya seismik horizontal
R	= beban air hujan
R	= koefisien modifikasi respons
S_a	= <i>spectral acceleration</i>
S_d	= <i>spectral displacement</i>
S_{DS}	= parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek
S_{D1}	= parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik
S_s	= parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek
S_l	= parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik
T	= periode fundamental struktur (detik)

V	= gaya geser dasar
W	= beban angin
W	= berat seismik efektif
w_i dan w_x	= bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x
w_i/g	= <i>mass assigned to level i</i>
a_y, d_y	= koordinat titik leleh efektif dari kurva kapasitas
a_{pi}, d_{pi}	= koordinat percobaan titik performa
α_1	= <i>modal mass coefficient</i> untuk modal pertama
β_{eff}	= rasio redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis (dalam %)
Δ_{roof}	= <i>roof displacement</i>
ρ	= faktor redundansi struktur
ϕ_{i1}	= <i>amplitude of first</i> untuk level i
$\phi_{roof,1}$	= <i>roof level amplitude of the first mode</i>

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang berada pada wilayah jalur gempa pasifik (*Circum Pasific Earthquake Belt*) dan jalur gempa asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*), sehingga sangat berpotensi mengalami gempa bumi (BMKG, 2017). Dalam konteksnya terhadap ruang lingkup kerja teknik sipil, kondisi tersebut berpengaruh besar dalam perencanaan desain struktur bangunan.

Desain struktur bangunan merupakan perencanaan bangunan yang melalui berbagai tahapan perhitungan dengan mempertimbangkan berbagai variabelnya, sehingga didapatkan produk yang berdaya guna sesuai fungsi kegunaannya. Suatu perencanaan struktur tidak hanya meninjau aspek struktural tetapi aspek ekonomi dan estetika juga turut menjadi pertimbangan (Azwar dkk., 2020).

Di awal tahun 2022 ini terjadi peristiwa gempa bumi berkekuatan magnitude 6,6 di Banten, dan termasuk ke dalam kelompok gempa kuat. Total tercatat 3078 rumah rusak dan 10 orang luka-luka akibat gempa tersebut. Dengan rincian, 395 unit rusak berat, 692 unit rusak sedang, dan 1991 unit rusak ringan. Selain itu, kerusakan juga tercatat pada fasilitas lainnya seperti 51 unit gedung sekolah, 17 unit fasilitas kesehatan, 8 unit kantor pemerintahan, 3 unit tempat usaha, dan 21 tempat ibadah (Miana, 2022).

Hal ini menegaskan bahwa pentingnya tinjauan beban gempa rencana dalam perencanaan desain struktur sebagai antisipasi apabila terjadi gempa, struktur bangunan mampu menerima gaya gempa pada level tertentu tanpa terjadi kerusakan yang signifikan pada strukturnya atau apabila struktur bangunan harus mengalami keruntuhan (disebabkan beban gempa melebihi

beban gempa rencana), mampu memberikan perilaku nonlinear pada kondisi *pasca-elastic*, sehingga tingkat keamanan bangunan terhadap gempa dan keselamatan jiwa penghuninya lebih terjamin. Kerusakan akibat gempa tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Kerusakan gempa Banten tahun 2022 (Sumber: HarianHaluan.com).

Dengan demikian melakukan re-evaluasi kinerja seismik terhadap struktur bangunan, merupakan hal urgen sebagai bagian langkah konkret dalam penanggulangan dampak dari bencana gempa. Potensi runtuhnya struktur akan membahayakan keselamatan dari penghuni atau pemakai struktur tersebut. Oleh karena itu para insinyur dituntut mendesain struktur dengan kemampuan tahan gempa. Desain gedung tahan gempa haruslah memperhatikan kriteria-kriteria dan pendetailan sesuai *code* yang berlaku.

Konsep terbaru untuk rekayasa gempa adalah *Performance Based Earthquake Engineering* (PBEE). PBEE terbagi menjadi dua, yaitu *Performance Based Seismic Design* (PBSD) dan *Performance Based Seismic Evaluation* (PBSE). Evaluasi pada PBSE salah satunya adalah dengan analisis non-linear *Pushover* (Saputra, 2018).

Pushover Analysis adalah suatu analisis non-linear statik, yang dalam analisisnya pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statik pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan sehingga menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan penigkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk *pasca-elastic* yang besar sampai mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastik (SNI 1726, 2019).

Perkembangan teknologi sangat membantu Teknik Sipil dalam perencanaan dan analisis terhadap kinerja suatu struktur bangunan. Tersedianya *software* seperti ETABS mampu menyederhanakan persoalan dalam bentuk pemodelan yang sebelumnya sangat kompleks apabila dikerjakan secara konvensional. Oleh sebab itu, penulis melakukan penelitian evaluasi kinerja *seismic* bangunan gedung dengan analisis *pushover* menggunakan bantuan *software* ETABS V19 yang kemudian mengkaji dan membahas output yang dihasilkan *software* tersebut.

Pada penelitian ini menggunakan data *As Built Drawing* dari Rumah Susun Universitas Lampung. Lokasi gedung tersebut berada di Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No. 1, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung.

Gedung ini dibangun dengan sistem beton konvensional pada tahun 2021, dan berjumlah 3 lantai. Ada beberapa aspek yang menjadi perhatian dalam sistem beton konvensional. Aspek tersebut antara lain waktu pelaksanaan yang lama dan kurang bersih, kontrol kualitas yang sulit ditingkatkan, serta bahan-bahan dasar cetakan dari kayu dan triplek yang semakin lama semakin mahal dan langka (Dewi, 2011). Oleh karena itu, pemilihan suatu metode sangat penting dalam pelaksanaan suatu proyek konstruksi karena metode pelaksanaan yang tepat dapat memberikan hasil yang maksimal.

Salah satu metode pelaksanaan yang lebih modern adalah penerapan beton *precast* dengan sambungan basah. Sistem beton *precast* menawarkan

pelaksanaan yang jauh lebih menguntungkan jika ditinjau dari segi biaya maupun waktu, tetapi cenderung tidak monolit dibandingkan dengan sistem beton konvensional. Oleh karena itu, penulis ingin menganalisis bagaimana perilaku struktur gedung tersebut jika diterapkan sistem beton *precast* dengan sambungan basah ketika terjadi gempa dibandingkan dengan sistem beton konvensional. Selain itu, Rumah Susun Universitas Lampung dari awal dibangun hingga sekarang, belum pernah dilakukan evaluasi terkait kinerja dan kerentanan dari gedung tersebut. Dilatarbelakangi hal tersebut, maka akan dilakukan evaluasi kinerja seismik dengan metode *pushover* berdasarkan peraturan terbaru seperti SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020.

Hasil evaluasi tersebut diharapkan dapat mengetahui apakah dengan menggunakan peraturan terbaru struktur bangunan masih mampu menahan gempa. Selain itu, dari hasil tersebut digunakan juga untuk menentukan kinerja suatu bangunan.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perbandingan *performance point* antara struktur gedung yang ditinjau dengan sistem konvensional dan sistem *precast*, menggunakan program ETABS V19 dan prosedur A analisis *pushover*?
2. Bagaimana hasil output analisis *pushover* pada penggunaan program ETABS V19?
3. Bagaimana pola keruntuhan gedung setelah dianalisis dengan *pushover*?
4. Apakah hasil analisis *pushover* menunjukkan bahwa struktur gedung mampu berperilaku linear menjadi non-linear saat terjadi keruntuhan?
5. Bagaimana sistem sambungan pada metode *precast*?

1.3. Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Jenis pemanfaatan struktur gedung sebagai hunian, dengan ketinggian 3 lantai, dan termasuk dalam kategori risiko II.
2. Struktur yang digunakan adalah struktur beton bertulang, meliputi:
 - a. Struktur portal beton bertulang.
 - b. Pelat lantai beton bertulang.
 - c. Dinding geser.
3. Pembebanan gedung meliputi:
 - a. Beban mati (berupa berat sendiri struktur).
 - b. Beban hidup (berupa beban akibat fungsi bangunan sesuai dengan SNI 1726:2019).
 - c. Beban lateral (berupa beban gempa sesuai dengan SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, tanpa memperhitungkan beban angin).
 - d. Peraturan pembebanan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung SNI 1727:2020.
4. Analisis perencanaan ketahanan gempa mengacu pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2019.
5. Perencanaan sambungan pada sistem beton *precast* menggunakan sambungan basah (*wet connection*) (Mulyawan, 2017).
6. Studi kinerja struktur ditinjau dalam 3 dimensi menggunakan bantuan *software* ETABS V19 dan untuk kriteria kinerja menggunakan ATC-40.

1.4. Tujuan Penulisan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kurva kapasitas, hubungan *base shear* dengan *displacement*, pada kurva *pushover* sebagai representasi tahapan perilaku struktur saat dikenai gaya geser dasar pada level tertentu serta *performance point*.

2. Menentukan kriteria kinerja seismik struktur gedung antara sistem konvensional dan sistem *precast* dari hasil nilai *performance point* menggunakan *code* ATC-40.
3. Menganalisis skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi berdasarkan hasil perhitungan program ETABS V19.
4. Menganalisis pola keruntuhan bangunan sehingga dapat diketahui joint-joint yang mengalami kerusakan dan mengalami kehancuran.
5. Menganalisis sistem sambungan pada metode *precast*.

1.5. Manfaat Penelitian

1.5.1. Bagi Mahasiswa

1. Menambah pengetahuan dan pengalaman penulis dalam bidang ilmu teknik sipil.
2. Mengembangkan pengetahuan mengenai penggunaan *software* ETABS V19.
3. Memberikan pemahaman tentang analisis *pushover*.
4. Mengetahui pengaruh gempa bumi yang diberikan terhadap gedung.
5. Memahami peraturan serta mendapatkan gambaran optimasi menggunakan metode analisis *pushover*.

1.5.2. Bagi Universitas

Hasil penelitian ini akan menjadi tambahan referensi bagi mahasiswa lain khususnya di Universitas Lampung yang ingin melakukan studi lanjutan yang berkaitan dengan analisis *pushover* terhadap Rumah Susun Universitas Lampung.

1.6. Sistematika Penulisan

Penelitian ini disusun menggunakan sistematika penulisan yang baku agar memudahkan proses penyusunan. Adapun rincian sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari:

BAB I. PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir dari penelitian yang dilakukan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Membahas teori yang berhubungan dengan penelitian ini. Teori yang digunakan adalah teori tentang konsep dasar mekanisme gempa, ketentuan umum bangunan tahan gempa, pembebanan, kontrol dinamis struktur, daktilitas, analisis *pushover*, sendi plastis, metode *capacity spectrum*, dan kriteria struktur tahan gempa.

BAB III. METODE PENELITIAN

Membahas mengenai data struktur penelitian, metode penelitian, teknik pengumpulan data, metode pengolahan data, dan sistematika penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil perhitungan dan analisis struktur yang dimodelkan dengan program komputer serta pembahasan mengenai kinerja seismik struktur gedung dengan analisis *pushover*.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

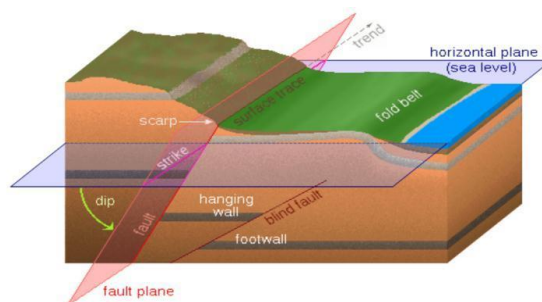
Bab ini berisi kesimpulan dan saran secara menyeluruh dari hasil analisa berdasarkan batasan-batasan yang ada dalam tugas akhir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Dasar Mekanisme Gempa Bumi

Gempa bumi adalah pelepasan energi pada muka bumi, merambat melalui permukaan tanah. Terjadinya gempa bumi disebabkan oleh benturan/gesekan antara pelat tektonik (lempeng bumi) atau amblesnya dasar laut. Lempeng samudera yang rapat massanya lebih besar bertumbukkan dengan lempeng benua di zona tumbukan (subduksi) akan menyusup ke bawah. Gerakan lempeng itu akan mengalami perlambatan akibat gesekan dari selubung bumi. Perlambatan gerak itu menyebabkan penumpukkan energi di zona subduksi dan zona patahan. Akibatnya zona-zona itu terjadi tekanan, tarikan, dan geseran. Pada batas elastisitas lempeng terlampaui, maka terjadilah patahan batuan yang diikuti oleh lepasnya energi secara tiba-tiba. Proses ini menimbulkan getaran partikel ke segala arah yang disebut gelombang gempa (Laresi, 2017).

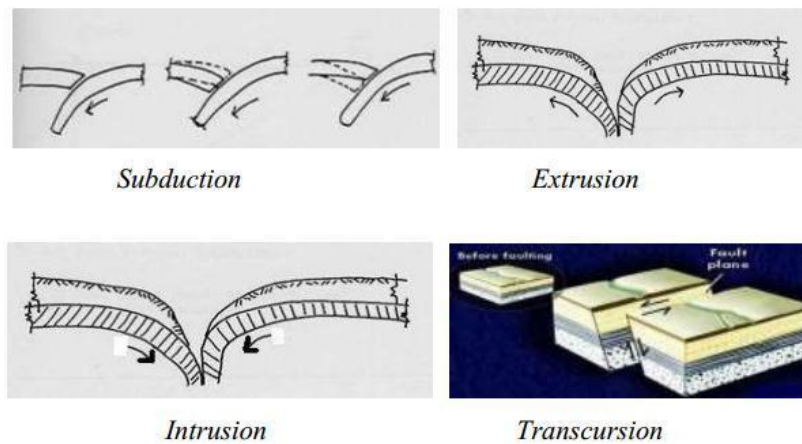
Pergeseran/benturan antarpelat tektonik menyebabkan pelat tektonik bergerak. Pergerakan pelat tektonik mengakibatkan permukaan tanah bergeser, sebagaimana pada gambar 2.



Gambar 2. Skema pergerakan permukaan tanah (Sumber: WordPress.com).

Mekanisme pergeseran/benturan antarpelat tektonik adalah sebagai berikut:

1. *Subduction*, yaitu pelat tektonik yang satu membelok ke bawah, sedangkan pelat tektonik yang lainnya sedikit terangkat.
2. *Extrusion*, yaitu kedua pelat tektonik saling bergerak ke atas kemudian saling menjauh.
3. *Intrusion*, yaitu kedua pelat tektonik saling mendekat dan saling bergerak ke bawah.
4. *Transcursion*, yaitu pelat tektonik yang satu bergerak vertikal/horisontal terhadap yang lain.



Gambar 3. Skema pergeseran antarpelat tektonik (Sumber: WordPress.com).

Bila gempa bumi terjadi, maka struktur bangunan akan ikut terpengaruh oleh getaran gempa. Selanjutnya struktur bangunan akan merespons gempa tersebut. Struktur akan beresonansi memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya gempa kurang dari gaya dalam struktur, maka struktur akan kuat dan aman menahan beban gempa. Sebaliknya, jika gaya gempa lebih dari gaya dalam struktur, maka struktur tidak kuat dan tidak aman menahan beban gempa, selanjutnya bisa jadi struktur runtuh.

2.2. Ketentuan Umum Bangunan Gedung Tahan Gempa

2.2.1. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Berdasarkan Tabel 3 SNI 1726:2019, Untuk pengklasifikasian kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung pada fungsi atau jenis pemanfaatan bangunan itu sendiri, disajikan dalam Tabel 1. Untuk pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e yang diperoleh berdasarkan kategori risiko daerah yang akan dianalisis. Nilai faktor keutamaan gempa disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

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

Tabel 1. (lanjutan)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<ul style="list-style-type: none"> – Fasilitas penitipan anak – Penjara – Bangunan untuk orang jompo 	
<p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Pusat pembangkit listrik biasa – Fasilitas penanganan air – Fasilitas penanganan limbah – Pusat telekomunikasi 	III
<p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk fasilitas manufaktur, atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya) 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 jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan 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 ibadah – 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, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya – Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi, dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat – Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat – Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangka penyimpanan bahan bakar, tangki air pemadam kebakaran) yang beroperasi pada saat keadaan darurat 	IV
<p>Gedung dan nongedung dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 2. Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726:2019

2.2.2. Klasifikasi Situs

Berdasarkan Pasal 5.1 SNI 1726:2019, yang menjelaskan mengenai tata cara klasifikasi situs, dan mengatur standar desain seismik berupa faktor amplifikasi pada gedung. Dalam merumuskan standar desain gempa bumi untuk gedung atau menentukan perbesaran puncak percepatan seismik dari batuan dasar ke tanah pada suatu lokasi tertentu, lokasi tersebut harus ditentukan berdasarkan lapisan tanah tertinggi yaitu 30 m. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Berikut tabel klasifikasi situs yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi situs

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	≤ 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:		
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> – Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah – Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) 		

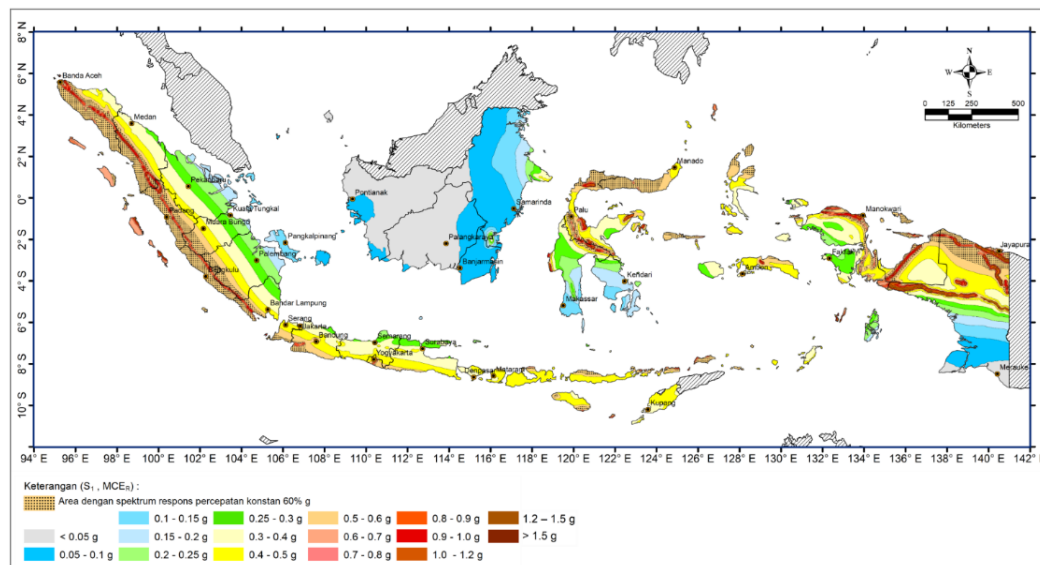
Tabel 3. (lanjutan)

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	–	–	–
	–	–	–

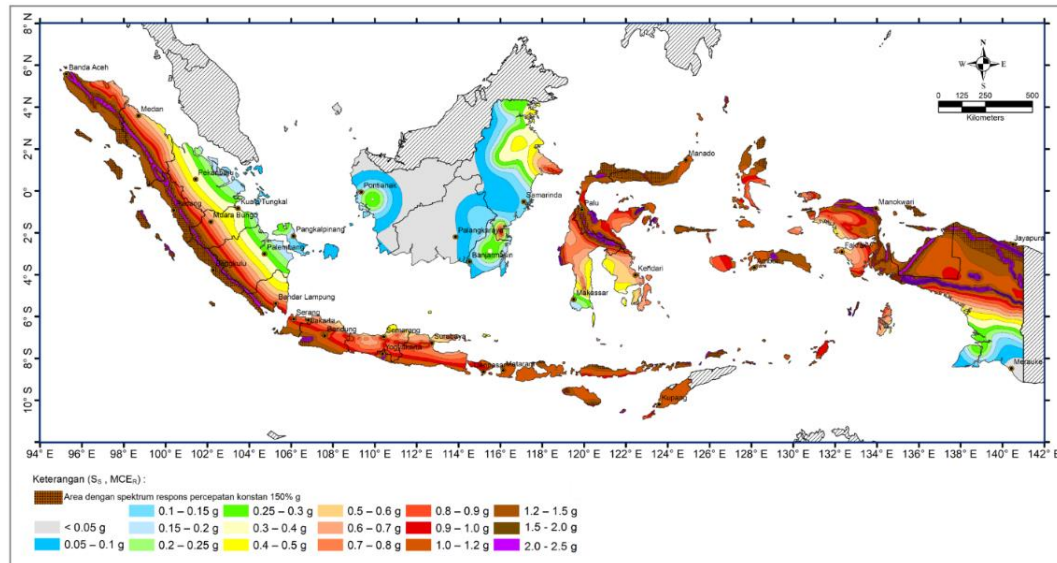
Sumber: SNI 1726:2019

2.2.3. Wilayah Gempa

Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat besar atau kecilnya beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan adalah faktor wilayah gempa. Dengan demikian, besar atau kecilnya beban gempa, bergantung pada lokasi dimana struktur bangunan tersebut akan didirikan. Peta wilayah gempa disajikan dalam Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Parameter spektral percepatan gempa untuk periode 1 detik (S_1) (Sumber: SNI 1726:2019).



Gambar 5. Parameter spektral percepatan gempa untuk periode pendek 0,2 detik (S_s) (Sumber: SNI 1726:2019).

2.2.4. Koefisien Situs

Berdasarkan Pasal 6.2 SNI 1726:2019, Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (1)$$

$$S_{M1} = F_v S_I \quad (2)$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek.

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

dan untuk nilai koefisien situs F_a dan F_v disajikan dalam Tabel 4 dan Tabel 5 berikut ini.

Tabel 4. Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE _R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

CATATAN:

(a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linear.

(b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 5. Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE _R) terpetakan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

CATATAN:

(a) Untuk nilai-nilai antara S_I dapat dilakukan interpolasi linear.

(b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik

Sumber: SNI 1726:2019

2.2.5. Parameter Percepatan Spektral Desain

Berdasarkan Pasal 6.3 SNI 1726:2019, Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{DI} , harus ditentukan melalui rumus berikut ini:

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (4)$$

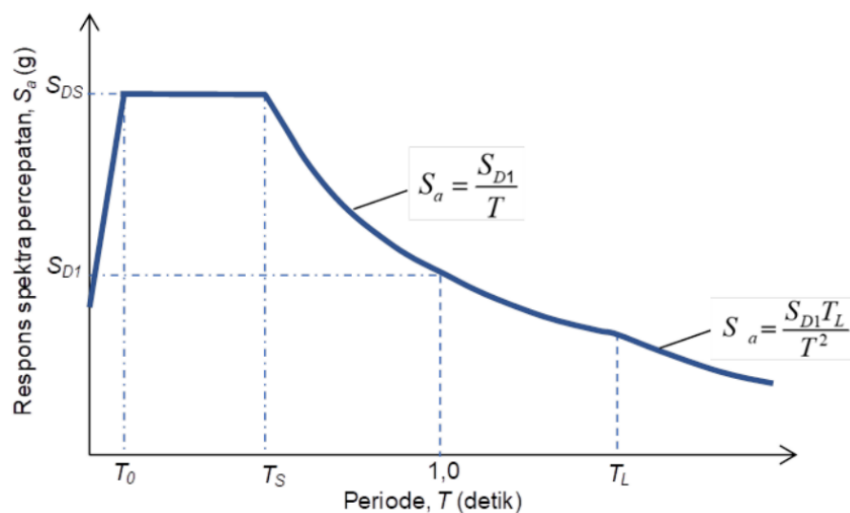
Keterangan:

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.

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

2.2.6. Spektrum Respons Desain

Berdasarkan Pasal 6.4 SNI 1726:2019, grafik respons spektrum mengacu pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Spektrum respons desain (Sumber: SNI 1726:2019).

2.2.7. Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik menurut Pasal 6.5 SNI 1726:2019. Penetapan kategori desain seismik berdasarkan kategori risiko dan parameter-parameter respons spektral percepatan desain dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7 berikut.

Tabel 6. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 7. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{DI}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

2.3. Pembebanan

2.3.1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah beban gravitasi yang berasal dari berat semua komponen gedung/bangunan yang bersifat permanen selama masa layan struktur tersebut (Mustofa dkk., 2018).

2.3.2. Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load*)

Beban mati tambahan didefinisikan sebagai beban mati yang diakibatkan oleh berat dari elemen-elemen tambahan atau *finishing* yang bersifat permanen (Arifin dkk., 2015).

2.3.3. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup merupakan beban yang dihasilkan oleh manusia maupun barang-barang yang berpindah tempat serta peralatan lain yang dapat berpindah-pindah yang sifatnya tidak tetap (Laresi, 2017). Nilai beban hidup ditetapkan berdasarkan SNI 1727:2020.

2.3.4. Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Beban gempa merupakan beban yang bekerja pada suatu struktur yang bersifat sementara dan terjadi dalam selang waktu yang relatif singkat, namun dapat menyebabkan kerusakan berat pada bangunan (Fadzilah, 2022).

2.3.5. Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan Pasal 4.2 SNI 1726:2019 “Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung”, suatu struktur bangunan harus dirancang menggunakan kombinasi pembebanan agar struktur bangunan menghasilkan kekuatan yang mampu menahan beban-beban terfaktor. Kombinasi-kombinasi pembebanan untuk metode ultimit adalah sebagai berikut:

1. $1,4D$ (5)
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$ (6)
3. $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$ (7)
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$ (8)
5. $1,2D + 1,0E + L$ (9)
6. $0,9D + 1,0W$ (10)
7. $0,9D + 1,0E$ (11)

Sedangkan pada kombinasi beban untuk metode tegangan izin untuk perencanaan struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen pondasi berdasarkan metode tegangan izin meliputi:

1. D (12)
2. $D + L$ (13)
3. $D + (L_r \text{ atau } R)$ (14)
4. $D + 0,75L + 0,75 (L_r \text{ atau } R)$ (15)
5. $D + (0,6W \text{ atau } 0,7E)$ (16)
6. $D + 0,75 (0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75L + 0,75 (L_r \text{ atau } R)$ (17)
7. $0,6D + 0,6W$ (18)
8. $0,6D + 0,7E$ (19)

Sedangkan untuk kombinasi beban gempa harus dikombinasikan dengan beban mati dan beban hidup sesuai dengan peraturan yang sudah ditetapkan. SNI 1726:2019 diterangkan bahwa pengaruh beban gempa adalah gaya elemen struktur aksial, geser, dan lentur yang dihasilkan dari penerapan gaya gempa horizontal dan vertikal. Sehingga semua elemen struktur harus didesain menggunakan pengaruh beban gempa. Perhitungan pengaruh beban gempa adalah sebagai berikut:

Pada kombinasi beban,

1. $1,2D + 1,0E + L$ (20)
2. $D + (0,6W \text{ atau } 0,7E)$ (21)
3. $D + 0,75 (0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75L + 0,75 (L_r \text{ atau } R)$ (22)

Maka persamaan gempa yang digunakan yaitu:

$$E = E_h + E_v \quad (23)$$

Untuk kombinasi beban,

1. $0,9D + 1,0E$ (24)
2. $0,6D + 0,7E$ (25)

Maka persamaan gempa yang digunakan yaitu:

$$E = E_h - E_v \quad (26)$$

Pengaruh beban gempa horizontal, E_h harus diperhitungkan dengan persamaan,

$$E_h = \rho Q_E \quad (27)$$

Sedangkan, pengaruh beban gempa vertikal, E_v diperhitungkan dengan persamaan,

$$E_v = 0,2S_{DS}D \quad (28)$$

Kombinasi dasar untuk desain kekuatan yaitu:

$$1. (1,2 + 0,2S_{DS}) D + \rho Q_E + L \quad (29)$$

$$2. (0,9 - 0,2S) D + \rho Q_E + 1,6H \quad (30)$$

Keterangan:

D = pengaruh beban mati.

L = pengaruh beban hidup.

L_r = pengaruh beban hidup di atap.

R = beban air hujan.

W = beban angin.

E = pengaruh beban seismik horizontal dan vertikal.

E_h = pengaruh gaya seismik horizontal.

E_v = pengaruh gaya seismik vertikal.

ρ = faktor redundansi struktur.

Q_E = pengaruh gaya seismik horizontal.

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.

2.4. Kontrol Dinamis Struktur

Hasil analisis struktur harus diperiksa terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019 untuk menentukan kelayakan struktur tersebut akibat adanya pengaruh beban gempa, Adapun hal-hal yang harus diperiksa meliputi:

2.4.1. Periode Fundamental Gedung

Berdasarkan Pasal 7.8.2.1 SNI 1726:2019, periode pendekatan fundamental (T_a), ditentukan melalui persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (31)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 8.

Tabel 8. Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• 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 1726:2019

Tabel 9. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726:2019

2.4.2. Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan Pasal 7.8.1 SNI 1726:2019, gaya geser dasar seismik ditentukan dengan persamaan:

$$V = C_s W \quad (32)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik.

W = berat seismik efektif.

Bila hasil perhitungan periode fundamental melebihi periode maksimum, maka periode maksimum harus digunakan sebagai pengganti dari T dalam arah tersebut. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 100% dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan V/V_t .

Untuk nilai C_s dapat ditentukan dengan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (33)$$

Nilai C_s tidak boleh melebihi persamaan:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (34)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (35)$$

C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (36)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah dengan nilai $S_I \geq 0,6$ g, maka C_s tidak boleh kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (37)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.

R = koefisien modifikasi respons.

I_e = faktor keutamaan gempa.

S_{DI} = parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1,0 detik.

T = periode fundamental struktur (detik).

S_I = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan.

2.4.3. Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Berdasarkan Pasal 7.8.3 SNI 1726:2019, gaya seismik lateral F_x (kN) ditentukan dengan persamaan:

$$F_x = C_{vx}V \quad (38)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (39)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal.

V = gaya lateral desain total (kN)

w_i dan w_x = berat seismik efektif total struktur (W) pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai:

untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$

untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$

untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

2.5. Beton Precast

Beton *precast* adalah teknologi konstruksi struktur beton yang komponen-komponen penyusunnya dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat (*off site fabrication*), terkadang komponen-komponen tersebut disusun dan disatukan terlebih dahulu (*pre-assembly*), dan selanjutnya dipasang di lokasi. Beton *precast* memiliki manfaat lebih antara lain terkait dengan waktu, biaya, kualitas, *predictability*, produktivitas, keandalan, kesehatan, keselamatan,

lingkungan, koordinasi, inovasi, *reusability*, serta *relocability* (Pan *et al.*, 2008).

2.5.1. Sambungan pada Beton *Precast*

Sambungan di dalam perencanaan elemen pracetak di samping sebagai penghubung antar elemen pracetak, juga berfungsi sebagai penyalur gaya – gaya yang bekerja dari elemen struktur yang satu dengan elemen struktur yang lain, yang nantinya akan diteruskan ke pondasi (Wiranata dkk., 2014).

Jenis sambungan antara komponen beton pracetak yang biasa dipergunakan dapat dikategorikan menjadi 2 kelompok sebagai berikut (Wahyudi dan Hanggoro, 2010):

- a) Sambungan kering (*dry connection*), adalah sambungan antar komponen beton pracetak yang menggunakan pelat besi sebagai penghubung, yang kemudian dilas atau dibaut.
- b) Sambungan basah (*wet connection*), adalah sambungan antar beton pracetak yang ditandai dengan keluarnya besi tulangan dari beton pracetak. Besi tulangan ini dihubungkan dengan besi tulangan dari beton pracetak yang akan disambungkan dengan cara dicor di tempat. Jenis sambungan ini dapat berfungsi baik untuk mengurangi penambahan tegangan yang terjadi akibat rangkai, susut, dan perubahan temperatur. Sambungan basah ini sangat dianjurkan untuk bangunan di daerah rawan gempa karena dapat menjadikan masing – masing komponen beton pracetak menjadi monolit.

Tabel 10. Perbedaan metode penyambungan beton *precast*

Deskripsi	Sambungan basah (<i>wet connection</i>)	Sambungan kering (<i>dry connection</i>)
Kebutuhan struktur	Monolit	Tidak monolit
Jenis sambungan	Basah	Kering
Toleransi dimensi	Lebih tinggi	Tergolong rendah, karena dibutuhkan akurasi yang tinggi
Kebutuhan waktu agar berfungsi secara efektif	Perlu <i>setting time</i>	Segera dapat berfungsi
Ketinggian bangunan	-	Maksimal 25 meter

Sumber: *Ervianto, 2006.*

2.6. Beton Konvensional

Beton konvensional adalah beton yang mana dalam proses pembuatan direncanakan terlebih dahulu, dan metode pelaksanaannya dilakukan secara manual dengan menggunakan rangkaian tulangan pada bangunan yang akan dibangun. Pada beton konvensional, proses pengecoran dilakukan secara *cast in situ*, yaitu proses pemindahan campuran beton cair dari *mixer* secara langsung ke tempat di mana beton akan dicor (bekisting) atau acuan pada struktur yang akan dikerjakan (Najoan dkk., 2016).

Tabel 11. Perbandingan beton konvensional dengan *precast*

Item	Konvensional	<i>Precast</i>
Desain	Sederhana	Membutuhkan wawasan yang luas terutama yang ada kaitannya dengan fabrikasi sistem, transportasi serta pelaksanaan atau pemasangan komponen, sistem sambungan, dan sebagainya.
Bentuk dan ukurannya	Efisien untuk bentuk yang tidak teratur dan bentang-bentang yang tidak mengulang.	Efisien untuk bentuk yang teratur/relatif besar dengan jumlah bentuk-bentuk yang berulang.
Waktu pelaksanaan	Lebih lama	Lebih cepat, karena dapat dilaksanakan secara paralel sehingga hemat waktu 20-25%
Teknologi pelaksanaan	Konvensional	Butuh tenaga yang mempunyai keahlian.
Koordinasi pelaksanaan	Kompleks	Lebih sederhana, karena semua pengecoran elemen struktur pracetak telah dilakukan di pabrik.
Kontrol kerja	Bersifat kompleks, serta dilakukan dengan cara terus-menerus.	Sifatnya lebih mudah, karena telah dilakukan pengawasan oleh kualitas kontrol di pabrik.
Kondisi lahan	Butuh area yang relatif luas karena butuh adanya penimbunan material dan ruang gerak.	Tidak memerlukan lahan yang luas untuk penyimpanan material selama proses pengerjaan konstruksi berlangsung, sehingga lebih bersih terhadap lingkungan.
Kondisi cuaca	Banyak dipengaruhi oleh keadaan cuaca.	Tidak dipengaruhi cuaca karena dibuat di pabrik.
Kecepatan/akurasi ukuran	Sangat tergantung keahlian pelaksana.	Karena dilaksanakan di pabrik, maka ketepatan ukuran lebih terjamin.
Kualitas	Sangat tergantung banyak faktor, terutama keahlian pekerjaan dan pengawasan.	Lebih terjamin kualitasnya karena dikerjakan di pabrik dengan menggunakan sistem pengawasan pabrik.

Sumber: www.ilmusipil.com

2.7. Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.

Faktor daktilitas struktur gedung adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama (Laresi, 2017).

2.8. Analisis *Pushover*

Analisis statis non-linear *pushover* (ATC 40, 1996) merupakan salah satu komponen *performance based design* yang menjadi sarana dalam mencari kapasitas dari suatu struktur. Dasar dari analisis *pushover* sebenarnya sangat sederhana yaitu memberikan pola beban statik tertentu dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap pada suatu struktur sampai struktur tersebut mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Dari hasil analisis tersebut dapat diketahui nilai-nilai gaya geser dasar untuk perpindahan lantai atap tertentu. Nilai-nilai yang didapatkan tersebut kemudian dipetakan menjadi kurva kapasitas dari struktur. Selain itu, analisis *pushover* juga dapat memperhatikan secara visual perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis, dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya. (Laresi, 2017).

Meskipun dasar dari analisis ini sangat sederhana, tetapi informasi yang dihasilkan akan menjadi berguna karena mampu menggambarkan respons elastis bangunan ketika mengalami gempa. Analisis ini memang bukan cara yang terbaik untuk mendapatkan jawaban terhadap masalah-masalah analisis maupun desain, tetapi merupakan suatu langkah maju dengan

memperhitungkan karakteristik respons non-linier yang dapat dipakai sebagai ukuran *performance* suatu bangunan pada waktu digoncang gempa kuat. Prosedur perhitungan dengan *analisis pushover* (ATC 40, 1996) adalah sebagai berikut:

- Pembuatan model komputer struktur yang akan dianalisis secara dua atau tiga dimensi.
- Dimensi suatu kriteria *performance*, seperti batas izin simpangan pada lantai atap pada titik sendi tertentu, dan lain-lain.
- Pembebanan struktur dengan gaya gravitasi sesuai dengan rencana.
- Pembebanan dengan pola beban statik tertentu yang didapatkan dari standar yang berlaku di masing-masing negara.
- Penentuan titik kendali tertentu untuk memantau perpindahan, biasanya titik pada lantai atap.
- Struktur didorong (*push*) dengan pola pembebanan yang ditentukan sebelumnya secara bertahap hingga mencapai batas izin simpangan atau mencapai keruntuhan yang direncanakan.
- Penggambaran kurva kapasitas, yaitu kurva hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan pada titik kendali.

Analisis pushover dapat digunakan sebagai alat bantu untuk perencanaan tahan gempa, asalkan menyesuaikan dengan keterbatasan yang ada yaitu: (Hutama, 2021).

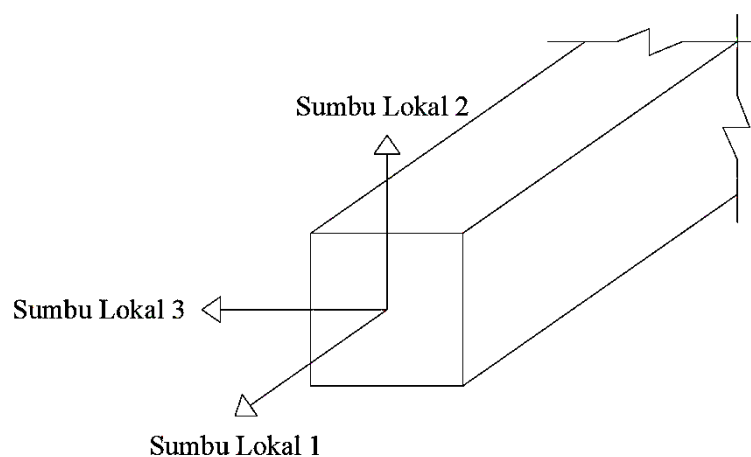
- Hasil analisis *pushover* masih berupa suatu pendekatan, karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak-balik melalui suatu siklus tertentu, sedangkan sifat pembebanan pada analisis *pushover* adalah statik monotonik.
- Pemilihan pola beban lateral yang digunakan dalam analisis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

2.9. Sendi Plastis

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan / kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok pada gedung tersebut (Gambar 10). Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur balok dan kolom menahan gaya dalam (Potalangi dkk., 2020). Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain *kolom kuat balok lemah*. Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh dahulu, maka struktur langsung hancur.

2.9.1. Hinge Properties Balok

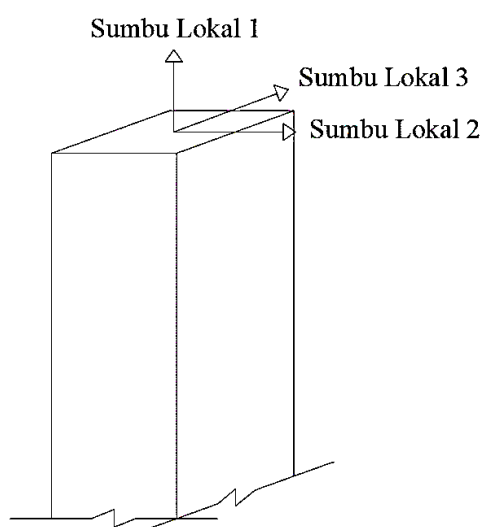
Data *hinge properties* dimasukkan pada penampang daerah tumpuan balok yaitu lokasi dimana sendi plastis diharapkan terjadi. Masing-masing penampang balok dimodelkan dengan pilihan model momen M3, yang artinya sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3. Posisi sumbu lokal 3 dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Posisi sumbu lokal balok struktur (Sumber: Agustinus dan Lesmana, 2018).

2.9.2. Hinge Properties Kolom

Data *hinge properties* untuk kolom adalah Model P-M2-M3, yang mempunyai arti bahwa sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial (P) dan momen (M), sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3. Dalam studi ini setiap kolom pada bangunan yang ditinjau memiliki momen sumbu lokal 2 yang sama dengan kapasitas momen sumbu lokal 3, hal ini disebabkan karena dimensi kolom berbentuk persegi dan tulangan kolom yang ada tersebar pada keempat sisinya secara merata. Posisi sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 pada kolom struktur dapat dilihat pada gambar 8.

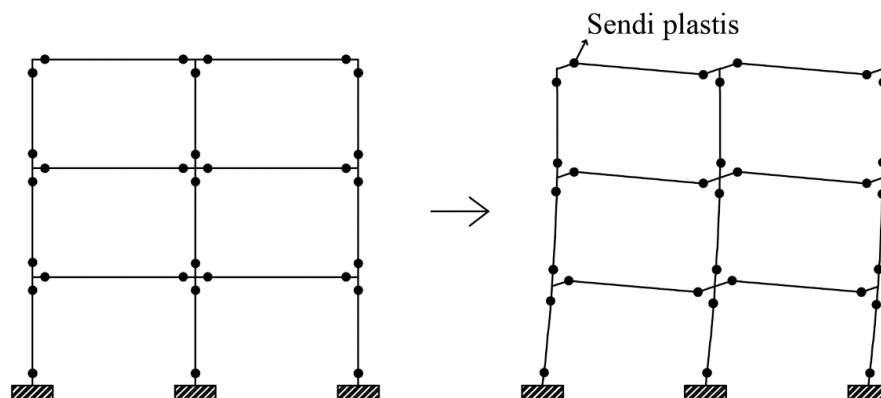


Gambar 8. Posisi sumbu lokal kolom struktur (Sumber: Agustinus dan Lesmana, 2018).

2.9.3. Penentuan Letak Sendi Plastis

Setelah pendefinisian data *hinge properties* balok dan kolom adalah penentuan letak terjadinya sendi plastis yang diinginkan. Posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih balok, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih balok. Kedua ini terletak dimuka kolom. Sama halnya dengan balok, posisi 0 menyatakan posisi awal

dari panjang bersih kolom, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih kolom. Kedua posisi ini terletak pada tepi muka balok.



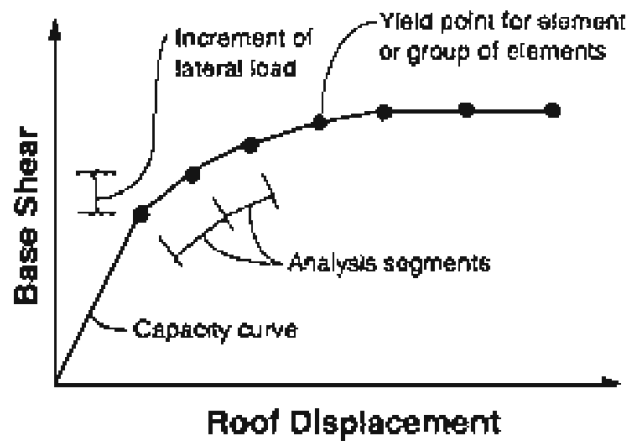
Gambar 9. Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom (Sumber: Agustinus dan Lesmana, 2018).

2.10. Metode *Capacity Spectrum*

Capacity Spectrum Method (CSM) merupakan salah satu cara untuk mengetahui kinerja suatu struktur. Konsep dasar dari analisis statis *pushover* nonlinier adalah memberikan pola pembebanan statis tertentu dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap (*incremental*). penambahan beban statis ini dihentikan sampai struktur tersebut mencapai simpangan target atau beban tertentu. Dari analisis statis *pushover* nonlinier ini didapatkan kurva kapasitas yang kemudian diolah lebih lanjut dengan metode tertentu, salah satunya adalah *Capacity Spectrum Method* (CSM) (ATC-40, 1996). Berikut ini adalah teori yang digunakan dalam studi ini.

2.10.1. Kurva Kapasitas

Hasil analisis statis *pushover* nonlinier adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*Base Shear*) dan simpangan atap (*Roof Displacement*). Hubungan tersebut kemudian dipetakan menjadi suatu kurva yang dinamakan kurva kapasitas struktur, dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10. *Capacity curve* (Sumber: ATC-40).

Capacity curve hasil *pushover* diubah menjadi *capacity spectrum* seperti Gambar 11 melalui persamaan berikut (ATC-40, 1996).

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (40)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{(PF_1 \phi_{roof,1})} \quad (41)$$

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1})/g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2)/g} \right] \quad (42)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1})/g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i/g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2)/g \right]} \quad (43)$$

Keterangan:

S_a = *spectral acceleration*.

S_d = *spectral displacement*.

PF_1 = *modal participation* untuk modal pertama.

α_1 = *modal mass coefficient* untuk modal pertama.

ϕ_{i1} = *amplitude of first* untuk level i .

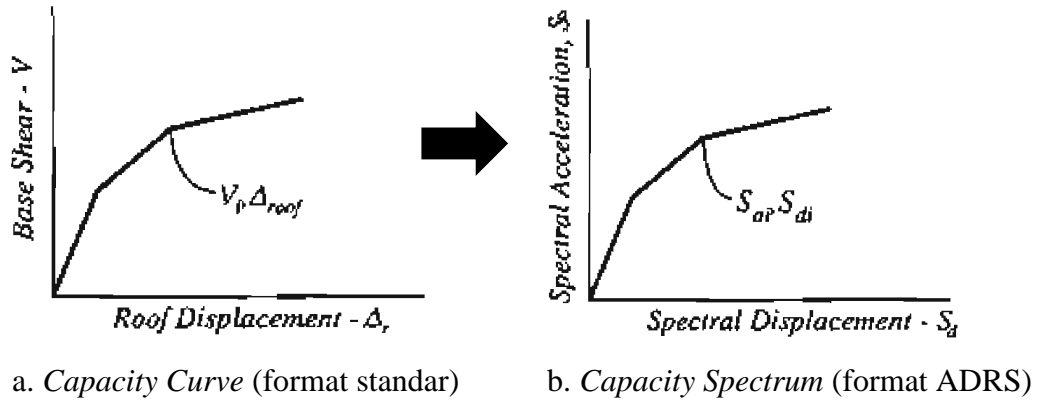
V = gaya geser dasar.

W = berat mati bangunan ditambah beban hidup.

Δ_{roof} = *roof displacement*.

$\phi_{roof,1}$ = roof level amplitude of the first mode.

W_i/g = mass assigned to level i .



Gambar 11. Modifikasi *capacity curve* menjadi *capacity spectrum*
(Sumber: ATC-40).

2.10.2. Demand Spectrum

Response spectrum elastic adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara koefisien gempa (C) dengan waktu getar struktur (T) yang nilainya ditentukan oleh koefisien C_a (percepatan tanah puncak, *peak ground acceleration*) dan C_v (nilai koefisien gempa pada waktu periode struktur tanah adalah 1 detik). Nilai C_a dan C_v ini berbeda-beda untuk masing-masing jenis tanah.

Agar dapat dibandingkan dengan kurva kapasitas, maka respons spektrum perlu dirubah formatnya menjadi *Acceleration Displacement Response Spectrum* (ADRS) melalui persamaan berikut.

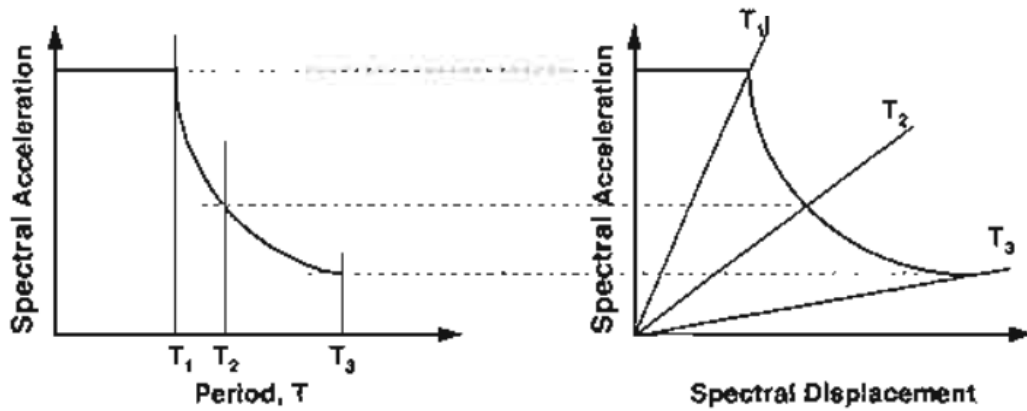
$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \quad (44)$$

Keterangan:

S_a = *spectral acceleration*.

S_d = *spectral displacement*.

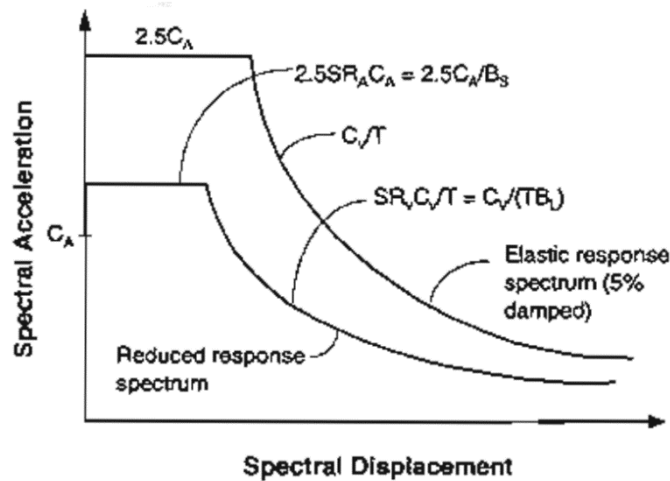
Di mana T adalah waktu getar alami dari struktur bangunan. Perubahan format ini dapat dilihat pada gambar 12.



a. *Response spectrum* (format standar) b. *Response spectrum* (format ADRS)

Gambar 12. Perubahan format respons percepatan menjadi ADRS
(Sumber: ATC-40).

Response spectrum dalam format ADRS ini mempunyai tingkat redaman (*damping*) sebesar 5%. Setelah struktur leleh, nilai redaman ini perlu direduksi dengan konstanta agar sesuai dengan *effective viscous damping* dari struktur.



Gambar 13. Reduksi *response spectrum elastic* menjadi *demand spectrum*
(Sumber: ATC-40).

Untuk *response spectrum* dengan percepatan yang konstan direduksi dengan SR_A , sedangkan untuk *response spectrum* dengan kecepatan yang konstan direduksi dengan SR_V , berikut rumusnya:

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln \left[\frac{63,7K(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \right]}{2,12} \quad (45)$$

$$SR_V = \frac{2,31 - 0,41 \ln \left[\frac{63,7K(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \right]}{1,65} \quad (46)$$

atau dapat ditulis dalam bentuk yang lebih sederhana:

$$SR_A = \frac{3,21 - 0,68 \ln(\beta_{eff})}{2,12} \quad (47)$$

$$SR_V = \frac{2,31 - 0,41 \ln(\beta_{eff})}{1,65} \quad (48)$$

Keterangan:

a_y, d_y = koordinat titik leleh efektif dari kurva kapasitas.

a_{pi}, d_{pi} = koordinat percobaan titik performa.

K = faktor modifikasi redaman.

β_{eff} = rasio redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis (dalam %).

Tabel 12. Values for damping modification factor, K

Structural Behavior Type	β_0 (percent)	K
Type A	$\leq 16,25$	1,0
	$> 16,25$	$1,13 - \frac{0,51(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Type B	≤ 25	0,67
	> 25	$0,845 - \frac{0,446(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Type C	Any value	0,33

Sumber: ATC-40

Tabel 13. Minimum allowable SR_A and SR_V values

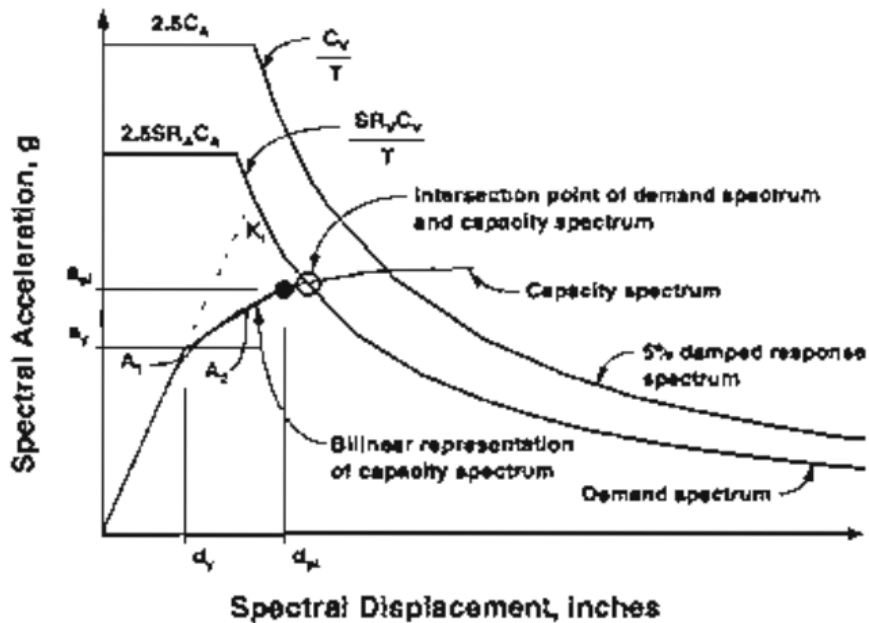
<i>Structural Behavior Type</i>	SR_A	SR_V
<i>Type A</i>	0,33	0,50
<i>Type B</i>	0,44	0,56
<i>Type C</i>	0,56	0,67

Sumber: ATC-40

2.10.3. Performance Point

Performance point adalah titik di mana *capacity curve* berpotongan dengan *response spectrum curve* seperti yang dipergunakan dalam *capacity spectrum method* (ATC-40, 1996). Untuk memperoleh gambaran lebih jelas, dapat dilihat pada Gambar 14.

Pada *performance point* dapat diperoleh informasi mengenai periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis. Berdasarkan informasi tersebut, respons-respons struktur lainnya seperti nilai simpangan tingkat dan posisi sendi plastis dapat diketahui.



Gambar 14. Penentuan *performance point* (Sumber: ATC-40).

Untuk mengetahui informasi yang didapatkan dari *performance point*, diperlukan beberapa prosedur, yaitu prosedur A, prosedur B, dan prosedur C. Disini penulis menggunakan prosedur A dengan langkah-langkah sebagai berikut:

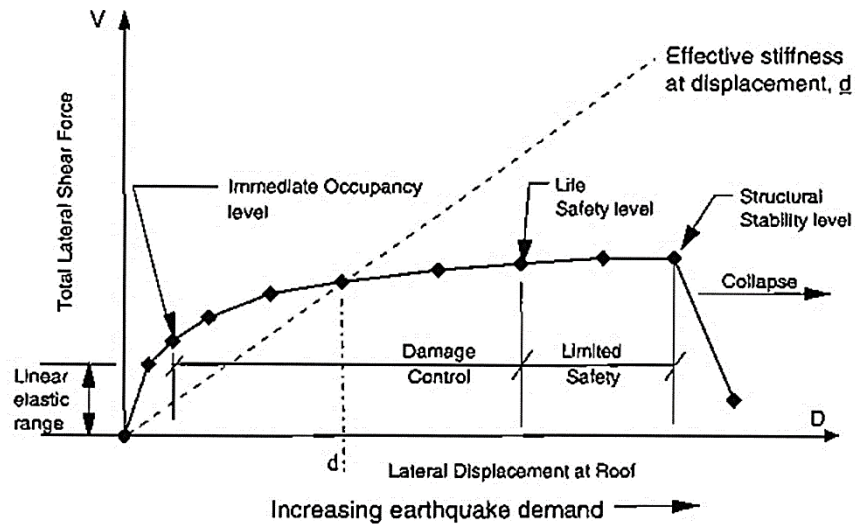
1. Membuat persamaan *elastic demand spectrum* dengan 5% *damping* (β_{eq}).
2. Membuat *capacity spectrum* dari *capacity curve* hasil *pushover analysis*.
3. Menghitung (d_{pi} , a_{pi}) untuk iterasi pertama menggunakan *equal displacement method*.
4. Menghitung β_{eq} , SR_A , SR_V .
5. Menghitung *demand spectrum* baru menggunakan data dari *step 4*.
6. Menghitung d_{pi} baru dari perpotongan antara *capacity spectrum* dan *demand spectrum* baru dari *step 5*.
7. Menghitung a_{pi} baru dari *capacity spectrum*.
8. Mengecek konvergensi.
9. Ulangi *step 4* jika tidak konvergen, gunakan (a_{pi} , d_{pi}) yang didapat dari *step 6* dan *step 7*.

2.11. Kriteria Struktur Tahan Gempa

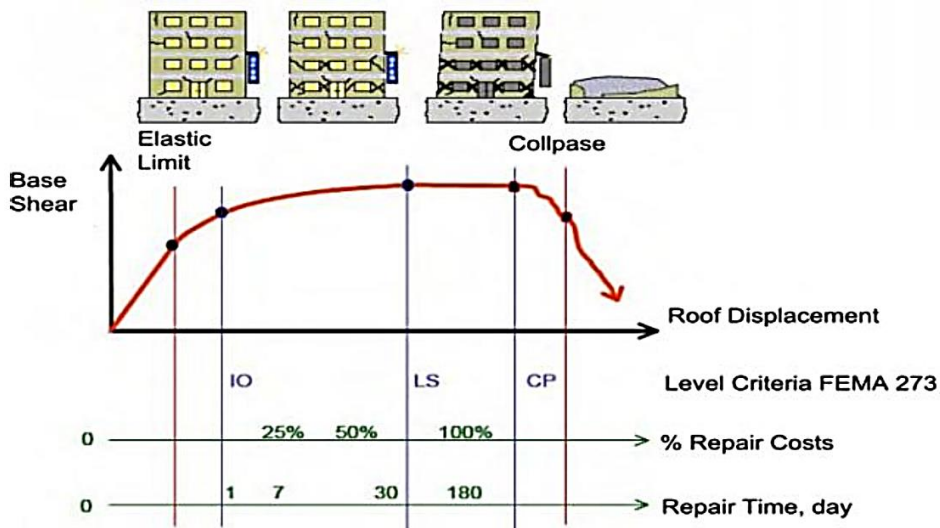
Menurut ATC-40, kriteria-kriteria struktur tahan gempa adalah sebagai berikut:

1. *Immediate Occupancy* (IO), apabila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa tersebut, struktur tidak mengalami kerusakan struktural dan tidak mengalami kerusakan non struktural, sehingga dapat langsung dipakai.
2. *Life Safety* (LS), apabila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa, dengan sedikit kerusakan struktural, manusia yang tinggal/berada pada bangunan tersebut terjaga keselamatannya dari gempa bumi.
3. *Collapse Prevention* (CP), apabila gempa terjadi, struktur mengalami kerusakan struktural yang sangat berat, tetapi belum runtuh.

4. *Structural Stability (SS)*, adalah kondisi dimana struktur telah mengalami kerusakan parsial ataupun total, kerusakan yang terjadi telah menyebabkan degradasi kekuatan dan kekakuan pada sistem penahan gaya lateral.



Gambar 15. Kurva kriteria kinerja (Sumber: ATC 40).



Gambar 16. Ilustrasi keruntuhan gedung (Sumber: FEMA 273/356).

Menurut ATC-40, batasan *drift rasio* adalah sebagai berikut:

Tabel 14. *Deformation limits*

<i>Parameter</i>	<i>Performance Level</i>			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maximum total drift</i>	0,01	0,01 – 0,02	0,02	$0,33 \frac{V_i}{P_i}$
<i>Maximum inelastic drift</i>	0,005	0,005 – 0,015	<i>No limit</i>	<i>No limit</i>

Sumber: ATC-40

Tabel 15. *Structural behavior types*

<i>Shaking Duration</i>	<i>Essentially New Building</i>	<i>Average Existing Building</i>	<i>Poor Existing Building</i>
<i>Short</i>	<i>Type A</i>	<i>Type B</i>	<i>Type C</i>
<i>Long</i>	<i>Type B</i>	<i>Type C</i>	<i>Type C</i>

Sumber: ATC-40

III. METODE PENELITIAN

3.1. Pendekatan Penelitian

Berdasarkan tujuan dari penelitian yang dilakukan oleh penulis yaitu salah satunya untuk mengetahui pola keruntuhan bangunan sehingga dapat diketahui joint-joint yang mengalami kerusakan dan mengalami kehancuran, maka pendekatan penelitian yang digunakan oleh penulis yaitu pendekatan kuantitatif, karena dalam penarikan kesimpulan dirumuskan berdasarkan hasil analisis berupa data-data numerik.

3.2. Lokasi Penelitian

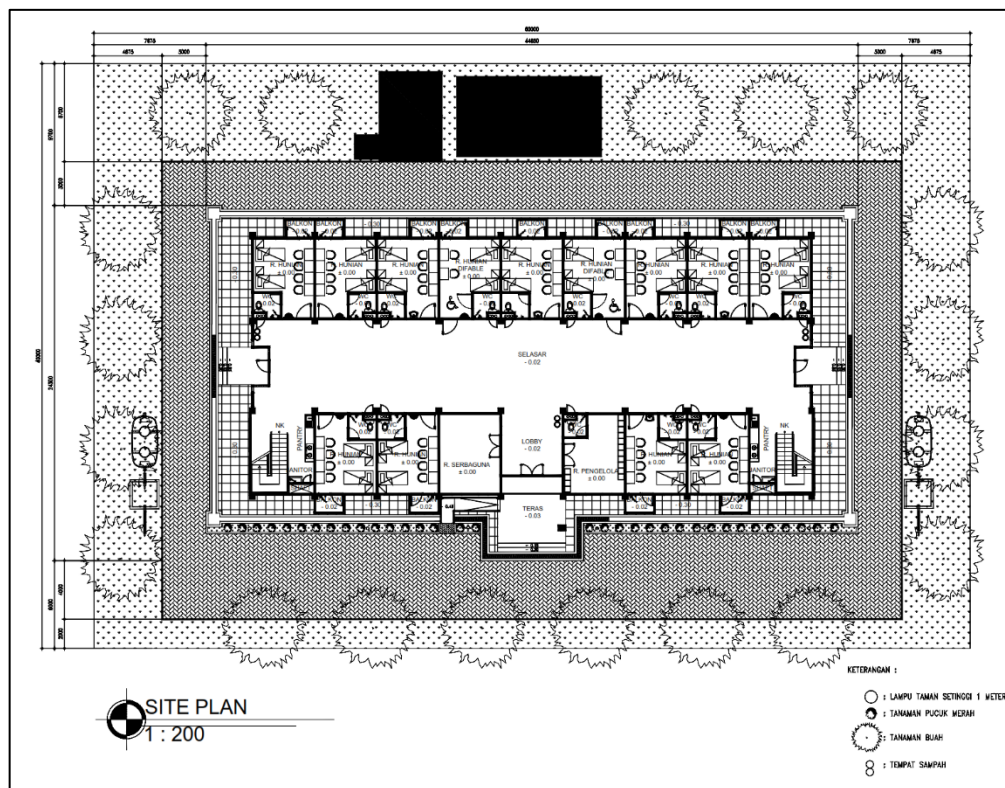
Penelitian dilakukan pada Rumah Susun Universitas Lampung yang berada di Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandarlampung, Lampung.



Gambar 17. Lokasi Penelitian (Sumber: Google Maps).

3.3. Data Struktur Gedung

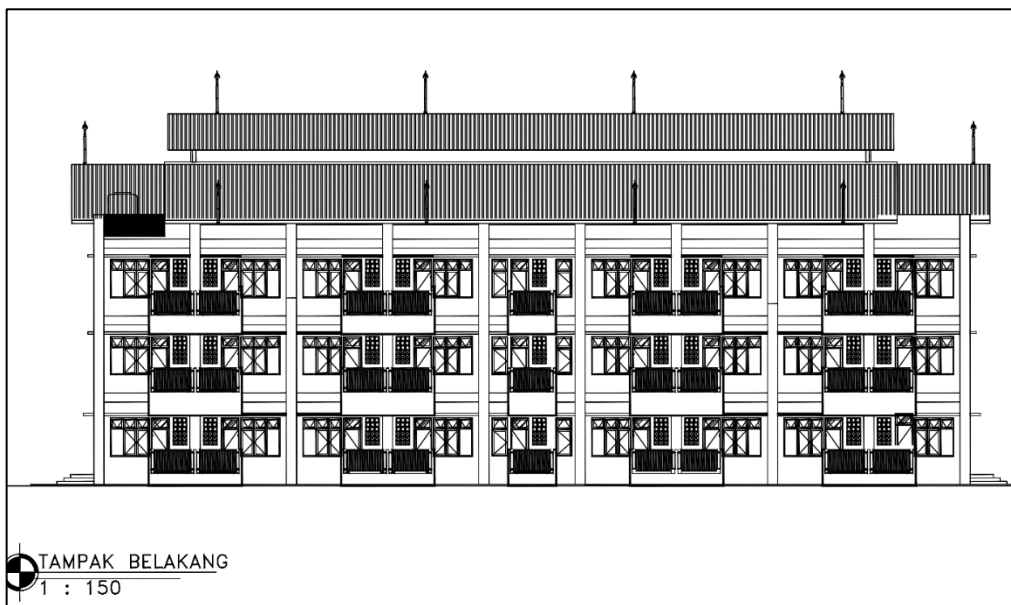
Pada penelitian ini dilakukan pada Rumah Susun Universitas Lampung yang berada di kota Bandar Lampung. Struktur gedung beton bertulang dengan ketinggian 3 lantai. Fungsi utama bangunan adalah sebagai fasilitas tempat tinggal. Lokasi gedung di daerah kota Bandar Lampung dengan kategori risiko II (SNI 1726:2019). Berikut gambar *Site plan* dan tampak dari bangunan tersebut:



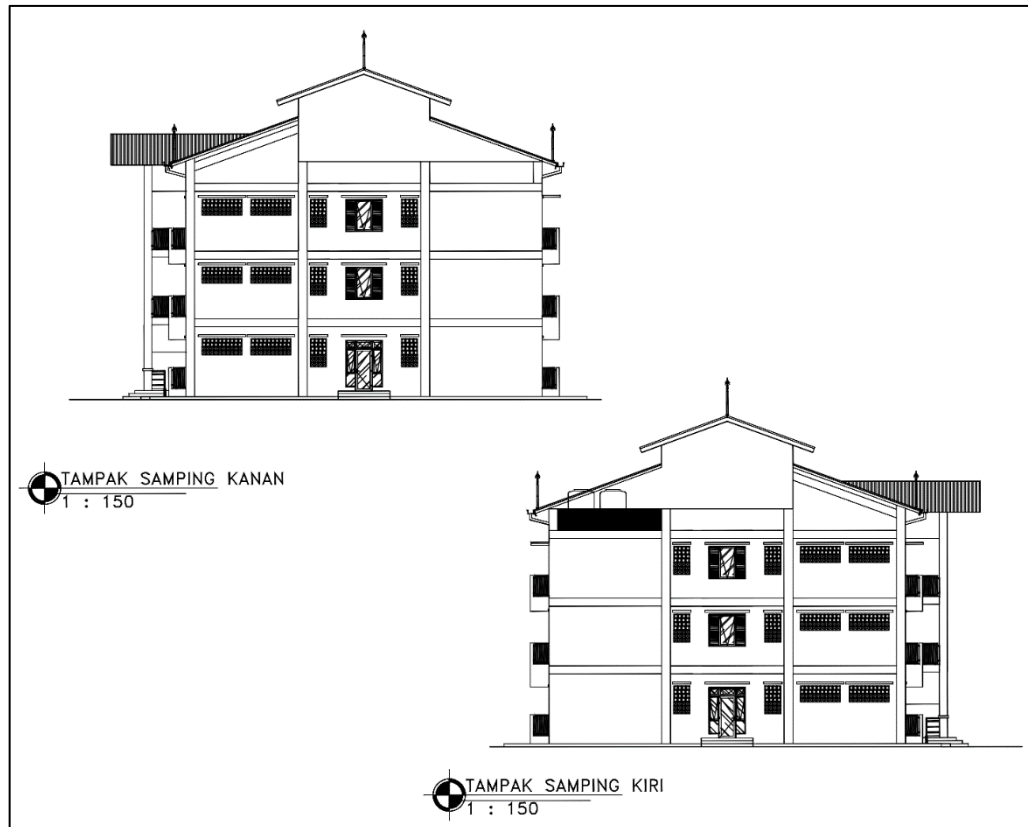
Gambar 18. *Site plan*.



Gambar 19. Tampak depan gedung.



Gambar 20. Tampak belakang gedung.



Gambar 21. Tampak samping kanan dan kiri.

Berikut adalah data-data penelitian pada Rumah Susun Universitas Lampung:

3.3.1. Luas Bangunan

Luas bangunan pada Rumah Susun Universitas Lampung adalah $\pm 2662,2 \text{ m}^2$, dengan luas lahan yaitu $\pm 2400 \text{ m}^2$. Struktur terdiri dari 3 lantai dengan luas per lantai sebagai berikut:

1. Luas lantai 1 : $\pm 665,55 \text{ m}^2$
2. Luas lantai 2 : $\pm 665,55 \text{ m}^2$
3. Luas lantai 3 : $\pm 665,55 \text{ m}^2$
4. Luas dak : $\pm 665,55 \text{ m}^2$

3.3.2. Elevasi Bangunan

Data elevasi pada Rumah Susun Universitas Lampung disajikan dalam Tabel 16.

Tabel 16. Data elevasi bangunan

No	Lantai	Elevasi tiap lantai (m)	Tinggi Bangunan (m)
1	Lantai 1	+ 0,0	0
2	Lantai 2	+ 3,6	3,6
3	Lantai 3	+ 7,0	3,4
4	Dak	+ 10,4	3,4
5	Atap	+ 15,9	5,5

3.3.3. Balok

Rumah Susun Universitas Lampung terdiri dari dua struktur balok yaitu balok anak dan balok induk dengan dimensi yang berbeda-beda dengan mutu beton $f_c' = 25$ MPa. Untuk lebih detail lagi dapat dilihat pada Tabel 17 berikut ini.

Tabel 17. Data penulangan balok beton

No	Tipe Balok	Dimensi (mm)	Tumpuan			Lapangan		
			Atas	Bwh	Sengkng	Atas	Bwh	Sengkng
1	TB1	250 x 450	4D16	4D16	D10-150	4D16	4D16	D10-200
2	TB2	300 x 500	5D16	5D16	D10-150	5D16	5D16	D10-150
3	G1.1	250 x 550	5D16	3D16	D10-100	3D16	4D16	D10-200
4	G1.2	250 x 550	6D16	3D16	D10-100	3D16	6D16	D10-200
5	G2.1	250 x 450	5D16	3D16	D10-100	3D16	3D16	D10-200
6	G2.2	250 x 450	5D16	3D16	D10-100	3D16	4D16	D10-200
7	G2.3	250 x 450	4D16	2D16	D10-100	2D16	4D16	D10-200
8	G4.1	350 x 450	5D16	3D16	D10-100	3D16	3D16	D10-150
9	G5.1	350 x 350	6D16	4D16	D10-100	6D16	4D16	D10-100
10	B2.1	250 x 450	2D16	4D16	D10-100	2D16	4D16	D10-150
11	B2.2	250 x 450	2D16	2D16	D10-100	2D16	2D16	D10-100
12	B2.3	250 x 450	4D16	2D16	D10-100	4D16	2D16	D10-100
13	B3.1	200 x 400	2D16	2D16	D10-100	2D16	2D16	D10-100
14	B4.1	250 x 400	3D16	2D16	D10-100	2D16	3D16	D10-200

3.3.4. Kolom

Rumah Susun Universitas Lampung menggunakan 2 kolom persegi dan 1 kolom persegi panjang dengan ukuran yang berbeda, masing-masing diberi indeks K1, K2, dan K3 dengan mutu beton $f_c' = 25$ MPa. Berikut data penulangan kolom dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18. Data penulangan kolom beton

No	Tipe	Dimensi (mm)	Tulangan	Tumpuan		Lapangan	
				Geser	Bagi	Geser	Bagi
1	K1	450 x 450	12 D16	D10-100	D10-100	D10-150	D10-150
2	K2	300 x 300	8 D16	D10-100	-	D10-150	-
3	K3	300 x 550	10 D16	D10-100	D10-100	D10-150	D10-150

3.3.5. Pelat

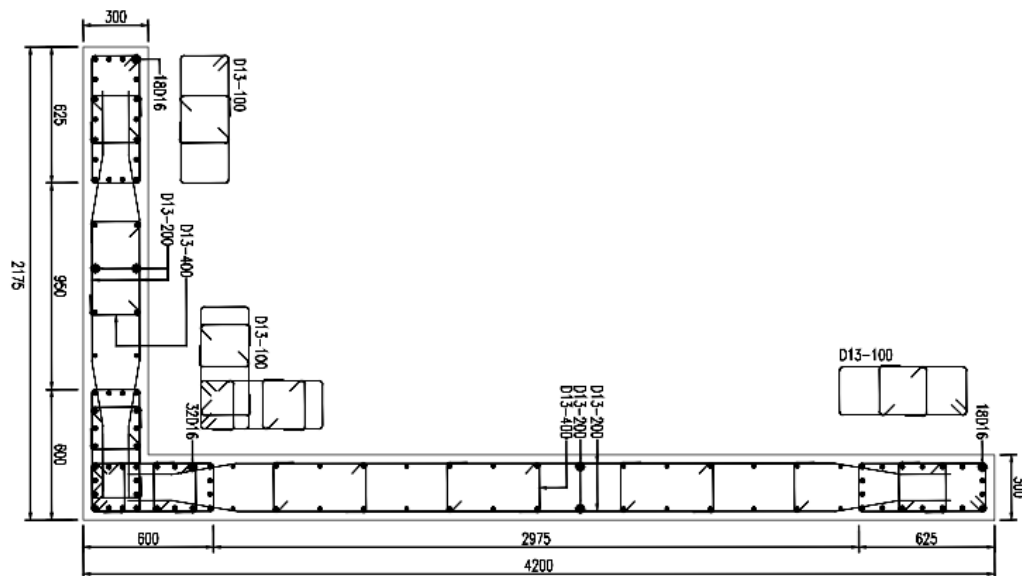
Rumah Susun Universitas Lampung menggunakan pelat dengan ketebalan yang berbeda-beda dan diberi indeks S1, S2, S3 dan S4. Ketebalan pelat disesuaikan dengan lokasi penggunaan pelat itu sendiri. Pelat dengan ketebalan 100 mm digunakan pada lantai 1, pelat dengan ketebalan 120 mm digunakan pada lantai 2-3, dan pelat dengan ketebalan 150 mm digunakan pada lantai dak. Mutu beton yang digunakan yaitu beton $f_c' = 25$ MPa. Secara umum, pemasangan tulangan pada pelat juga disesuaikan dengan ketebalan masing-masing pelat. Detail tulangan yang dipasang pada pelat dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 19. Data penulangan pelat beton

No	Tipe Pelat	Tebal (mm)	Tulangan Arah	
			X	Y
1	S1	100	M8-150	M8-150
2	S2	120	D10-150	D10-200
3	S3	150	D10-150	D10-150
4	S4	150	D13-100	D13-100

3.3.6. Dinding Geser

Rumah Susun Universitas Lampung menggunakan dinding geser untuk menahan beban-beban lateral dan diberi indeks SW1. Mutu beton yang digunakan yaitu beton $f_c' = 25$ MPa. Berikut detail penulangan dinding geser dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Detail penulangan dinding geser.

3.3.7. Data Tanah

Data tanah yang dibutuhkan dalam penelitian ini berupa nilai N-SPT dari hasil pengujian *bor log* pada lokasi penelitian. Nilai N-SPT digunakan untuk menentukan jenis tanah pada lokasi yang akan dianalisa untuk desain respon spektra. Setiap daerah memiliki situs atau jenis tanah yang berbeda-beda, oleh karena itu pengklasifikasian situs merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Klasifikasi situs digunakan untuk menentukan kategori desain seismik dan parameter respon spektra percepatan gempa terpetakan. Pengujian *bor log* dilakukan pada satu titik dengan kedalaman 8 m. Data hasil pengujian *bor log* pada titik 1 (BH-01) disajikan dalam Tabel 19.

Tabel 20. Nilai N-SPT pada BH-01

BORING LOG											
PROJECT NAME : PERENCANAAN PEMB. RUSUNAWA UNILA					LOCATION : LAMPUNG						
BORE HOLE NO. : BH 01					DRILLER : Yatino						
GROUND ELEVATION : -					DATA STARTED : 15 Juni 2021						
GROUND WATER LEVEL : -					DATA FINISHED : 16 Juni 2021						
Date	Depth (m)	Sampling/SPT	Unit	Boring Log	Core Recovery (%)	Thickness (m)	SOIL DESCRIPTION	N1 (0 - 15')	N2 (15 - 30')	N3 (30 - 45')	N VALUE
	-1					0,5	Lempung, warna kecoklatan				9
	-2					2,5	Lempung, warna coklat kehitaman	4	6	9	15
	-4							40	50/5	>50	>50
	-6					5,3	Batuan, warna hitam	50/15	50/5	>50	>50
	-8							45/15	50/7	>50	>50
	-9										
	-10										
	-11										
	-12										
	-13										
	-14										
	-15										
	-16										
	-17										
	-18										
	-19										
	-20										
	-21										

Ground Water Level

Undisturbed Sample

Standart Penetration Test

3.4. Tahapan Analisis

Metode penelitian ini menggunakan analisis *nonlinier pushover*. Pada analisis ini menggunakan bantuan program ETABS V19. Untuk mewujudkan uraian di atas, maka langkah analisis yang hendak dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Berikut tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

3.4.1. Studi Literatur

Studi literatur dari jurnal dan buku yang terkait dalam analisis *nonlinier pushover*. Mempelajari semua yang berhubungan dengan analisis *nonlinier pushover*. Buku acuan yang dipakai antara lain: SNI 1726:2019 tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, peraturan pembebanan berdasarkan peraturan pembebanan Indonesia untuk rumah dan gedung SNI 1727:2020, *Applied Technology Council for Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings volume 1* (ATC-40), *Federal Emergency Management Agency for Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings* (FEMA-356), *Federal Emergency Management Agency for Nehr p Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings* (FEMA 273), dan jurnal-jurnal yang berkaitan dengan analisis *pushover*.

3.4.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dan informasi Rumah Susun Universitas Lampung yang diteliti, baik data sekunder maupun data primer. Data yang didapat meliputi:

- a) *Shop Drawing* Rumah Susun Universitas Lampung

Data ini digunakan untuk pemodelan struktur 3D yang selanjutnya dianalisis dengan bantuan *software* ETABS V19. *Shop Drawing*

digunakan untuk tahapan pemodelan yang sesuai dengan gambar yang ada sehingga analisis ini tidak menyimpang dari gambar yang ada.

b) Data tanah

Data tanah yang digunakan berdasarkan data dari pengujian yang dilakukan pada saat perencanaan Rumah Susun. Data tanah digunakan untuk menentukan kelas situs dalam analisis struktur terhadap beban gempa.

3.4.3. Pemodelan 3D

Pembuatan model struktur bangunan Rumah Susun Universitas Lampung dengan pemodelan 3D sesuai dengan data dan informasi dari *Shop Drawing* Rumah Susun Universitas Lampung. *Software* ETABS V19 mengasumsikan bahwa sumbu global Z merupakan sumbu vertikal, dan bidang X-Y merupakan suatu bidang horizontal. Tahapan awal yang dilakukan adalah mendefinisikan material dan dimensi struktur yang digunakan. Setelah semua data material dan dimensi struktur sudah didefinisikan, langkah selanjutnya adalah menggambar letak balok, kolom, dinding geser, dan pelat sesuai dengan *Shop Drawing* yang telah diberikan.

3.4.3.1. Pemodelan Balok Konvensional dan Balok *Precast*

Pada pemodelan balok konvensional maupun *precast*, pada *frame section*, seluruh balok dimodelkan dengan penampang *rectangular* dan tulangan lentur balok dimodelkan sesuai dengan luas tulangan yang terdapat pada *Shop Drawing*. Selanjutnya, untuk balok konvensional dipilih *draw beam* dengan *moment releases continuous* supaya balok menjadi monolit dengan perletakannya, dan untuk balok *precast* dipilih *draw beam* dengan *moment releases pinned* supaya balok tidak monolit dengan perletakannya. Kemudian, untuk keperluan analisis *pushover*, sendi plastis dalam mekanisme lentur diberikan pada ujung-ujung balok utama.

3.4.3.2. Pemodelan Kolom Konvensional dan Kolom *Precast*

Seperti halnya pemodelan balok, pada *frame section*, semua kolom dimodelkan dengan penampang *rectangular* dan tulangan lentur balok dimodelkan sesuai dengan luas tulangan yang terdapat pada *Shop Drawing*. Selanjutnya, untuk kolom konvensional maupun *precast* dipilih *draw column* dengan *moment releases continuous* supaya momen yang terjadi pada kolom dapat diteruskan. Kemudian, untuk keperluan analisis *pushover*, sendi plastis dalam mekanisme lentur dan aksial diberikan pada ujung-ujung kolom.

3.4.3.3. Pemodelan Pelat Konvensional dan Pelat *Precast*

Pada pemodelan pelat konvensional maupun *precast*, pada *slab section*, pelat lantai dimodelkan sebagai *shell-thin* dengan *type slab*, dan untuk ketebalan (*thickness*) sesuai dengan ketebalan pelat yang terdapat pada *Shop Drawing*. Sebagai elemen *shell*, pelat lantai dimodelkan untuk mendistribusikan beban area di atas lantai pada balok sekitarnya. Oleh karena itu, pelat lantai dianggap sebagai *rigid diaphragm* dalam pemodelan, yang berfungsi sebagai penyalur beban lateral ke kolom-kolom bangunan serta agar pelat bergerak secara bersamaan menahan beban yang diberikan. Kemudian, untuk penulangan pelat tidak diikutsertakan dalam pemodelan.

3.4.3.4. Pemodelan Dinding Geser Konvensional dan Dinding Geser *Precast*

Pada pemodelan dinding geser konvensional maupun *precast*, pada *wall section*, dinding geser dimodelkan sebagai *shell-thin* dan diasumsikan menyatu dengan kolom dan balok *precast*. Selanjutnya, dilakukan *assign* untuk *pier label* agar ketika terjadi gempa, dinding geser akan bergerak secara bersamaan dalam menahan beban yang diberikan. Untuk penulangan *shearwall* (dinding geser) dilakukan pada *define general pier*

section dengan memasukkan tulangan pada *section designer* sesuai dengan luas tulangan yang terdapat pada *Shop Drawing*.

3.4.3.5. Pemodelan Struktur Lain

Pada pemodelan struktur lain seperti tangga dan bordes, tidak dimodelkan pada ETABS 19, melainkan hanya diasumsikan sebagai beban. Selanjutnya, pada struktur lain seperti pondasi, pemodelan pondasi bangunan dianggap dapat memberikan kekangan terhadap translasi dan rotasi, sehingga seluruh perletakan bangunan dimodelkan sebagai perletakan jepit (*fixed*). Kemudian pada struktur atas seperti pelat atap, hanya dimodelkan sebagai pelat tipis tanpa ketebalan yang hanya berfungsi untuk mentransfer beban ke elemen struktur di bawahnya.

3.4.4. Perhitungan Pembebanan

Menghitung beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati dan beban hidup. Beban mati yang dihitung berdasarkan pemodelan yang ada, di mana beban sendiri di dalam program ETABS V19 dimasukkan dalam *load case Dead*, sedangkan berat sendiri tambahan yang tidak dapat dimodelkan dalam program ETABS V19 dimasukkan dalam *load case Super Dead*. Perhitungan berat sendiri ini dalam program ETABS V19 untuk *Dead* adalah *self weight multiplier* 1, sedangkan *Super Dead* adalah *self weight multiplier* 0, di mana beban untuk *Dead* telah dihitung secara otomatis oleh program ETABS V19 berdasarkan input data material dan dimensi struktur yang digunakan, sedangkan untuk beban *Super Dead* bebannya perlu dimasukkan secara manual pada *assign shell load*, dan untuk beban dinding dimasukkan pada *assign frame load* sesuai dengan peraturan pembebanan yang digunakan.

Beban hidup yang dimasukkan dalam program ETABS V19 dinotasikan dalam *load case Live* dengan *self weight multiplier* 0. Beban

hidup disesuaikan dengan fungsi ruangan di dalam gedung sehingga nilai untuk beban hidup tiap lantai berbeda-beda. Perhitungan pembebanan pada lantai atap didefinisikan pada *load case Roof* dengan *self weight multiplier* 0. Beban hidup dimasukkan secara manual pada *assign shell load* dan untuk nilai beban hidup diperoleh dari peraturan pembebanan yang digunakan.

3.4.5. Analisis Respons Spektrum

Menganalisis model struktur dengan respons spektrum untuk mendapatkan kurva respons spektrum sesuai wilayah gempa yang dianalisis dengan bantuan program ETABS V19. Dalam tahap pertama yang dilakukan adalah menentukan data parameter respon seismik struktur berdasarkan fungsi bangunan, lokasi bangunan, jenis tanah, dan tipe struktur yang digunakan. Parameter respon seismik yang pertama harus ditentukan yaitu kategori risiko struktur sesuai dengan ketentuan pada SNI 1726:2019. Selanjutnya menentukan parameter respon seismik berupa nilai percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek dan periode 1 detik (S_s dan S_I) dan parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek dan periode 1 detik (S_{DS} dan S_{DI}) yang diperoleh dari web puskim.go.id. Setelah itu menentukan kategori desain struktur berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{DI} . Langkah selanjutnya yaitu menentukan koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω), dan faktor pembesaran defleksi (C_d) berdasarkan sistem pemikul gaya seismik sesuai dengan SNI 1726:2019. Data-data yang telah diperoleh tersebut selanjutnya akan dimasukkan ke dalam program ETABS V19 untuk dianalisis.

Dalam pemodelan beban gempa respons spektrum pada ETABS V19, tahap pertama yang dilakukan adalah mendefinisikan *function response spectrum*, kemudian *define load pattern* untuk beban gempa. Langkah selanjutnya mendefinisikan respons spektrum gempa arah x (U1) dan arah y (U2) pada *load case data* dengan memasukkan faktor skala awal. Kemudian mendefinisikan *mass source* sesuai dengan ketentuan pada SNI 1726:2019. Setelah data respons spektrum dimasukkan, tahap selanjutnya

adalah menganalisis data struktur yang akan menghasilkan *output* berupa *story response* akibat beban gempa arah x dan arah y dari program ETABS V19.

3.4.6. Perhitungan Beban Gempa

Dalam menganalisis elemen struktur bangunan yang ditinjau, beban gempa dianggap sebagai beban statik ekuivalen pada tiap lantainya. Dalam subbab ini diuraikan mengenai prosedur statik ekuivalen untuk mendapatkan distribusi gaya lateral gempa tiap lantainya.

1. Perhitungan waktu getar alami struktur (T_a). Perhitungan waktu getar struktur ini dihitung secara empiris dengan rumus:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (49)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 8.

Selanjutnya dalam menganalisis perilaku struktur, dilakukan pembatasan terhadap nilai periode dengan menghitung batas atas periode struktur dengan mengalikan periode fundamental pendekatan dengan koefisien C_u . Periode fundamental struktur tidak boleh melebihi nilai perkalian tersebut. Koefisien nilai C_u dapat ditentukan melalui Tabel 9.

2. Distribusi vertikal gaya seismik

Gaya seismik lateral, F_x , (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} V \quad (50)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (51)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal.

- V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN).
 w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x .
 h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m).
 k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:
 untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$
 untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$
 untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

3. Distribusi gaya geser dasar horizontal

Berdasarkan Pasal 7.8.1 SNI 1726:2019, gaya geser dasar seismik ditentukan dengan persamaan:

$$V = C_s W \quad (52)$$

Untuk nilai C_s dapat ditentukan dengan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (53)$$

Nilai C_s tidak boleh melebihi persamaan:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (54)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (55)$$

C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (56)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah dengan nilai $S_I \geq 0,6$ g, maka

C_s tidak boleh kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (57)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik.

W = berat seismik efektif.

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.

R = koefisien modifikasi respons.

I_e = faktor keutamaan gempa.

S_{D1} = parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1,0 detik.

T = periode fundamental struktur (detik).

S_I = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan.

3.4.7. Penentuan Sendi Plastis

Pemasukan data sendi plastis pada model struktur bangunan sesuai dengan penentuan tempat terjadinya sendi plastis. Sendi plastis diharapkan terjadi pada balok utama dan kolom. Untuk balok dikenakan beban momen arah sumbu lokal 3 (M3), sedangkan pada kolom dikenakan beban gaya aksial (P) dan momen (M) sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 (PM2M3).

3.4.8. Analisis Pembebanan *Nonlinier Pushover*

Pada *static pushover case* dibuat dua macam pembebanan, dimana yang pertama adalah pembebanan akibat beban gravitasi. Dalam analisis ini beban gravitasi yang digunakan adalah beban mati dengan koefisien 1 dan beban hidup dengan koefisien 1 (dianggap analisis tanpa dipengaruhi koefisien apapun). Setelah kondisi pertama selesai dijalankan, pembebanan bangunan dilanjutkan dengan kondisi kedua yakni akibat beban lateral. Pola beban lateral yang mewakili gaya inersia akibat gempa pada tiap lantai, yang diperoleh dari pembebanan dengan pola beban mengikuti *mode* pertama

struktur. Arah pembebanan lateral dilakukan searah dengan sumbu utama bangunan.

Pada *static pushover case* untuk beban gravitasi, dipilih *push to load level defined by pattern*, karena beban gravitasi yang bekerja sudah diketahui besarnya melalui perhitungan. Pada analisis ini *pushover case* untuk beban gravitasi diberi nama *GRAV*.

Untuk beban lateral digunakan *push to displacement magnitude* yang artinya proses *pushover* dilakukan hingga target *displacement* tercapai. Pola pembebanan yang diberikan secara berangsur-angsur adalah sesuai dengan mode pertama struktur. Keadaan awal untuk kondisi pembebanan ini diambil dari kondisi *pushover* sebelumnya yaitu *pushover case GRAV*. Hasil *pushover* disimpan secara *multiple states* dengan jumlah minimum 5 *steps* dan maksimum 1001 *steps*. Pada penelitian ini *pushover case* untuk beban lateral akibat gempa diberi nama *PUSH*.

3.4.9. Analisis Kinerja Struktur dari Hasil Analisis *Pushover*

Pada program ETABS V19, hasil analisis didapat *pushover* kurva kapasitas yang menunjukkan perilaku struktur saat dikenai gaya geser pada level tertentu, kurva respons spektrum yang sesuai dengan wilayah gempa yang ada, diagram leleh sendi plastis pada balok dan kolom.

Respons spektrum dalam format ADRS yang diplotkan dengan kurva kapasitas didapatkan *performance point*. Proses konversi dilakukan sepenuhnya oleh program ETABS V19.

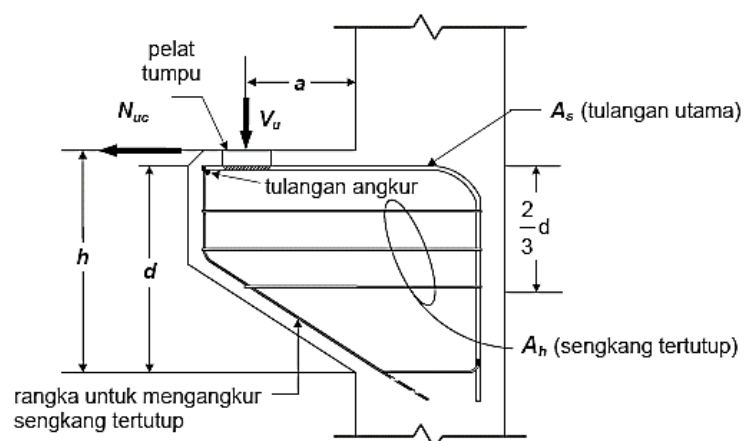
3.4.10. Perencanaan Sambungan Beton *Precast*

Setelah hasil analisis *pushover* selesai, dan diperoleh *output* akhir dari program ETABS V19, maka selanjutnya dilakukan perencanaan sambungan. Dalam perencanaan sambungan dilakukan sesuai dengan peraturan SNI 2847:2019 pasal 16.2. Jenis sambungan yang digunakan adalah sambungan dengan menggunakan baut kemudian dilakukan *grout*

pada sambungan tersebut agar beton menjadi struktur yang monolit. Produk sambungan yang digunakan adalah sambungan *Bolt Connections*.

3.4.10.1. Perencanaan Konsol Pendek

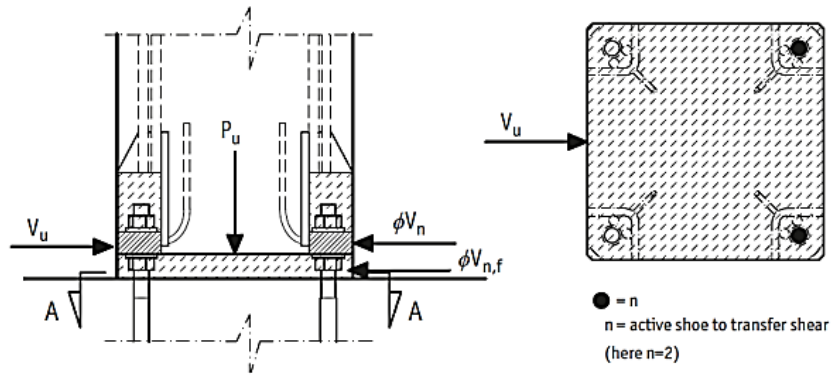
Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakan pada konsol yang berada pada kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 16.5 mengenai konsol pendek. Bentuk konsol pendek yang dipakai dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 23. Parameter geometri konsol pendek (Sumber: Mulyawan, 2017).

3.4.10.2. Sambungan *Base Plate* – Kolom / Kolom – Kolom

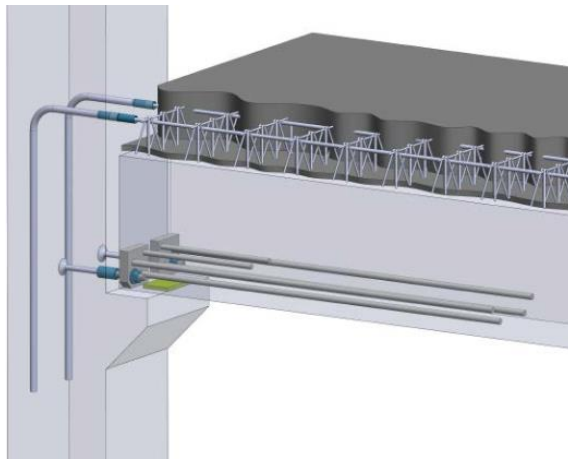
Perencanaan sambungan antar kolom berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.4.2. Pada sambungan ini digunakan *HPKM Column Shoe* digunakan bersamaan dengan *HPM Rebar Anchor Bolts*. *Column Shoe* berada pada kolom sedangkan *Rebar Anchor Bolt* berada pada struktur di bawah kolom. Instalasi sambungan kolom ini tidak perlu ditambahkan pengaku (*bracing*) karena *HPKM Column Shoe* dan *HPM Anchor Bolts* sendiri sudah berfungsi menahan beban saat tahap ereksi.



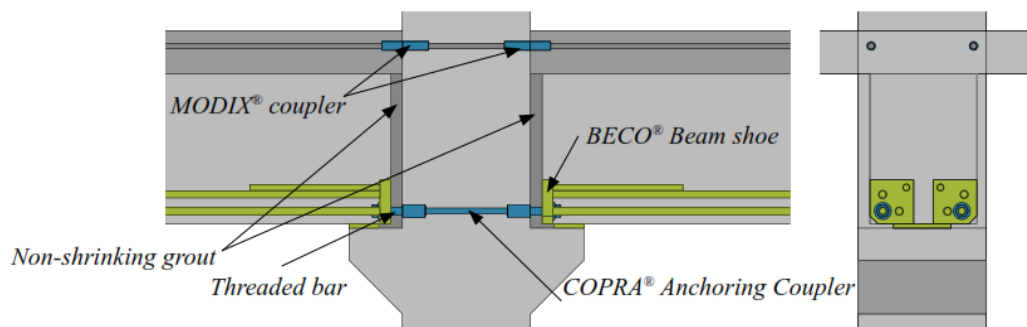
Gambar 24. Gaya aksial dan gaya geser kolom (Sumber: Mulyawan, 2017).

3.4.10.3. Sambungan Balok – Kolom

Sambungan balok – kolom berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.4.3. Pada sambungan ini digunakan *BECO Beam Shoe* bersamaan dengan *COPRA Anchoring Couplers*. *Beam Shoe* berada di dalam balok sedangkan *Anchoring Coupler* berada pada kolom.



Gambar 25. *Single sided connection* pada sambungan balok – kolom (Sumber: Mulyawan, 2017).



Gambar 26. *Double sided connection* pada sambungan balok – kolom (Sumber: Mulyawan, 2017).

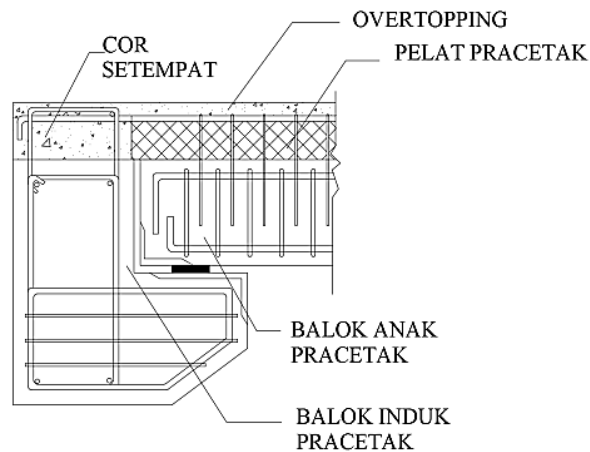
3.4.10.4. Sambungan Balok Induk – Balok Anak

Balok anak diletakkan menumpu pada tepi balok induk dengan ketentuan panjang landasan sesuai dengan Tabel 21. Untuk membuat integritas struktur, maka tulangan utama balok anak baik yang tulangan atas maupun bawah dibuat menerus dengan kait standar yang pendetailannya sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25. Dalam perencanaan sambungan balok induk dengan balok anak digunakan konsol pada balok induk, kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk ini sama dengan perencanaan konsol pada kolom.

Tabel 21. Dimensi desain minimum dari muka tumpuan ke ujung komponen pracetak

Jenis bagian	Jarak minimal, mm
Solid atau pelat berongga	Terbesar dari: $l_n / 180$ 50
Balok atau <i>stemmed member</i>	Terbesar dari: $l_n / 180$ 75

Sumber: SNI 2847:2019

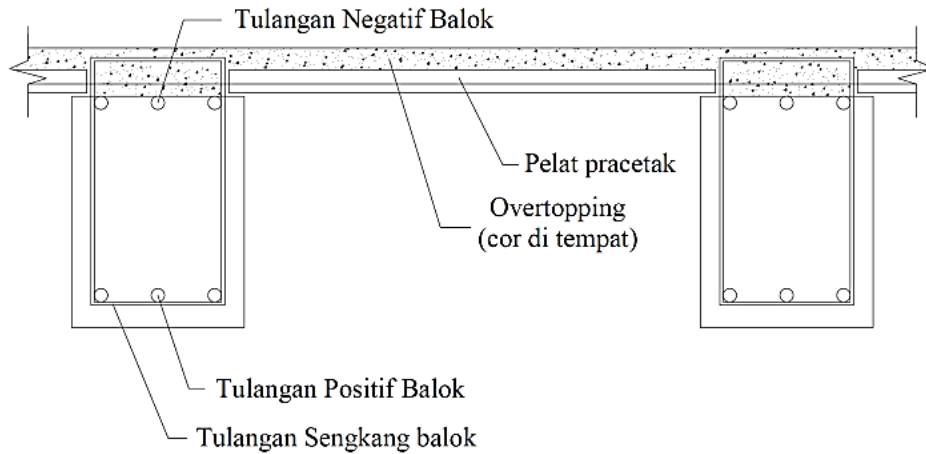


Gambar 27. Sambungan balok induk dengan balok anak (Sumber: Mulyawan, 2017).

3.4.10.5. Sambungan Balok – Pelat Lantai

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen – elemen ini, maka harus dipastikan gaya – gaya yang bekerja pada pelat pracetak tersalurkan pada elemen balok. Hal ini dapat dilakukan dengan cara – cara sebagai berikut:

- Kombinasi dengan beton cor di tempat (*topping*).
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan dalam SNI 2847:2019 pasal 25.
- *Grouting* pada tumpuan atau bidang kontak antara pelat pracetak dengan balok pracetak.



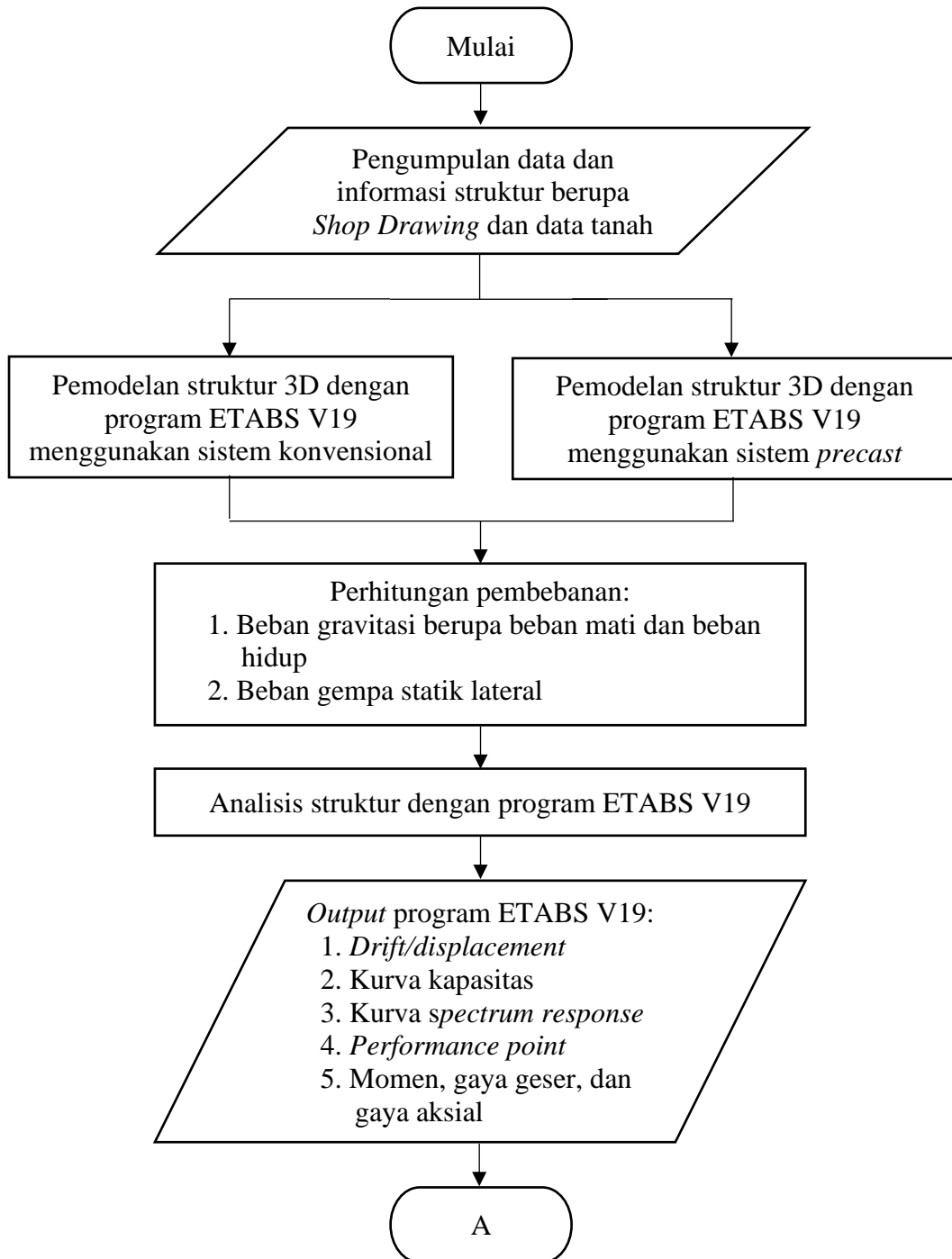
Gambar 28. Sambungan balok induk dengan pelat (Sumber: Mulyawan, 2017).

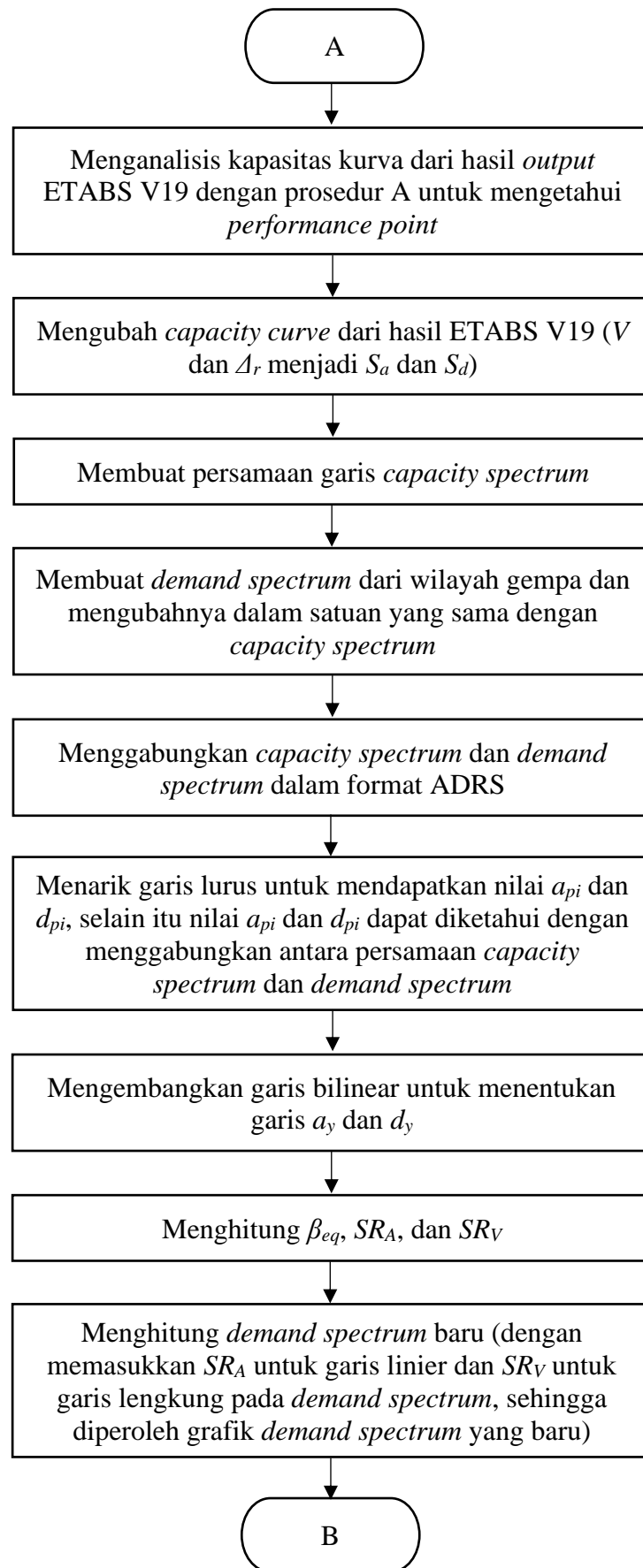
3.4.11. Pembahasan Hasil Analisis *Pushover* dari Program ETABS

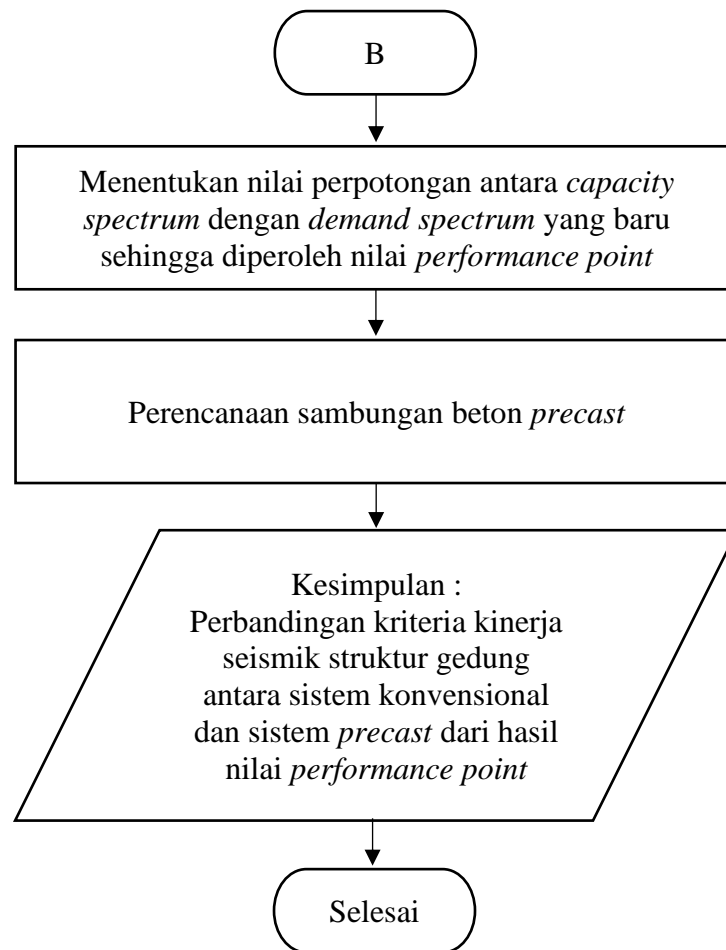
Dari *performance point* didapatkan nilai *displacement* efektif, gaya geser dasar, waktu getar efektif, dan *damping* efektif. Dari nilai *displacement* akan diketahui kriteria kinerja *seismik* struktur berdasarkan ATC-40. Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, maka dapat dibuat kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

3.5. Diagram Alir Penelitian

Dalam melakukan penelitian, langkah-langkah yang dilakukan dapat dilihat pada *flowchart* berikut ini.







Gambar 29. Diagram alir penelitian analisis *pushover*.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Setelah menganalisis dan mengevaluasi struktur Rumah Susun Universitas Lampung menggunakan metode analisis *pushover*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Performance point* gedung adalah sebagai berikut:

Metode		β_{eff} (%)	Sd (m)	Sa (g)	Performance Level
Hasil ETABS V19	Konvensional	17,71	0,0285	0,8067	Immediate Occupancy
	Precast	17,8	0,073	1,7233	Immediate Occupancy
Prosedur A	Konvensional	17,084	0,0052	0,9544	Immediate Occupancy
	Precast	6,5958	0,0085	0,7926	Immediate Occupancy

2. Berdasarkan kurva kapasitas tinjauan arah Y untuk sistem konvensional maupun *precast* memberikan gambaran perilaku struktur mulai dari tahap kondisi *elastic*, *inelastic*, kemudian mengalami keruntuhan yang ditunjukkan kurva dengan penurunan tajam.
3. Pada sistem konvensional memiliki nilai kapasitas *displacement* maksimal sebesar 83,3290 mm dan nilai *base force* maksimal sebesar 16901,1096 kN. Sedangkan pada sistem *precast* memiliki nilai kapasitas *displacement* maksimal sebesar 113,492 mm dan nilai *base force* maksimal sebesar 9281,8481 kN yang mampu ditahan sebelum bangunan hancur.
4. Struktur Rumah Susun Universitas Lampung baik dengan sistem konvensional maupun sistem *precast* telah memenuhi kriteria Konsep desain *strong column weak beam*.

5. Jenis sambungan yang dipakai dalam pemodelan struktur pada sistem *precast* telah memenuhi persyaratan panjang penyaluran sesuai dengan SNI 2847:2019.

5.2. Saran

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka terdapat beberapa saran antara lain:

1. Analisis *pushover* perlu dicoba pada gedung tinggi lainnya untuk mendalami perilaku seismik gedung bertingkat banyak.
2. Membandingkan hasil evaluasi kinerja gempa struktur metode distribusi *statik ekuivalen* dengan metode analisis respon riwayat waktu.
3. Perlunya pemahaman dan pembelajaran lebih lanjut dalam penggunaan *software* analisis struktur agar mempermudah untuk melakukan analisis struktur.
4. Diperlukan penelitian lebih lanjut terkait konsep sambungan yang digunakan oleh penulis dalam pembuatan Tugas Akhir ini, karena analisa yang digunakan hanya melalui kekuatan aksial dari brosur produk sambungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustinus, P. N. S. dan Lesmana, C. 2018. Analisis Kelayakan Struktur Bangunan Publik 5 Lantai di Kota Jakarta. *Jurnal Teknik Sipil*, 14(2), p.7.
- Arifin, Z., Suryadi dan Sebayang, S. 2015. Analisis Struktur Gedung POP Hotel Terhadap Beban Gempa dengan Metode *Pushover Analysis*. *Jurnal JRSDD*, 3(3), p.9.
- ATC 40. 1996. *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. Applied Technology Council. Redwood City, California. U.S.A.
- Azwar, Lucyana dan Destiarini. 2020. Evaluasi Kerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisa Pushover Prosdure A Menggunakan Rogram Etabs V.9.5.0 Pada Bangunan Geng Perkuliahan Fakultas Ekonomi Universitas Baturaja. *Jurnal Informanika*, 6(1), p.2.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2017. *BMKG / Balai Besar MKG Wilayah III Denpasar*. <http://balai3.denpasar.bmkg.go.id/tentang-gempa>. Diakses pada 8 April 2022.
- Dewi, R. S. K. 2011. Konstruksi Pracetak Tahan Gempa Pada Rumah Susun Sewa Sederhana Universitas Muhammadiyah Malang. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 9(1), p.1.
- Fadzilah, M. 2022. *Evaluasi Kekuatan Struktur Gedung Bertingkat Akibat Pengaruh Beban Gempa Menggunakan Analisis Dinamik Respon Spektrum*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 253 p.
- FEMA 273. 1997. *Nehrp Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency. Washington, D.C.
- Hutama, B. P. 2021. Evaluasi Kinerja Bangunan Rumah Sakit Santa Maria Pemalang dengan *Non-linier Static Pushover Analysis* Metode ATC-40 dan FEMA 440. *Jurnal INERSIA*, 17(2), p.3.
- Laresi, Y. T. 2017. *Analisis Pushover Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai*. (Skripsi). Universitas Bakrie. Jakarta. 104 p.

- Miana, M. 2022. *Dampak Gempa Banten*. <https://www.harianhaluan.com/nasional/pr-102406597/dampak-gempa-banten-3078-rumah-rusak-dan-10-orang-luka-luka>. Diakses pada 8 April 2022.
- Mulyawan, A. S. 2017. *Perencanaan Gedung Mercantile Tower Menggunakan Metode Beton Pracetak dengan Sambungan Kering dan Sistem Ganda*. (Skripsi). Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 345 p.
- Mustofa, I., Winarto, S. dan Ridwan, A. 2018. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Pada Gedung Universitas Tulungagung. *Jurnal JURMATEKS*, 1(2), p.3.
- Najoan, C. H., Tjakra, J. dan Pratasih, P. A. K. 2016. Analisis Metode Pelaksanaan Plat *precast* dengan plat konvensional ditinjau dari waktu dan biaya. *Jurnal Sipil Statik*, 4(5), p.3.
- Pan, W., Gibb, A. and Dainty, A. 2008. Leading UK housebuilders' utilization of offsite construction methods. *Building Research & Information*, 36(1), pp.56-67.
- Potalangi, J. G., Manalip, H. dan Wallah, S. E. 2020. Analisis Keruntuhan Gedung Bertingkat Akibat Beban Gempa dan Beban Angin dengan Metode *Pushover*. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 10(1), p.4.
- Riyanto, H. 2010. *Perilaku Statis Struktur Beton Pracetak dengan Sistem Sambungan Basah*. (Skripsi). Universitas Bandar Lampung. Lampung. 11 p.
- Saputra, A. A. 2018. *Evaluasi Kinerja Dan Kerentanan Seismik Gedung Fasilitas Pendidikan Dengan Analisis Pushover Dan Metode Hazus*. (Skripsi). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta. 52 p.
- SNI 1726. 2019. *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1727. 2020. *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2847. 2019. *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Wahyudi, H. dan Hanggoro, H. D. 2010. *Perencanaan Struktur Gedung BPS Provinsi Jawa Tengah Menggunakan Beton Pracetak*. (Thesis). Universitas Diponegoro. Semarang. 307 p.
- Wiranata, A., Ristinah, S. dan Hidayat, M. T. 2014. Studi Analisis Sambungan Balok-Kolom dengan Sistem Pracetak Pada Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya*, 1(2), p.5.