

SKRIPSI
ANALISA KINERJA SEISMIC STRUKTUR BETON DENGAN METODE
***PUSHOVER* MENGGUNAKAN SNI GEMPA 1726:2019**
(*STUDI KASUS GEDUNG HOTEL GOLDEN TULIP MATARAM*)

Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi
Pada Program Studi Teknik Sipil Jenjang Starta I
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Mataram



DISUSUN OLEH :

ARIF JULIANSYAH
417110009

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
2022

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

SKRIPSI

**ANALISA KINERJA SEISMIK STRUKTUR BETON DENGAN METODE
PUSHOVER MENGGUNAKAN SNI GEMPA 1726:2019
(STUDI KASUS GEDUNG HOTEL GOLDEN TULIP MATARAM)**

Disusun Oleh

ARIF JULIANSYAH
417110009

Mataram, 27 Mei 2022

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Eng. Hariyadi, ST.,M.Sc (Eng)
NIDN. 0027107301

Maya Saridewi Pascanawaty, ST.,MT.
NIDN.0820098001

Mengetahui,

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK**

**Dekan,
Mewakili Wakil Dekan I**

Fariz Primadi Hirsan, ST, M]
NIDN 0804118001

Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT
NIDN. 0824017501

**HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI
SKRIPSI**

**ANALISA KINERJA SEISMIK STRUKTUR BETON DENGAN METODE
PUSHOVER MENGGUNAKAN SNI GEMPA 1726:2019
(STUDI KASUS GEDUNG HOTEL GOLDEN TULIP MATARAM)**

Yang Dipersiapkan dan Disusun Oleh:

NAMA : ARIF JULIANSYAH
NIM : 417110009

Telah dipertahankan didepan Tim Penguji
Pada Selasa, 21 Juni 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I : Agustini Ernawati, ST., M.Tech _____
2. Penguji II : Maya Saridewi Pascanawaty, ST., MT _____
3. Penguji III : Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT _____

Mengetahui,

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK**

Dekan,

Mewakili Wakil Dekan I

Fariz Primadi Hirsan, ST., M.I
NIDN. 0804118001

Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT
NIDN. 0824017501

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Arif Juliasnsyah

NIM : 417110009

Fakultas/prodi : Teknik/Teknik Sipil

Judul Skripsi : "Analisa Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Metode
Pushover Menggunakan SNI Gempa 1726:2019 (Studi Kasus
Gedung Hotel Golden Tulip Mataram)".

menyatakan dengan benar-benar bahwa kripsi dengan judul diatas adalah hasil karya sendiri dan tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik suatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebut dalam sumber kutipan dan daftar pustaka

apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh strata satu (S-1) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003.Pasal 25 ayat 2 dan ayat 27).

Mataram, 15 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan



ARIF JULIANSYAH
417110009



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

SURAT PERNYATAAN BEBAS
PLAGIARISME

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ARIF Juliansyah
NIM : 417110009
Tempat/Tgl Lahir : Demopo, 12 Januari 1997
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp : 082 - 390 - 797 - 948
Email : Arif.juliansyah08@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/KTI/Tesis* saya yang berjudul :

Analisa Lembaran Sersand Struktur Beton Perjan
Metode Pushover Menggunakan SNI 1726:2010
(Studi Kasus Gedung Flatel Golden Tulip Mataram)

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 36%

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milik orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dan disebutkan sumber secara lengkap dalam daftar pustaka, saya **bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum** sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Mataram.

Demikain surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan untuk dipergunakan sebagai mana mestinya.

Mataram, 15 Agustus.....2022
Penulis



ARIF Juliansyah
NIM. 417110009

Mengetahui,
Kepala UPT Perpustakaan UMMAT



Iskandar, S.Sos.,M.A.
NIDN. 0802048904

*pilih salah satu yang sesuai



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

**SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arif Zuliansyah
NIM : 417110009
Tempat/Tgl Lahir : Pompu, 12 Januari 1997
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp/Email : 082-340-797-913
Jenis Penelitian : Skripsi KTI Tesis

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama *tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta* atas karya ilmiah saya berjudul:

Analisa Penyeja Sisi Sisi Struktur Beton Ringan
Metode Pushover menggunakan SNI 1726 : 2019
(Studi Kasus Gedung Hotel Golden Tulip Mataram)

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Mataram, 15 Agustus 2022
Penulis

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT


Arif Zuliansyah
NIM. 417110009



Iskandar, S.Sos., M.A.
NIDN. 0802048904

MOTTO HIDUP

“ Kesulitan hari ini adalah kekuatan mu dimasa depan. Berusahalah semaksimal mungkin, setelah itu cukup bertawakal, urusan mu pasti Allah kawal”

“ Hidup ini seperti sepeda, agar tetap terus seimbang kamu harus tetap bergerak, harus tetap memberi manfaat”

*“ Yā ayyuhallāzīna āmanū in tanṣurullāha yanṣurkum wa yuṣabbit aqdāmakum
Terjemah Arti: Hai orang-orang mukmin, jika kamu menolong (agama) Allah,
niscaya Dia akan menolongmu dan meneguhkan kedudukanmu”*



KATA PENGANTAR



Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan, Sholawat dan salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta para sahabat dan keluarga beliau yang telah mampu menjadi suri dan tauladan dalam menjalani kehidupan di dunia dan akhirat.

Penyusunan skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya bantuan serta kemurahan hati dari berbagai pihak. Maka penulis ingin menyampaikan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada bapak Dr. Eng. Hariyadi, ST.,M.Sc (Eng), sebagai dosen pembimbing I, dan Ibu Maya Saridewi Pascanawaty, ST., MT, sebagai dosen pembimbing II yang telah membimbing mulai dari awal hingga selesainya penyusunan skripsi. Serta perkenankanlah penulis menghaturkan ucapan dan rasa terima kasih yang tak ternilai besarnya kepada:

1. Dr. H. Arsyad Abd. Gani, M.pd. selaku Rektorat Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Agustini Ernawati, ST., M.Tech., selaku Ketua prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Semua pihak yang berkaitan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena keterbatasan pengetahuan dan referensi yang ada, maka kritik, saran maupun masukan yang sifatnya membangun demi penyempurnaan isi dari skripsi ini sangat diharapkan.

Mataram, 15 Agustus 2022

ARIF JULIANSYAH
417110009

ABSTRAK

Gempa bumi yang terjadi di Pulau Lombok pada tahun 2018 mengakibatkan kerusakan pada beberapa struktur, salah satunya yaitu bangunan Hotel Golden Tulip Mataram, hal inilah yang mendasar perlu adanya penelitian yang mendasar tentang bagaimana pengaruh kinerja seismik struktur beton dengan metode *Pushover* menggunakan standar SNI gempa terbaru 1726:2019. Metode ini mampu memberikan informasi pola keruntuhan bangunan yang sudah ada ketika terbebani gaya gempa yang melebihi kapasitas bangunan dan titik mulai terjadinya keruntuhan sampai pada struktur gedung mengalami keruntuhan.

Metode pengambilan data pada penelitian ini menggunakan data sekunder dari gambar kerja struktur, hasil bor dan sondir Hotel Golden Tulip Mataram. Yang kemudian dianalisis menggunakan metode *pushover*. Prinsip kerja *pushover* adalah dengan menginput data beban mati, beban hidup dan beban gempa serta parameter sesuai dengan ketentuan peraturan yang berlaku. Hasil yang diperoleh ditinjau terhadap peraturan yang ada seperti SNI 1726-2019 dan standar ATC-40 guna mengetahui kriteria kinerja dan kemampuan struktur serta pola keruntuhan yang terjadi.

Dari hasil analisis *pushover* diperoleh nilai antara lain, gaya geser dasar efektif (V) sebesar 9962,787 KN, simpangan atap (D) sebesar 0,127 m, periode efektif (T) sebesar 1,380 detik dan redaman efektif (β) sebesar 6,7 %. Dari nilai tersebut dapat ditentukan kriteria kinerja struktur berdasarkan code ATC-40. Dimana struktur masuk dalam kategori kriteria *Live Safety* (LS), berarti melebihi kriteria *Immediate Occupancy* (IO) SP-1 dan *Damage Control* SP-2. Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, dan resiko korban jiwa manusia sangat kecil.

Mekanisme sendi plastis terlebih dahulu terjadi pada kolom, tepatnya pada lantai 3 (tiga). Hal ini menggambarkan bahwa perencanaan struktur dari gedung tersebut, tidak memenuhi konsep *strong coloumn-weak beam* (kolom kuat-balok lemah). Namun termasuk dalam konsep, *strong beam-weak coulumn* (balok kuat-kolom lemah.) Perencanaan dengan konsep tersebut dinilai kurang baik, karena kegagalan dari kolom pada suatu tingkat akan mengakibatkan keruntuhan dari struktur bangunan secara keseluruhan. Maka untukantisipasi terhadap keruntuhan struktur apabila terjadi gempa yang melebihi kapasitas struktur bangunan tersebut, perlu dilakukan tindakan teknis dalam upaya meningkatkan kekakuan kolom pada lantai dasar tersebut. Adapun salah satu cara yang dapat ditempuh adalah dengan memasang dinding geser pada tepi kolom, mengikuti posisi balok penumpu sehingga tidak mengurangi nilai estetika dari struktur bangunan tersebut.

Kata Kunci : gempa, metode *pushover*, statik nonlinear.

ABSTRACT

The Golden Tulip Hotel Mataram building was among the structures damaged by the earthquake that struck Lombok Island in 2018. This highlights the fundamental need for basic research on the impact of the seismic performance of concrete structures using the Pushover method and the most recent SNI earthquake standards 1726:2019. This method can provide information on the pattern of building collapses caused by earthquake loads that are greater than the building's capacity as well as the moment at which the building collapses.

Secondary data from structural working drawings, drill findings, and the *sondir* at the Golden Tulip Hotel Mataram were employed in this study's data gathering technique, in which the pushover approach is then used to investigate. The entry of dead load data, live load, earthquake load, as well as parameters in compliance with applicable regulations, is the basic operating principle of Pushover. In order to ascertain the performance standards, structural capabilities, and pattern of failure that happened. The results were compared to current rules such SNI 1726-2019 and the ATC-40 standard.

The effective base shear force (V) of 9962,787 KN, the roof deviation (D) of 0.127 m, the effective period (T) of 1.380 seconds, and the effective damping (β) of 6.7% were among the numbers derived from the pushover analysis results. Based on this number and the ATC-40 code, the structural performance criteria can be established. When a structure meets the Live Safety (LS) standards, it signifies that it is more suitable for immediate occupancy (IO) SP-1 and damage control SP-2 than other structures. The building can still endure the earthquake that happened, and there is extremely little chance that any people will get hurt.

On the third floor, specifically, the column has the first instance of the plastic hinge mechanism. This demonstrates how the building's structural plan does not adhere to the strong column-weak beam principle. However, it is a part of the strong beam-weak column paradigm. Planning using this idea is seen as inadequate because the collapse of the building structure as a whole will occur if the column at one level fails. Therefore, technical steps must be taken to raise the stiffness of the ground floor column in order to prevent the structure from collapsing in the case of an earthquake that is stronger than the building's structural capacity. Installing a shear wall on the edge of the column and aligning it with the position of the supporting beam is one approach that may be used to prevent the building structure from losing its aesthetic appeal.

Keywords: *Earthquake, Pushover Method, Nonlinear Static.*



DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENEGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS.....	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
MOTO HIDUP.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Landasan Teori	8
2.3 Prosedur Analisis Gempa	9
2.3.1 Menentukan kategori resiko struktur gedung.....	9
2.3.2 Menentukan parameter percepatan gempa terpetakan (S_s, S_I)	12
2.3.3 Menentukan kelas situs (SA – SF)	13
2.3.4 Menentukan koefisien-koefisien situs dan paramater- parameter respons spektral percepatan gempa	

maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE _R)	15
2.3.5 Menentukan parameter percepatan spektral desain	16
2.3.6 Menghitung periode getar fundamental struktur	16
2.3.7 Menentukan <i>spektrum respons</i> desain	17
2.3.8 Menentukan kategori desain seismik (KDS).....	18
2.3.9 Pemilihan sistem struktur dan parameter sistem (R , C_d , Ω_0).....	20
2.4 Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Struktur Bangunan.....	21
2.4.1 Beban mati	21
2.4.2 Beban hidup.....	24
2.5 Prosedur Analisis Gaya Lateral Pada Struktur Bangunan.....	25
2.5.1 Gaya geser dasar seismik.....	25
2.5.2 Periode fundamental	26
2.6 Distribusi Gaya Gempa	28
2.6.1 Distribusi gaya gempa vertikal.....	28
2.6.2 Distribusi gaya gempa horizontal.....	29
2.6.3 Pemodelan sendi plastis	29
2.7 Analisis <i>Pushover</i> dengan Metode Kapasitas.....	31
2.7.1 Target perpindahan	33
2.7.2 Metode <i>capacity spektrum</i>	34
2.7.3 Kurva kapasitas	36
2.7.4 <i>Performance point</i>	36
BAB III METODE PENELITIAN	37
3.1 Data Struktur Bangunan	37
3.1.1 Model struktur gedung.....	37
3.1.2 Gambar kerja dan desain gedung	38
3.1.3 Spesifikasi bahan	41
3.2 Tahap Analisis	42
3.2.1 Studi literatur.....	42
3.2.2 Pengumpulan data.....	43

3.3 Langkah-langkah Metode <i>Pushover Analisis</i>	43
3.3.1 Perhitungan pembebanan	44
3.4 Diagram alir penelitian.....	46
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Data Spesifikasi Bangunan.....	49
4.1.1 Data bangunan.....	49
4.1.2 Data material dan fungsi bangunan	50
4.2 Analisis Struktur Bangunan	50
4.2.1 Model struktur	50
4.2.2 Pembebanan struktur.....	52
4.2.3 Menentukan <i>respons spektrum desain</i>	64
4.2.4 Berat struktur dan letak pusat massa lantai	71
4.3 Pengecekan Perilaku Struktur	72
4.3.1 Pemeriksaan jumlah ragam	72
4.4 Hasil Analisis <i>Pushover</i>	73
4.5 Pembahasan Hasil Analisis <i>Pushover</i>	76
4.5.1 Evaluasi kinerja struktur	76
4.5.2 Kriteria kinerja struktur.....	79
4.5.3 Mekanisme sendi plastis	81
4.5.4 Kapasitas dan target perpindahan struktur	85
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	87
5.1 Kesimpulan.....	87
5.2 Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

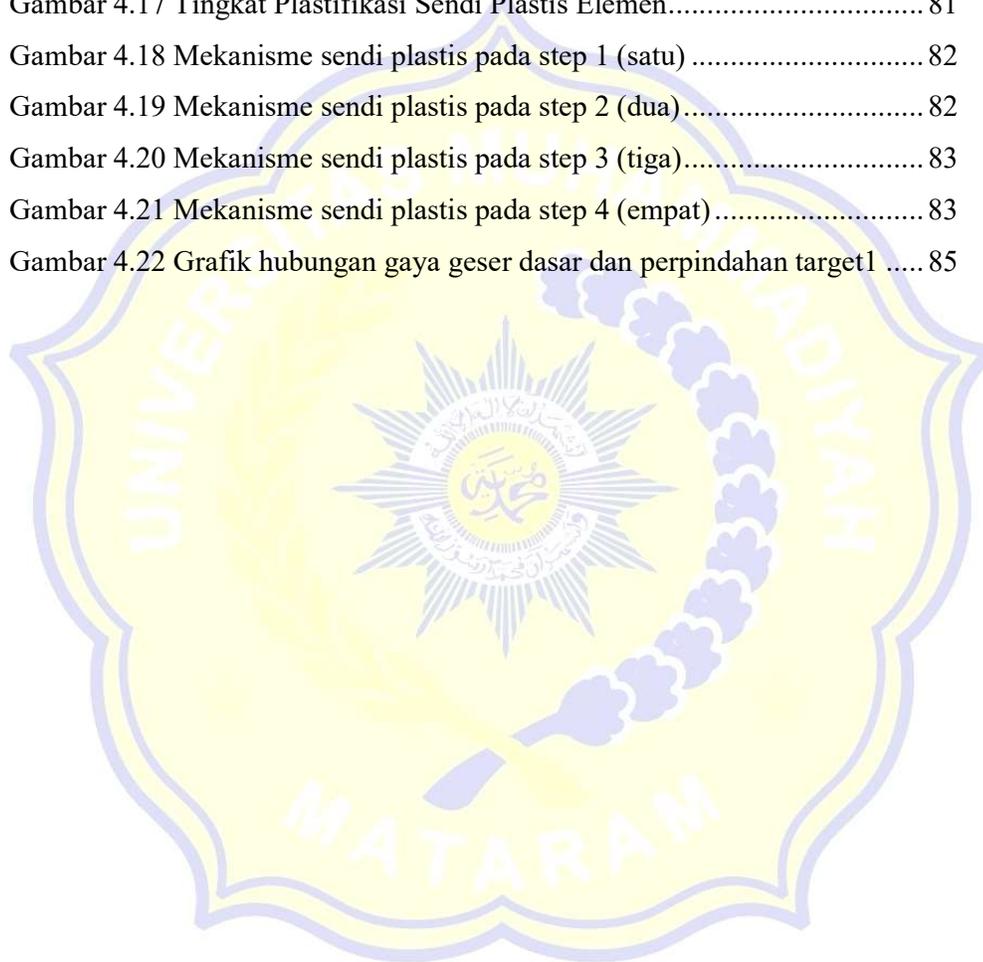
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori resiko bangunan gedung dan nongedung	10
Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa	12
Tabel 2.3 Klasifikasi situs	14
Tabel 2.4 Koefisien situs F_a	15
Tabel 2.5 Koefisien situs F_v	16
Tabel 2.6 Kategori desain seismik percepatan perioda pendek.....	19
Tabel 2.7 Kategori desain seismik percepatan perioda 1 detik	20
Tabel 2.8 Faktor R, Cd, dan Ω_0 , untuk sistem pemikul gaya <i>seismic</i>	21
Tabel 2.9 Berat sendiri bahan bangunan.....	22
Tabel 2.10 Berat sendiri komponen gedung.....	23
Tabel 2.11 Beban hidup pada lantai gedung	24
Tabel 2.12 Nilai parameter perioda pendekatan Ct dan x.....	27
Tabel 2.13 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung	27
Tabel 4.1 Spesifikasi Lift Produksi <i>Hyundai Elevator Co. Ltd.</i>	60
Tabel 4.2 Penentuan jumlah anak tangga.....	62
Tabel 4.3 Hasil running SAP2000	64
Tabel 4.4 Nilai F_a untuk masing-masing klasifikasi situs	67
Tabel 4.5 Nilai F_v untuk masing-masing klasifikasi situs	67
Tabel 4.6 Hasil perhitungan nilai S_a	69
Tabel 4.7 Hasil running SAP 2000 V.14	71
Tabel 4.8 Hasil perhitungan massa masing-masing lantai	72
Tabel 4.9 Jumlah Partisipasi Massa Rations	73
Tabel 4.10 Nilai <i>performance point</i> dari hasil SAP 2000 V.14	76
Tabel 4.11 Nilai simpangan hasil <i>analisis pushover</i>	78
Tabel 4.12 Batasan rasio drift atap menurut ATC-40.....	79
Tabel 4.13 Hasil drift dari <i>analisis pushover</i>	80
Tabel 4.14 Mekanisme sendi plastis.....	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kerusakan bangunan akibat gempa lombok, 2018.....	9
Gambar 2.2 Contoh peta parameter S_s	12
Gambar 2.3 Contoh peta parameter S_l	13
Gambar 2.4 <i>Desain Spektrum respon</i>	17
Gambar 2.5 Posisi sumbu lokal balok struktur pada program SAP 2000.....	30
Gambar 2.6 Posisi Sumbu lokal Kolom pada Program SAP 2000.....	30
Gambar 2.7 Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom	31
Gambar 2.8 Titik Kinerja menurut Metode Spektrum Kapasitas.....	35
Gambar 2.9 Penentuan <i>Performance Point</i>	36
Gambar 3.1 Tampak depan Hotel Golden Tulip	37
Gambar 3.2 Potongan memanjang hotel.....	37
Gambar 3.3 Denah letak balok dan kolom pada perhitungan	38
Gambar 3.4 Data penampang balok dan kolom	39
Gambar 3.5 Portal arah melintang	40
Gambar 3.6 Portal arah memanjang	41
Gambar 3.7 Mendefinisikan kombinasi pembebanan	44
Gambar 3.8 Pola penentuan titik berat.....	45
Gambar 3.9 Runing program SAP 2000 V.14.....	46
Gambar 3.38 bagan alir penelitian metode <i>pushover</i>	48
Gambar 4.1 Denah letak kolom pada perhitungan	49
Gambar 4.2 Portal arah X-Y	51
Gambar 4.3 Portal struktur arah (Y-Z)	52
Gambar 4.4 Portal Struktur (X-Z)	53
Gambar 4.5 Denah ruangan lift	59
Gambar 4.6 Penyaluran beban lift	61
Gambar 4.7 Denah tangga.....	61
Gambar 4.8 Model pembebanan tangga beban mati dan beban hidup.....	63
Gambar 4.9 Hasil running SAP2000	63
Gambar 4.10 Desain spectra Hotel Golden Tulip Mataram.....	65

Gambar 4.11 Diagram <i>respon spectrum</i> Hotel Golden Tulip	66
Gambar 4.12 Respon percepatan desain Kota Mataram tanah lunak	70
Gambar 4.13 Grafik <i>pushover</i> push-x.....	74
Gambar 4.14 Grafik <i>pushover</i> push-y.....	74
Gambar 4.15 Grafik Kapasitas <i>spectrum push-x</i>	75
Gambar 4.16 Grafik Kapasitas <i>spectrum push-y</i>	75
Gambar 4.17 Tingkat Plastifikasi Sendi Plastis Elemen.....	81
Gambar 4.18 Mekanisme sendi plastis pada step 1 (satu)	82
Gambar 4.19 Mekanisme sendi plastis pada step 2 (dua).....	82
Gambar 4.20 Mekanisme sendi plastis pada step 3 (tiga).....	83
Gambar 4.21 Mekanisme sendi plastis pada step 4 (empat).....	83
Gambar 4.22 Grafik hubungan gaya geser dasar dan perpindahan target1	85



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penelitian ini akan menganalisa metode kinerja seismik struktur beton dengan metode *pushover analisis* (analisa beban dorong), pada salah satu hotel yang berada di kota mataram, yaitu Hotel Golden Tulip Mataram sesuai dengan SNI Gempa 1726:2019.

Indonesia merupakan negara yang memiliki beribu pulau, mulai dari sabang sampai merauke. Dari ribuan pulau itu tidak sedikit pulau yang memiliki potensi mengalami bencana alam, salah satunya yaitu gempa bumi. Hal tersebut disebabkan karena Indonesia berada di *Circum Pasific Earthquake Belt* (wilayah jalur gempa pasifik) dan *Trans Asiatic Earthquake Belt* (jalur gempa asia). Gempa bumi adalah suatu peristiwa pelepasan energi yang terjadi secara tiba-tiba akibat dari gelombang seismic dari dalam kerak bumi. Pelepasan energi ini diakibatkan karena adanya deformasi lempeng tektonik yang terjadi pada kerak bumi (Hartuti,2009).

Berdasarkan hasil penelitian dari penelitian kebumian, menyimpulkan bahwa hampir 95 persen lebih gempa bumi alamiah yang cukup besar biasa terjadi di batas pertemuan antar lempeng yang menyusun kerak bumi dan didaerah *sesar* atau *fault*. Bumi kita walaupun padat selalu bergerak dan gempa bumi terjadi apabila tekanan yang terjadi karena pergerakan itu sudah terlalu besar untuk dapat ditahan (Suharjanto, 2013).

Menurut Widodo (2012), secara alamiah gempa bumi yang terjadi disertai dengan pelepasan gelombang energi yang telah terperangkap pada waktu yang lama. Energi yang terakumulasi terjadi karena adanya pergeseran sesar atau dua lempeng dalam mekanisme *subdaksi*. Energi mekanik saat terlepasnya kuncian kemudian berubah menjadi energi getaran yang merambat ke segala arah sampai pada permukaan tanah. Getaran tersebut akan mengakibatkan bangunan-bangunan bergerak atau bergoyang. Material bangunan pada umumnya bersifat kaku, sehingga kurang mampu atau sulit menyesuaikan diri secara penuh dengan goyangan. Selain itu kemampuan

bahan untuk berubah bentuk tanpa mengalami kerusakan pada umumnya relatif terbatas. Oleh karena itu goyangan yang cukup besar dapat mengakibatkan kerusakan struktur.

Pulau Lombok adalah salah satu pulau di provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB), sebuah pulau di kepulauan sunda kecil atau nusa tenggara yang terpisahkan oleh Selat Lombok dari Bali di sebelah barat dan Selat Alas di sebelah timur dari Sumbawa. Topografi pulau ini didominasi oleh gunung berapi Rinjani yang ketinggiannya mencapai 3.726 meter di atas permukaan laut dan menjadikannya yang ketiga tertinggi di Indonesia. Gunung ini terakhir meletus pada bulan juni-juli 1994. Walaupun tidak ada hubungannya dengan gempa lombok 2018 secara teori, tapi masih berpotensi akan terjadinya gempa pada masa-masa mendatang.

Gempa bumi secara pasti belum dapat diprediksi kejadiannya. Prediksi yang dimaksud adalah prediksi tempat dan waktu kejadian, *magnitudo* gempa, maupun kedalaman fokus. Prediksi yang akurat akan sangat bermanfaat untuk tujuan kemanusiaan. Walaupun belum dapat diprediksi secara akurat, tetapi perkiraan tempat-tempat potensi terjadinya gempa pada masa-masa mendatang sudah dapat diidentifikasi secara baik (Widodo, 2012).

Dengan banyaknya kejadian akibat gempa tersebut, pemerintah tentu tidak boleh memandang sebelah mata, terlebih lagi pemerintah daerah khususnya NTB yang sedang gencar-gencarnya melakukan pembangunan gedung-gedung tinggi seperti hotel atau sejenisnya demi mewujudkan pulau lombok sebagai salah satu destinasi pariwisata. Oleh karena itu melakukan metode kinerja seismik terhadap struktur beton bangunan gedung, merupakan hal urgen sebagai bagian dari langkah konkret dalam penanggulangan dampak dari bencana gempa yang terjadi. Selain itu, dengan melakukan metode ini juga akan dapat dijadikan sebagai media sosialisasi mengenai peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726- 2019, tentang (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung), pada dasarnya pemerintah berharap setiap perencanaan

menggunakan aturan standar yang terbaru agar lebih mudah melakukan kontrol dan lebih mudah mengetahui potensi keruntuhan dari struktur bangunan yang ada. Untuk itulah penelitian-penelitian terus harus dilakukan dengan metode dan konsep yang baru, dimana konsep terbaru untuk rekayasa gempa adalah *Performance Based Earthquake Engineering* (rekayasa gempa berbasis kinerja). PBEE terbagi menjadi dua, yaitu *Performance Based Seismic Design* (desain seismik berbasis kinerja) dan *Performance Based Seismic Evaluation* (evaluasi seismik berbasis kinerja). Evaluasi pada PBSE salah satunya adalah dengan metode nonlinier *Pushover*.

Pranata (2006) menyatakan *pushover analysis* (analisa beban dorong) adalah suatu metode statik nonlinier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan/sendai plastis pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai kondisi elastik. Kemudian disusul pelelehan/sendai plastis dilokasi yang lain distruktur tersebut.

Perkembangan teknologi sangat membantu para pekerja konstruksi dalam perencanaan dan metode terhadap kinerja suatu struktur bangunan. Tersedianya program SAP2000 yang mampu menyederhanakan persoalan dalam bentuk pemodelan yang sebelumnya sangat kompleks apabila dikerjakan secara *konvensional*. Oleh sebab itu penulis ingin menganalisa kinerja seismik struktur beton dengan metode *pushover* sesuai dengan SNI Gempa 1726:2019. Penulis melakukan metode *pushover* menggunakan bantuan program SAP2000 V.14 yang kemudian mengkaji dan membahas *output* yang dihasilkan program tersebut.

1.2 Rumusan Masalah.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas maka rumusan masalah yang diambil adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar beban dorong akibat gempa yang mampu dipikul oleh struktur gedung sesuai dengan SNI Gempa 1726:2019?
2. Berapa besar tingkat keamanan yang disediakan SNI Gempa 1726:2019 terhadap keruntuhan struktur bangunan gedung?
3. Bagaimana *output* analisis struktur hotel golden tulip terhadap tahapan sendi plastis dengan metode *pushover*?
4. Bagaimana pola keruntuhan gedung setelah dilakukannya analisis dengan metode *pushover*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besar beban dorong akibat gempa yang mampu dipikul oleh struktur gedung sesuai dengan SNI Gempa 1726:2019.
2. Mendapatkan kepastian tingkat keamanan yang disediakan SNI Gempa 1726:2019 terhadap keruntuhan struktur bangunan gedung.
3. Mengetahui *output* analisis struktur hotel golden tulip terhadap tahapan sendi plastis dengan metode *pushover*.
4. Mengetahui pola keruntuhan gedung setelah dilakukannya analisa dengan metode *pushover*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah:

1. Manfaat untuk penulis:
 - a. Menambah pemahaman tentang metode *Pushover*.
 - b. Dapat mengetahui besar gaya gempa lateral yang mampu diterima oleh struktur gedung dengan penyajian kurva *pushover*.
 - c. Dapat mengetahui tahapan terjadinya keruntuhan terhadap struktur bangunan yang ditinjau berdasarkan code ATC 40.

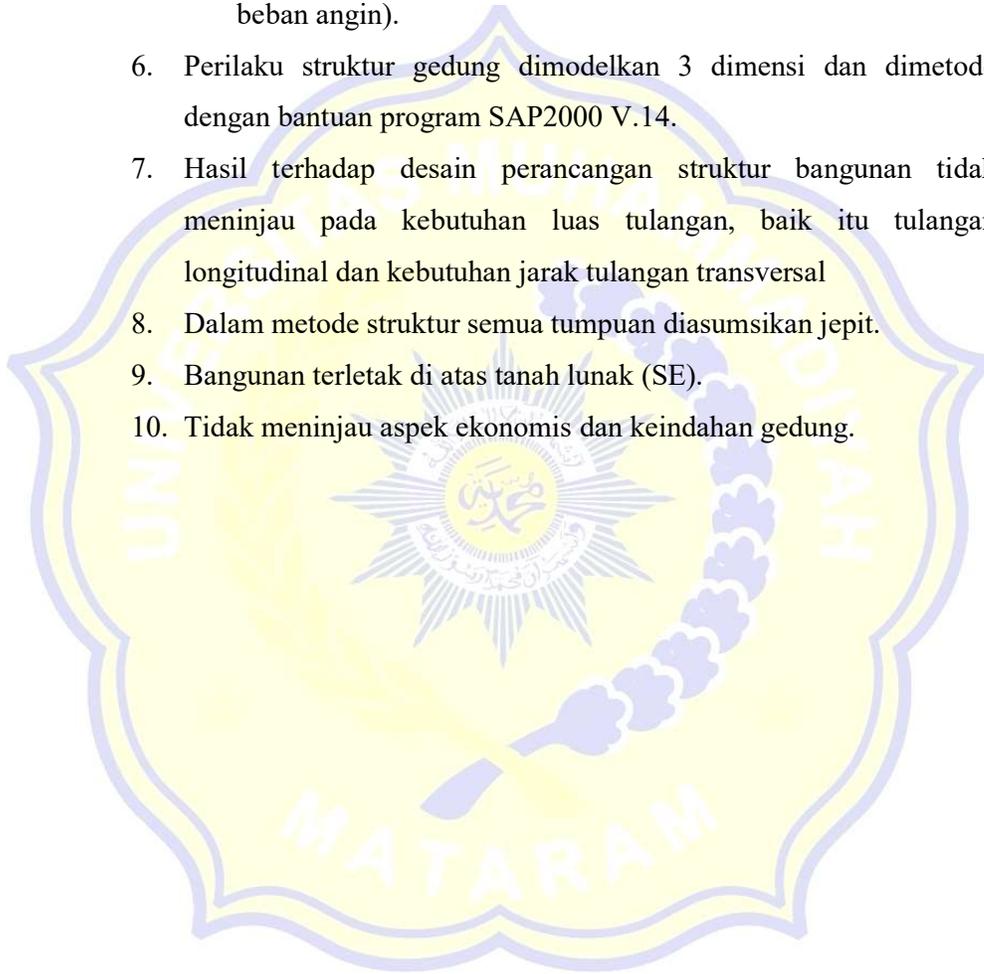
- d. Dapat mengetahui persentase kerusakan bangunan akibat beban gempa yang terjadi sehingga dapat diketahui langkah perbaikan yang akan dilakukan.
2. Manfaat penelitian bagi para pembaca:
 - a. Menambah pengetahuan tentang ilmu teknik sipil,
 - b. Sebagai bahan referensi terhadap penelitian yang sejenis, dan
 - c. Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan atau dikembangkan lebih lanjut.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. struktur gedung yang dimodelkan adalah struktur gedung dengan denah disesuaikan dengan denah Hotel Golden Tulip Mataram. Di jalan Jendral Sudirman No. 40 Rembiga, Kecamatan Selaparang, Kota Mataram.
2. Struktur gedung merupakan gedung *irreguler* (beton bertulang tidak beraturan), dengan Sistem Rangka Memikul Momen Khusus (SRPMK).
3. Peraturan yang digunakan adalah:
 - a. SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.
 - b. SNI 1727 2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung.
 - c. SNI 2847-2019 tentang persyaratan beton struktur untuk bangunan gedung.
 - d. SNI 03-1727-1989 tentang pedoman pembebanan untuk rumah dan gedung.
 - e. Kriteria kinerja menggunakan *Applied Technologi Councilil* (ATC 40).
4. Struktur dianalisa menggunakan metode *Pushover*.
5. Pembebanan gedung meliputi:

- a. Beban mati (berupa berat sendiri struktur bangunan)
 - b. Beban hidup (berupa beban akibat fungsi bangunan sesuai dengan SNI 03-1727-1989).
 - c. Beban lateral (berupa beban gempa sesuai dengan SNI 1726 – 2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, tanpa memperhitungkan beban angin).
6. Perilaku struktur gedung dimodelkan 3 dimensi dan dimetode dengan bantuan program SAP2000 V.14.
 7. Hasil terhadap desain perancangan struktur bangunan tidak meninjau pada kebutuhan luas tulangan, baik itu tulangan longitudinal dan kebutuhan jarak tulangan transversal
 8. Dalam metode struktur semua tumpuan diasumsikan jepit.
 9. Bangunan terletak di atas tanah lunak (SE).
 10. Tidak meninjau aspek ekonomis dan keindahan gedung.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Afandi (2010) dari hasil evaluasi kinerja seismik struktur beton dengan metode *pushover* (statik beban dorong), menyatakan bahwa kurva kapasitas dari hasil metode *pushover* dapat memberikan gambaran perilaku struktur mulai dari tahap kondisi elastis, in-elastis kemudian mengalami keruntuhan yang ditunjukkan kurva dengan penurunan tajam.

Deli S. (2009) dalam tugas akhirnya yang berjudul Metode Struktur Beton Gedung Bertingkat dengan Metode *Pushover*. menyatakan bahwa, dari hasil metode *pushover* nantinya akan didapatkan kurva kapasitas yang dibedakan dalam dua arah pembebanan, yaitu arah X dan arah Y yang masing-masing menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar dan *displacement* (simpangan) yang dapat menggambarkan keruntuhan yang terjadi pada bangunan.

Utami dan Warastuti (2019) melakukan penelitian tentang metode kekuatan bangunan terhadap gaya gempa dengan metode *pushover*. Dalam penelitian ini tidak menggunakan metode respon *respon spektrum* hanya metode non-linier yang disederhanakan, yaitu metode statik beban dorong metode *Pushover*. Metode ini dilakukan dengan menggunakan program SAP2000. Kesimpulan dari hasil metode menunjukkan bahwa semakin besar gaya *base force* (geser dasar) yang diberikan maka semakin besar juga *displacement* (pemindahan) yang terjadi pada bangunan.

Dewobroto (2007) telah melakukan evaluasi bangunan baja tahan gempa dengan metode *pushover* dengan bantuan *software* SAP2000 yang menunjukkan perilaku struktur bangunan baja 6 (enam) tingkat, dimana didapatkan bahwa titik evaluasi kinerja atau target *displacement* (δ_T), merupakan hal yang penting untuk mengevaluasi kinerja struktur terhadap suatu gempa rencana, menjadi indikasi sejauh mana kondisi struktur bila ada gempa tertentu. Ternyata beberapa metode yang digunakan untuk menentukan δ_T tersebut memberikan hasil yang berbeda satu sama lain.

Metode yang sudah built-in di program SAP 2000 yaitu metode spektrum kapasitas, memberi nilai δ_T yang paling kecil dibanding tiga metode lain yang ditinjau. Kebetulan ketiga metode tersebut belum tersedia secara built-in dalam program SAP2000 dan harus dihitung secara manual.

2.2 Landasan Teori

Menurut suharjanto (2013), Gempa bumi didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan. Gempa bumi biasanya disebabkan oleh pergerakan kerak bumi/lempeng bumi secara tiba-tiba. Pergeseran secara tiba-tiba terjadi karena adanya sumber *force* (gaya) sebagai penyebabnya, baik bersumber dari alam maupun dari *artificial earthquakes* (bantuan manusia). Selain disebabkan oleh *sudden slip*, getaran pada bumi juga biasa disebabkan oleh gejala lain yang sifatnya lebih halus atau berupa getaran yang kecil-kecil yang sulit dirasakan manusia.

Menurut Widodo (2012), akibat gempa bumi terbagi menjadi dua macam pertama *direct effects* (akibat langsung) yang dimaksud adalah kerusakan struktur tanah ataupun kerusakan sesuatu diatas tanah antara lain; hilangnya daya dukung tanah, penurunan tanah, runtuhnya lapis tanah, tanah longsor, batu longsor, retakan permukaan tanah, dan kerusakan bangunan pada gambar 2.1 Kerusakan bangunan akibat gempa lombok, 2018.

Kedua *indirect effects* (akibat tidak langsung) adalah efek yang diakibatkan oleh *topographical effects* (kondisi situs) dan *site effects* (kondisi tanah) yang mana kerusakan bangunan diperparah oleh peristiwa/akibat dari propagasi/rambatan gelombang gempa.



Gambar 2.1 Kerusakan bangunan akibat gempa lombok, 2018
(Sumber: Hutapea, 2018)

2.3 Prosedur Metode Beban Gempa

Struktur bangunan gedung harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Berikut ini penjelasan langkah-langkah metode beban seismik berdasarkan SNI-1726-2019 untuk bangunan gedung.

2.3.1 Menentukan kategori resiko struktur gedung.

Dalam metode struktur gedung memiliki faktor keutamaan gempa dan kategori risiko struktur gedung. Kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung di tentukan dalam tabel 2.1 kategori risiko bangunan gedung dan untuk faktor keutamaan gempa dapat di lihat pada tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa.

Tabel 2.1 Kategori resiko bangunan gedung dan nongedung

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
<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, perternakan, 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 unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	III

Tabel lanjutan 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<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. - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat 	IV

Sumber: SNI-1726-2019

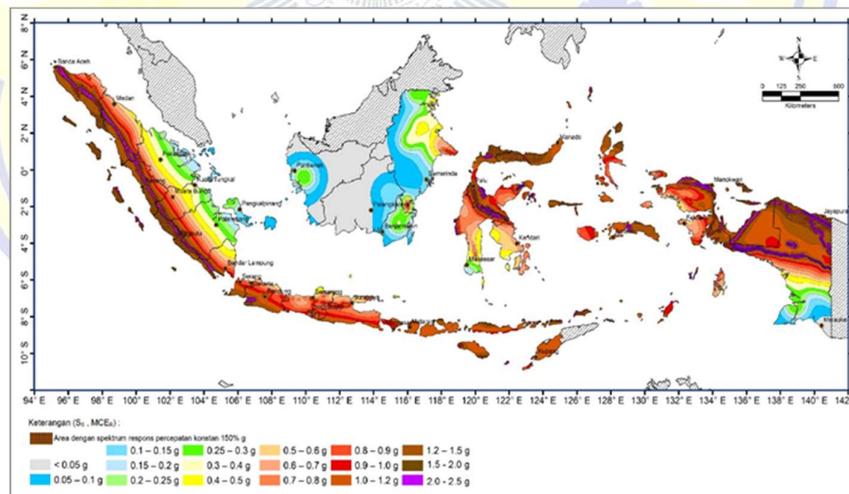
Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa

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

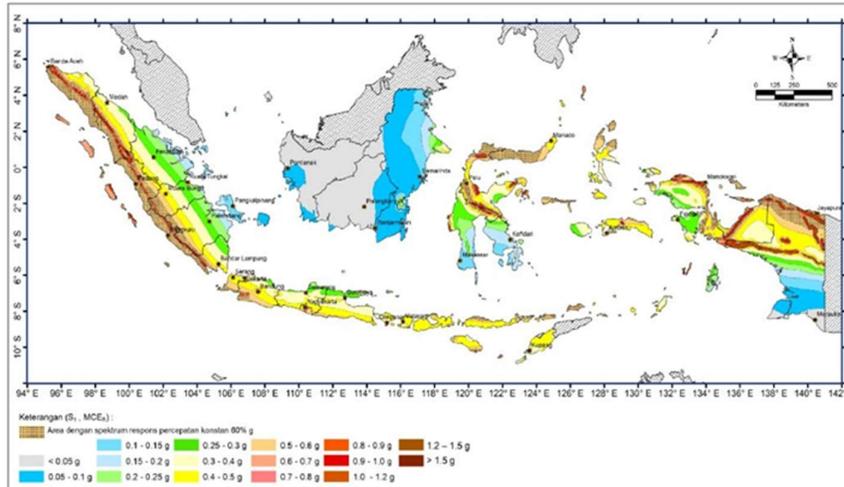
Sumber: SNI-1726-2019

2.3.2 Menentukan parameter percepatan gempa terpetakan (S_s , S_I)

Parameter-parameter dasar pergerakan tanah dalam SNI Gempa adalah S_s dan S_I , S_s adalah parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek (0,2 detik) dan S_I adalah percepatan batuan dasar pada periode 1 detik. Penentuan nilai S_s dan S_I dapat diperoleh berdasarkan peta gempa pada gambar 2.2 dan gambar 2.3 dalam SNI 1726:2019 atau melalui website www.rsapuskim2019.litbang.pu.go.id. Contoh peta parameter S_s pada gambar 2.2, dan Contoh peta parameter S_I pada gambar 2.3.



Gambar 2.2 Contoh peta parameter S_s
(Sumber: SNI Gempa 1726-2019)



Gambar 2.3 Contoh peta parameter S_1
(Sumber: SNI Gempa 1726-2019)

2.3.3 Menentukan kelas situs (SA – SF)

Lapisan tanah pada lokasi suatu proyek dapat dikategorikan menjadi beberapa kelas situs dari kelas A hingga F. Klasifikasi kelas situs dilakukan berdasarkan pada hasil pengujian yaitu, kecepatan rata-rata gelombang geser, tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata, atau tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non kohesif, dan kuat geser niralir rata-rata. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 2.3, berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam Tabel 2.3. Dalam hal ini, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/ijin keahlian.

Tabel 2.3 Klasifikasi situs (sumber: tabel 5 SNI-1726:2019)

Kelas situs	Vs (m/dt)	N atau Nch	Su (kpa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 s/d 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 s/d 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 $S_u \ll 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan metode respon spesifik)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut ($H > 3$m) 		
	<ol style="list-style-type: none"> 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) 4. Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa) 		

Sumber: SNI-1726-2019

2.3.4 Menentukan koefisien-koefisien situs dan paramater-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dapat di tentukan dengan persamaan 2.1 dan perioda 1 detik (S_{M1}) dapat di tentukan dengan persamaan 2.2 yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.1}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.2}$$

dengan:

S_s = Parameter respons spektral untuk perioda pendek.

S_1 = Parameter respons spektral untuk perioda 1,0 detik.

(penentuan

koefisien F_a mengikuti tabel 2.4, dan koefisien F_v tabel 2.5).

Tabel 2.4 Koefisien situs F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	S_s^b				

Sumber: SNI-1726-2019

- (a) Untuk nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) SS_b = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan metode respons situs-spesifik,

Tabel 2.5 Koefisien situs F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 1,0$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	S_s^b				

Sumber: SNI-1726-2019

- (c) Untuk nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
 (d) SS_b = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan metode respons situs-spesifik,

2.3.5 Menentukan parameter percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} ditentukan dengan persamaan 2.3 dan pada perioda 1 detik S_{DI} ditentukan dengan persamaan 2.4 perumusannya berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots \text{Persamaan}$$

2.3

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \dots\dots\dots \text{Persamaan}$$

2.4

dengan:

S_{DS} = Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek

S_{DI} = Parameter respons spektral untuk perioda 1,0 detik.

2.3.6 Menghitung periode getar fundamental struktur

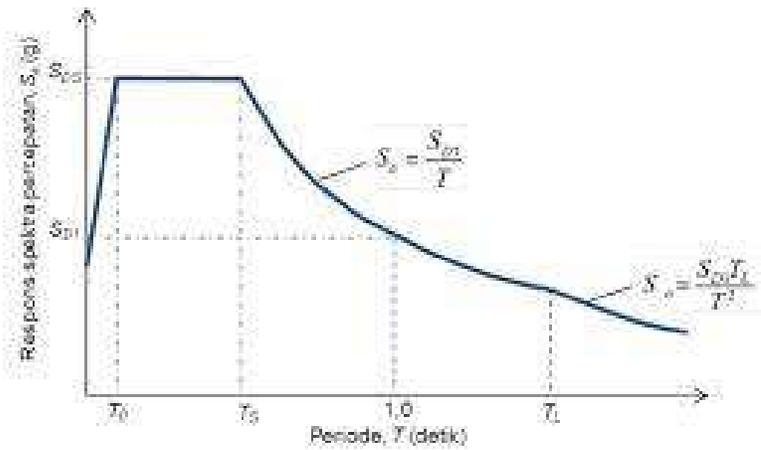
Dalam perhitungan periode getar fundamental sesuai dengan SNI 1726:2019 mengikuti persamaan 2.4 dan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$T_0 = 0.2 \frac{SD1}{SDs} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.5}$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDs} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.6}$$

2.3.7 Menentukan spektrum respons desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.4 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:



Gambar 2.4 Desain Spektrum respon
(Sumber: SNI-1726-2019)

Untuk $T < T_0$, spektrum respons percepatan desain S_a , mengikuti persamaan 2.7

$$S_a = S_{DS} \left[0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right] \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.7}$$

Untuk $T < T_0 < T_s$, spektrum respons percepatan desain S_a sama dengan S_{D1} , dan Untuk $T > T_s$, spektrum respons percepatan desain S_a , mengikuti persamaan 2.8

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.8}$$

Untuk $T > T_L$, spektrum respons percepatan desain S_a , maka mengikuti persamaan 2.9

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.9}$$

Dengan:

S_{DS} = parameter respon spektra percepatan desain pada periode pendek;

S_{D1} = parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik;

T = periode getar fundamental struktur.

2.3.8 Menentukan kategori desain seismik (KDS)

Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spectral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_I lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} . Masing-masing bangunan dan

struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada tabel 2.6 Kategori desain seismik percepatan perioda pendek atau tabel 2.7 Kategori desain seismik percepatan perioda 1 detik, terlepas dari nilai perioda fundamental getaran struktur, T .

Apabila S_I lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diijinkan untuk ditentukan sesuai tabel 2.6 saja, di mana berlaku semua ketentuan di bawah:

- a. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan perioda fundamental struktur, T_a adalah kurang dari 0,8 T_s .
- b. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perioda fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari T_s .
- c. Persamaan 2.9 digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik, C_s .
- d. Diafragma struktural adalah kaku, untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m.

Tabel 2.6 Kategori desain seismik percepatan perioda pendek.

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

Sumber: SNI-1726-2019

Tabel 2.7 Kategori desain seismik percepatan perioda 1 detik

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

Sumber: SNI-1726-2019

2.3.9 Pemilihan sistem struktur dan parameter sistem (R , C_d , Ω_0)

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi sesuai dengan SNI-1726:2019 salah satu tipe yang ditunjukkan dalam Tabel 2.8. Pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan dalam Tabel 2.8. Faktor R , C_d , dan Ω_0 , untuk sistem pemikul gaya seismic modifikasi respons yang sesuai, R , faktor kuat lebih sistem, Ω_0 , dan koefisien amplifikasi defleksi, C_d , sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 2.8 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat desain.

Tabel 2.8 Faktor R , C_d , dan Ω_0 , untuk sistem pemikul gaya seismic

Sistem pemikul gaya seismic	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, H_n (m) ^d				
				Kategori desain seismic				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10

Sumber: SNI Gempa 1726-2019

2.4 Gaya-gaya yang Bekerja Pada Struktur Bangunan

Sebuah struktur di rancang untuk mampu menahan beban-beban yang bekerja, untuk dapat menentukan beban mati, beban hidup untuk perancangan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang sudah di tetapkan sesuai dengan peraturan-pembebanan-indonesia SNI 03-1727-1989.

2.4.1 Beban mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian suatu gedung yang bersifat tetap, serta peralatan-peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu. Berat sendiri bahan bangunan di sesuaikan tabel 2.9 dan tabel 2.10, yang dijadikan landasan dalam menghitung beban mati.

Tabel 2.9 Berat sendiri bahan bangunan

No	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
1	Baja	7850	Kg/m ³
2	Batu alam	2600	Kg/m ³
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500	Kg/m ³
4	Batu karang (berat tumpuk)	700	Kg/m ³
5	Batu pecah	1450	Kg/m ³
6	Besi tuang	7250	Kg/m ³
7	Beton (1)	2200	Kg/m ³
8	Beton bertulang (2)	2400	Kg/m ³
9	Kayu (kelas 1) (3)	1000	Kg/m ³
10	Kerikil, koral (kering udara-lembab, tanpa ayak)	1650	Kg/m ³
11	Pasangan bata merah	1700	Kg/m ³
12	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200	Kg/m ³
13	Pasangan batu cetak	2200	Kg/m ³
14	Pasangan batu karang	1450	Kg/m ³
15	Pasir (kering udara sampai lembab)	1600	Kg/m ³
16	Pasir (jenuh air)	1800	Kg/m ³
17	Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850	Kg/m ³
18	Tanah, lempung, lanau (kering udara - lembab)	1700	Kg/m ³
19	Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000	Kg/m ³
20	Timah hitam (timbel)	11400	Kg/m ³

Sumber: SNI 03-1727-1989

Tabel 2.10 Berat sendiri komponen gedung

No	Komponen Gedung	Beban	Satuan
1	Adukan, per cm tebal : <ul style="list-style-type: none"> • Dari semen • Dari kapur, semen merah atau tras 	21 17	Kg/m ² Kg/m ²
2	Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14	Kg/m ²
3	Dinding pasangan bata merah : <ul style="list-style-type: none"> • Satu batu • Setengah batu 	450 250	Kg/m ² Kg/m ²
4	Batu karang (berat tumpuk) Dinding pasangan batako : <ul style="list-style-type: none"> • Berlubang : <ul style="list-style-type: none"> - Tebal dinding 20 cm (HB 20) - Tebal dinding 10 cm (HB 10) • Tanpa lubang: <ul style="list-style-type: none"> - Tebal dinding 15 cm - Tebal dinding 10 cm 	200 120 300 200	Kg/m ² Kg/m ² Kg/m ² Kg/m ²
5	Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terpadu dari: <ul style="list-style-type: none"> • Semen asbes (eternity dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4mm. • Kaca, dengan tebal 3-4 mm. 	11 10	Kg/m ² Kg/m ²
6	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m.	40	Kg/m ²
7	Penutup atap genting dengan reng dan usuk / kaso per m ² bidang atap.	50	Kg/m ²
8	Penutup atap sirap dengan reng dan usuk / kaso, per m ² bidang atap.	40	Kg/m ²
9	Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gording	10	Kg/m ²
10	Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal.	24	Kg/m ²
11	Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11	Kg/m ²

Sumber: SNI 03-1727-1989

2.4.2 Beban hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung dan di dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah. Perhitungan beban hidup pada lantai gedung dapat disesuaikan dengan berat persatuan panjang sesuai dengan gambar 2.11.

Tabel 2.11 Beban hidup pada lantai gedung

No	Lantai gedung	Beban	Satuan
1	Baja lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam no 2.	200	Kg/m ³
2	Lantai tangga rumah tinggal sederhana dan gudang- gudang tidak penting yang bukan untuk took, pabrik atau bengkel.	125	Kg/m ³
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk) Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, took, toserba, restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit.	250	Kg/m ³
4	Lantai ruang olah raga.	400	Kg/m ³
5	Lantai dansa	500	Kg/m ³
6	Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain dari yang disebut dalam no 1 s/d 5, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung dengan tempat duduk tetap.	400	Kg/m ³
7	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton berdiri.	500	Kg/m ³
8	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam no 3.	300	Kg/m ³
9	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam no 4,5,6 dan 7.	500	Kg/m ³
10	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam no 3,4,5,6 dan 7.	250	Kg/m ³
11	Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang,		

Tabel lanjutan 2.11 Beban hidup pada lantai gedung

No	Lantai gedung	Beban	Satuan
	perpustakaan, ruang arsip, took buku, took besi, ruang alat-alat dan ruang mesin harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri dengan minimum	400	Kg/m ³
12	Lantai gedung parkir bertingkat : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Untuk lantai bawah ➤ Untuk lantai lainnya 	800	Kg/m ³
13	Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai yang berbatasan dengan minimum.	300	Kg/m ³

Sumber: SNI 03-1727-1989

2.5 Prosedur Metode Gaya Lateral Pada Struktur Bangunan

2.5.1 Gaya geser dasar seismik

Geser dasar seismik V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan 2.10.

$$V = C_s \times W_t \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.10}$$

Untuk perhitungan koefisien respons seismik (C_s), ditentukan sesuai dengan persamaan 2.11.

$$C_s = \frac{S_{DS} \times I_e}{R} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.11}$$

Untuk perhitungan koefisien respons seismik maksimum dengan ketentuan, jika $T \leq L_L$ maka koefisien respons seismik (C_s) menggunakan persamaan 2.12, dan jika $T \geq T_L$, maka koefisien respons seismik (C_s) menggunakan persamaan 2.13.

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.12}$$

$$C_s = \frac{S_{DS} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.13}$$

dengan:

- S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respons desain perioda pendek.
- I_e = Faktor keutamaan gempa.
- R = Faktor modifikasi respons.

2.5.2 Periode fundamental

Periode fundamental Istruktur T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam metode yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u) dan perioda fundamental pendekatan, T_a , yang ditentukan sesuai dengan persamaan 2-15. Sebagai alternatif pada pelaksanaan metode untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diijinkan secara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan, T_a .

Penentuan periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan 2.14.

$$T_a = C_t \times h_n^x \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.14}$$

Dengan:

- h_n = Ketinggian struktur.
- C_t, x = Koefisien perioda ditentukan dalam tabel 2.15, dan (C_u di tentukan dalam tabel 2.16 koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung)

Tabel 2.12 Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Sumber: SNI-1726-2019

Tabel 2.13 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respon spektra 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

Dalam menentukan periode fundamental (T) dalam SNI 1726:2019 yang akan di gunakan jika T_c lebih dari (C_u), maka menggunakan persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$T = C_u \times T_a \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.15}$$

Jika perioda fundamental pendekatan (T_a) kurang dari periode fundamental struktur yang diperoleh dari program metode struktur (T_c)

kurang dari ($C_u \times T_a$), maka gunakan persamaan gunakan persamaan 2.16 sebagai berikut:

$$T = T_c \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.16}$$

Jika periode fundamental struktur yang diperoleh dari program metode struktur (T_c) kurang dari periode minimum (T_a), maka gunakan persamaan 2.17.

$$T = T_a \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.17}$$

2.6 Distribusi Gaya Gempa

2.6.1 Distribusi gaya gempa vertikal

Gaya gempa lateral (F_x) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan 2.18 dan faktor distribusi vertikal pada persamaan 2.19.

$$F_x = C_{vx} \times V \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.18}$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \times h_x^k}{\sum W_i \times h_i^k} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.19}$$

dengan:

- C_{vx} = Faktor distribusi vertikal.
- V = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur.
- W_i, W_x = Bagian berat efektif total struktur yang ditempatkan di tingkat i atau x .
- h_i, h_x = Tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x .
- k = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur.

Penentuan nilai k berdasarkan pada perioda (T) dari sistem struktur tersebut.

- Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$.
- Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
- Untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

2.6.2 Distribusi gaya gempa horizontal

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat (V_x), harus ditentukan dari persamaan 2.20.

$$V_x = \sum_{x-1}^n F_i \dots\dots\dots \text{Persamaan}$$

2.20

dengan:

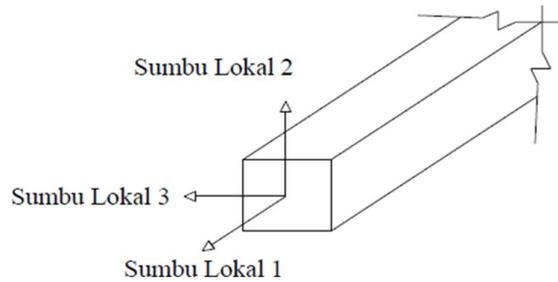
V_x = Geser tingkat desain gempa di semua tingkat.

F_i = Bagian dari geser dasar seismik.

2.6.3 Pemodelan sendi plastis

1. *Hinge properti* balok

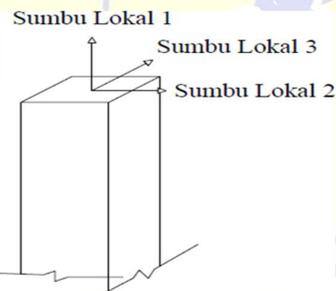
Data *hinge properties* (sifat engsel) dimasukkan pada penampang daerah tumpuan balok yaitu lokasi dimana sendi plastis diharapkan terjadi. Masing-masing penampang balok dimodelkan dengan pilihan model moment M3, yang artinya sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3. Posisi sumbu lokal 3 dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Posisi sumbu lokal balok program SAP 2000
(Sumber: Batara, 2021)

2. *Hinge properties kolom*

Data *hinge properties* (sifat engsel) 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 2.6.

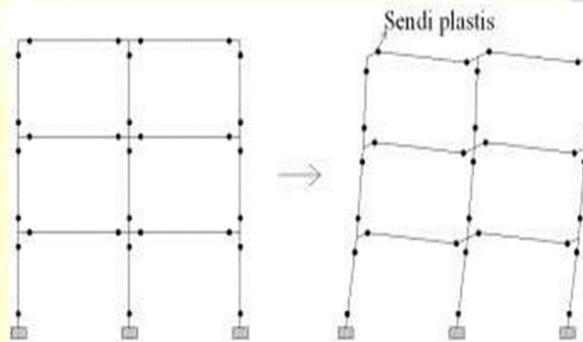


Gambar 2.6 Posisi Sumbu lokal Kolom pada Program SAP 2000
(Sumber: Batara, 2021)

3. Penentuan letak sendi plastis

Seperti halnya setelah pendefinisian data *hinge properties* (sifat engsel) balok dan kolom selanjutnya 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 kolom, posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih kolom, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih kolom. Memahami posisi tata letak sendi plastis pada balok dan kolom akan memberikan kemudahan kepada peneliti dalam merancang struktur letak sendi plastis. Struktur 2 dimensi Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom bisa di lihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom
(Sumber: Batara, 2021)

2.7 Metode *Pushover* dengan Metode Kapasitas

Metode statik nonlinier merupakan prosedur metode untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai metode *pushover* (metode beban dorong statik). Kecuali untuk suatu struktur yang sederhana, maka metode ini memerlukan komputer program untuk dapat merealisasikannya pada bangunan nyata, salah satunya yaitu dengan SAP 2000.

Metode dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Biasanya titik tersebut adalah titik pada atap, atau lebih tepat lagi adalah pusat

massa atap. Metode *pushover* menghasilkan kurva *pushover*, kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) versus perpindahan titik acuan pada atap (D) (Afandi R.N, 2010).

Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami leleh disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non- linier. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.

Tujuan metode *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Cukup banyak studi menunjukkan bahwa metode statik *pushover* dapat memberikan hasil mencukupi (ketika dibandingkan dengan hasil metode dinamik nonlinier) untuk bangunan regular dan tidak tinggi.

Metode *pushover* dapat digunakan sebagai alat bantu untuk perencanaan tahan gempa, asalkan menyesuaikan dengan keterbatasan yang ada, yaitu:

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

2.7.1 Target perpindahan

Gaya dan deformasi setiap komponen/elemen dihitung terhadap perpindahan tertentu di titik kontrol yang disebut sebagai target perpindahan

dengan notasi δt dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana.

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

Permintaan membuat kurva *pushover* sampai minimal 150% target perpindahan adalah agar dapat dilihat perilaku bangunan yang melebihi kondisi rencananya. Perencana harus memahami bahwa target perpindahan hanya merupakan rata-rata nilai dari beban gempa rencana. Perkiraan target perpindahan menjadi kurang benar untuk bangunan yang mempunyai kekuatan lebih rendah dari *spektrum* elastis rencana. Diharapkan bahwa 150% target perpindahan adalah perkiraan nilai rata-rata ditambah satu standar deviasi perpindahan dari bangunan dengan kekuatan lateral lebih 25% dari kekuatan *spektrum* elastis.

Metode *pushover* dilakukan dengan memberikan beban lateral pada pola tertentu sebagai simulasi beban gempa, dan harus diberikan bersamaan dengan pengaruh kombinasi beban mati dan tidak kurang dari 25% dari beban hidup yang disyaratkan. Beban lateral harus diberikan pada pusat massa untuk setiap tingkat. Disyaratkan minimal harus diberikan dua pola beban yang berbeda sebagai simulasi beban gempa yang bersifat random, sehingga dapat memberikan gambaran pola mana yang pengaruhnya paling jelek. Selanjutnya beban tersebut harus diberikan secara bertahap dalam satu arah (*monotonik*) (Afandi R.N, 2010).

Kriteria evaluasi level kinerja kondisi bangunan didasarkan pada gaya dan *deformasi* yang terjadi ketika perpindahan titik kontrol sama dengan target perpindahan δt . Jadi parameter target perpindahan sangat penting peranannya bagi perencanaan berbasis kinerja.

Ada beberapa cara menentukan target perpindahan, dua yang cukup terkenal adalah *Displacement Coefficient Method* (metode koefisien perpindahan) berdasarkan FEMA 273/274, FEMA 356/440 dan ATC 40 dan

Capacity Spectrum Method (metode *spektrum* kapasitas) berdasarkan FEMA 274/440, ATC 40. Selain itu ada persyaratan perpindahan dari SNI 1726-2019 yang dapat dijadikan sebagai kriteria kinerja.

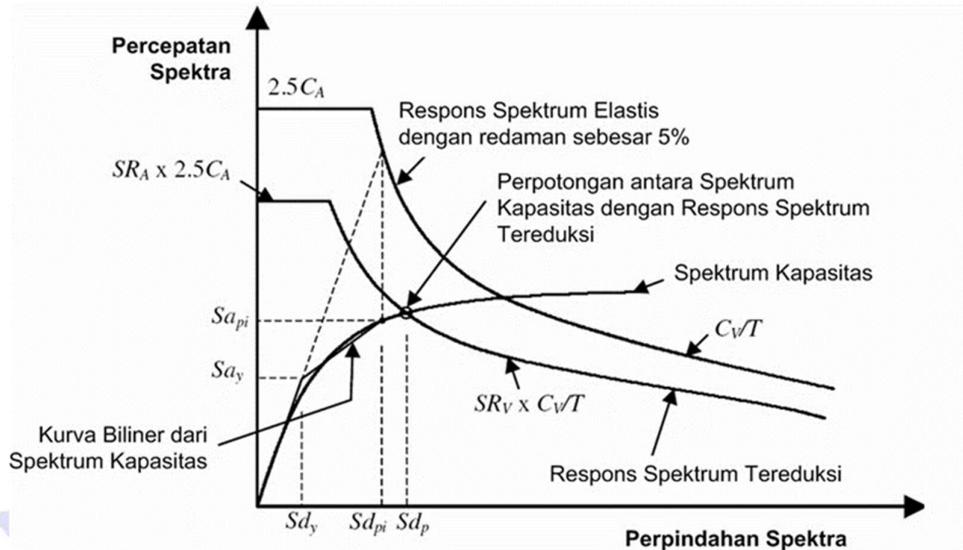
2.7.2 Metode *capacity spektrum*

Merupakan metode utama ATC-40, meskipun dimaksudkan untuk konstruksi beton bertulang, tetapi ternyata banyak juga diaplikasikan pada konstruksi lain. Dalam Metode *Spektrum* Kapasitas proses dimulai dengan menghasilkan kurva hubungan gaya perpindahan yang memperhitungkan kondisi inelastis struktur. Proses tersebut sama dengan Metode Koefisien Perpindahan, kecuali bahwa hasilnya diplot-kan dalam format ADRS, *Acceleration Displacement Response Spectrum* (spektrum respon perpindahan percepatan) (Deli S, 2009).

Format tersebut adalah konversi sederhana dari kurva hubungan gaya geser dasar dengan perpindahan lateral titik kontrol dengan menggunakan properti dinamis sistem dan hasilnya disebut sebagai kurva kapasitas struktur. Gerakan tanah gempa juga dikonversi ke format ADRS. Hal itu menyebabkan kurva kapasitas dapat di-plot-kan pada sumbu yang sama sebagai gaya gempa perlu. Pada format tersebut waktu getar ditunjukkan sebagai garis radial dari titik pusat sumbu. Waktu getar ekuivalen, T_e , dianggap sebagai secant waktu getar tepat dimana gerakan tanah gempa perlu yang direduksi karena adanya efek redaman ekuivalen bertemu pada kurva kapasitas. Karena waktu getar ekuivalen dan redaman merupakan fungsi dari perpindahan maka penyelesaian untuk mendapatkan perpindahan in-elastik maksimum (titik kinerja) adalah bersifat iteratif. ATC-40 menetapkan batas redaman ekuivalen untuk mengantisipasi adanya penurunan kekuatan dan kekakuan yang bersifat *gradual* (Deli S, 2009).

Metode ini secara khusus telah built-in dalam program SAP2000, proses konversi kurva *pushover* ke format ADRS dan kurva *respon spektrum* yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program. Adapun titik kinerja

menurut metode spektrum kapasitas disajikan pada gambar 2.8, data yang perlu dimasukkan cukup memberikan kurva *respons spektrum* rencana.



Gambar 2.8 Titik Kinerja menurut Metode Spektrum Kapasitas
(Sumber: *Applied Technology Council, ATC-40, 1996*)

Capacity Spectrum method (metode spektrum kapasitas), merupakan salah satu cara untuk mengetahui kinerja suatu struktur. Konsep dasar dari metode 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 metode statis *pushover nonlinier* ini didapatkan kurva kapasitas yang kemudian diolah lebih lanjut dengan metode tertentu, salah satunya adalah *Capacity Spectrum Method* (ATC-40,1996).

2.7.3 Kurva kapasitas

Hasil metode statis *pushover* nonlinier adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya *base shear* (geser dasar) dan *roof displacement* (simpangan atap) seperti ditunjukkan pada gambar 2.8. Hubungan tersebut

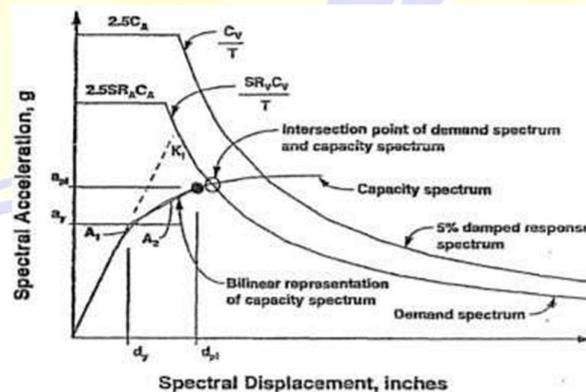
kemudian dipetakan menjadi suatu kurva yang dinamakan Kurva Kapasitas struktur.

Metode ini sederhana namun informasi yang dihasilkan sangat berguna karena mampu menggambarkan respons *inelastic* bangunan. Metode ini memang bukan cara yang terbaik untuk mendapatkan jawaban terhadap masalah metode dan desain, tetapi relative sederhana untuk mendapatkan respons nonlinier struktur (Deli S, 2009).

2.7.4 Performance point

Performance point (poin kinerja) adalah titik dimana *capacity curve* (kurva kapasitas) berpotongan dengan *response spectrum curve* (kurva spektrum respons) seperti yang dipergunakan dalam *Capacity Spectrum Method* (CSM). Untuk memperoleh gambaran lebih jelas, dapat dilihat pada gambar 2.9.

Pada *performance point* (poin kinerja) 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 (Deli S, 2009).



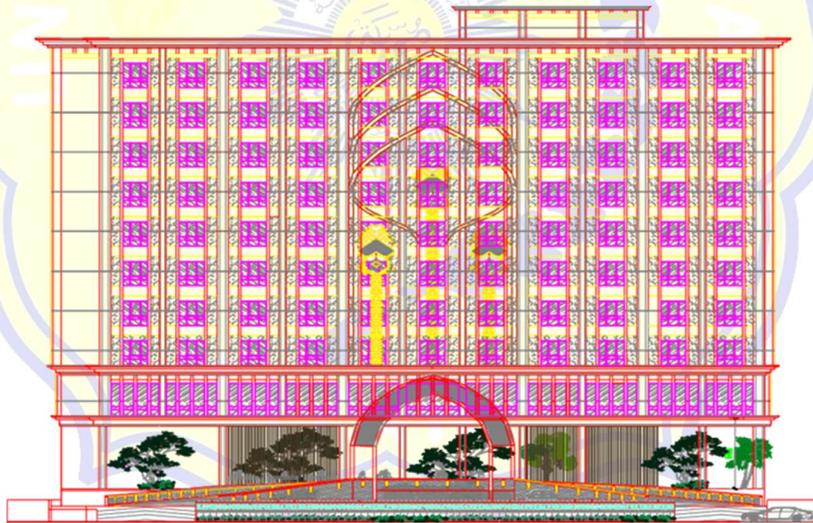
Gambar 2.9 Penentuan *Performance Point*.
(Sumber: Applied Technology Council, ATC-40, 1996)

BAB III METODE PENELITIAN

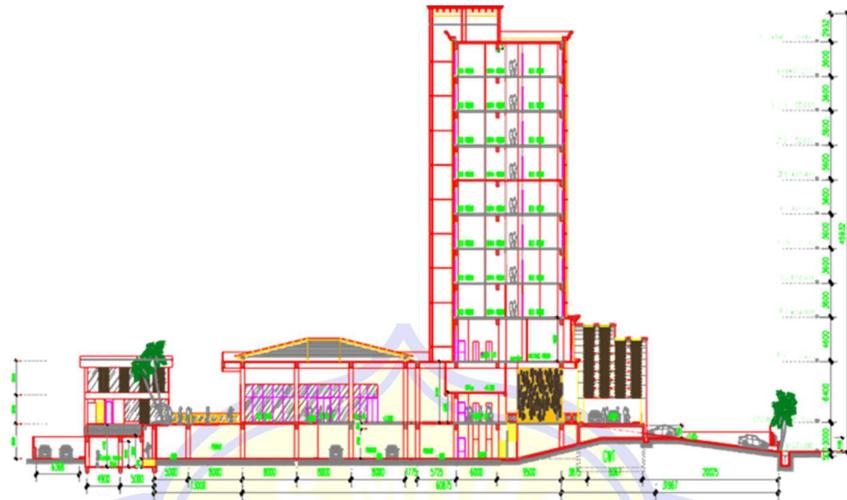
3.1 Data Struktur Bangunan

3.1.1 Model struktur gedung

Pada penelitian ini dilakukan pada gedung Hotel Golden Tulip yang terdiri dari 11 (sebelas) lantai dengan tambahan 1 (satu) lantai dak atap. Lantai basement yang diperuntukan sebagai hotel, lalu untuk bangunan area ruang rapat terdiri hanya dua lantai. Lokasi gedung berada di jalan jendral sudirman No. 40 Rembiga, Kecamatan Selaparang, Kota Mataram yang berdiri pada kondisi tanah lunak (SE) dengan kategori design seismik D sesuai dengan peta gempa Indonesia SNI-1726:2019, dengan S_s : 1.034 dan S_I : 0,405. Model tampak depan hotel golden tulip dapat dilihat pada gambar 3.1, dan potongan memanjang hotel gambar 3.2.



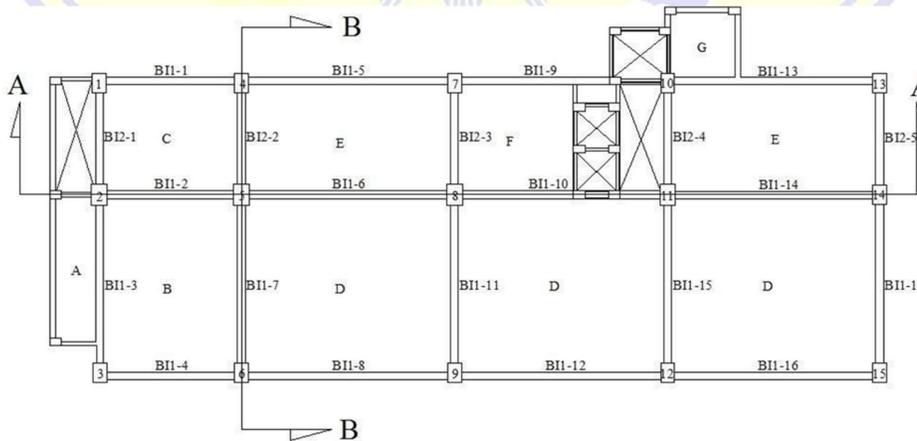
Gambar 3.1 Tampak depan hotel Golden Tulip
(Sumber: Ahmad, 2021)



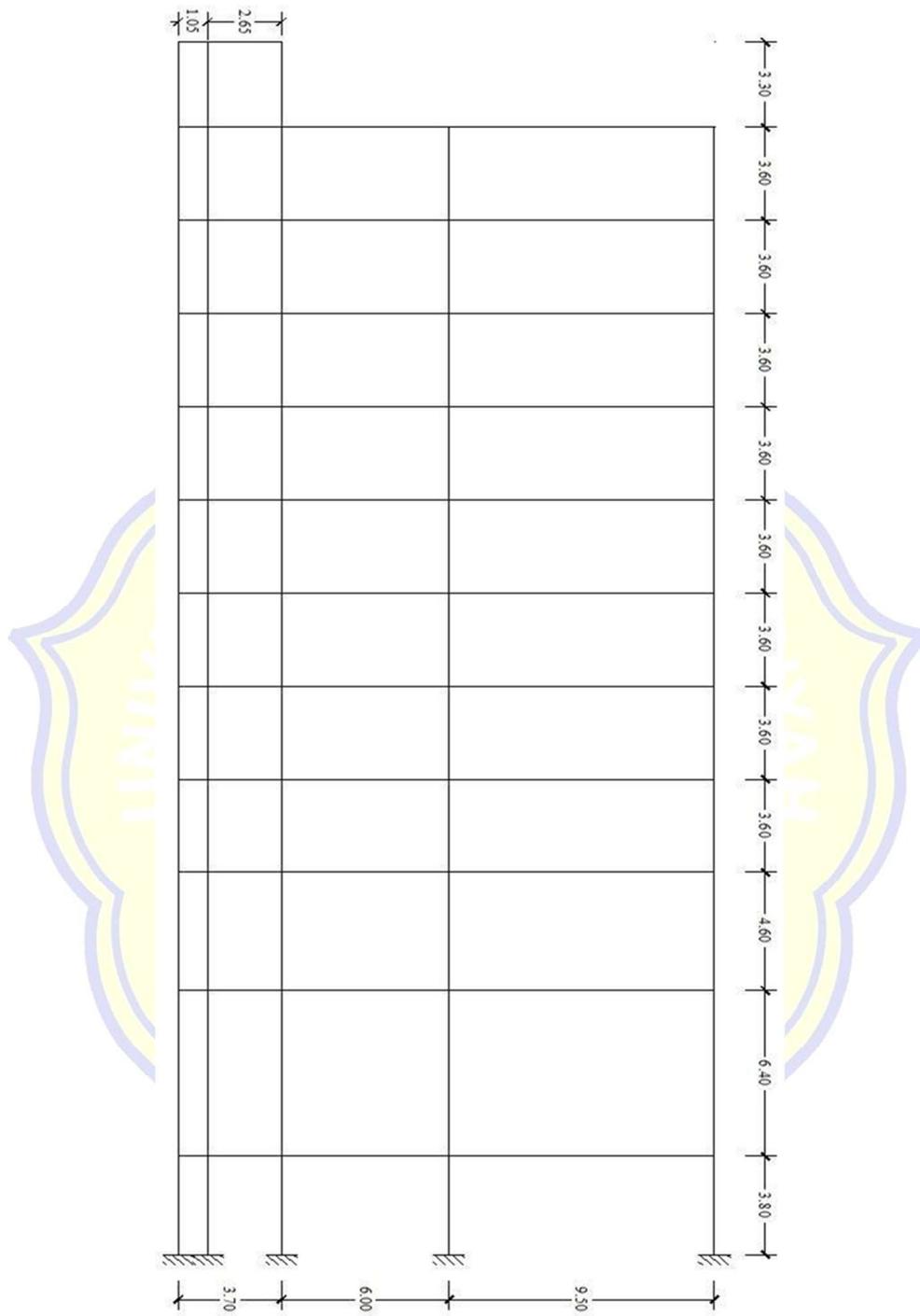
Gambar 3.2 Potongan memanjang hotel
(Sumber: Ahmad, 2021)

3.1.2 Gambar kerja dan desain gedung

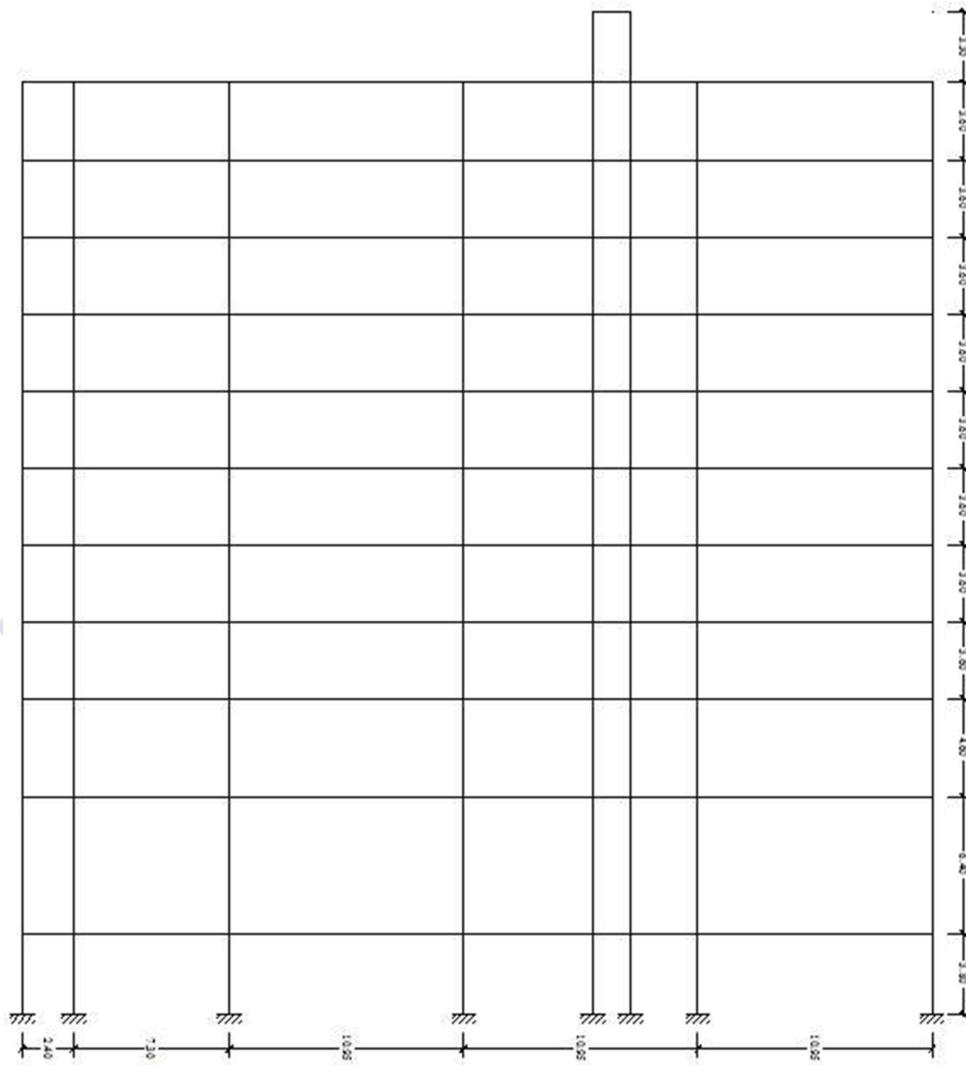
Pada analisis perbandingan metode *pushover* gambar kerja yang menjadi acuan adalah sebagai berikut: denah letak balok dan kolom pada perhitungan gambar 3.3, data penampang balok dan kolom gambar 3.4, portal arah melintang gambar 3.5, dan portal arah memanjang gambar 3.6.



Gambar 3.3 Denah letak balok dan kolom pada perhitungan
(Sumber: Ahmad, 2021)



Gambar 3.5 Portal arah melintang.
 (Sumber: Ahmad, 2021)



Gambar 3.6 Portal arah memanjang
(Sumber: Ahmad, 2021)

3.1.3 Spesifikasi bahan

1. Mutu beton

- Pile Cap = K-350 ($f^c = 29,05$ MPa)
- Borepile = K-225 ($f^c = 18,67$ MPa)
- Tie Beam dan Pondasi Setempat = K-350 ($f^c = 29,05$ MPa)
- Pelat dan Balok = K-350 ($f^c = 29,05$ MPa)

- Kolom dan *Core Wall* = K-350 ($f'c = 29,05$ MPa)
- STP, GWT, dan Kolam Renang = K-350 ($f'c = 29,05$ MPa)

2. Mutu Baja Tulangan

- Baja tulangan polos U-24 ($f_y = 240$ MPa) = Ø8, Ø10, Ø12
- Baja tulangan *deform* U-40 ($f_y = 400$ MPa) = D10, D13, D16, D19, D22, D28, D32

3. Mutu Baja Profil

- Untuk semua profil = SS41 atau BJ37 ($f_y = 240$ MPa)

4. Modulus Elastisitas Beton

- Mutu beton ($f'c = 29,05$ MPa) = 25332 MPa
- Mutu beton ($f'c = 18,68$ MPa) = 20313 MPa

3.2 Tahap Analisis

Pada penelitian ini dilakukan dua tahapan evaluasi untuk menentukan kinerja struktur berdasarkan dua model analisis. Analisis yang akan dilakukan meliputi *pushover*. Analisis menggunakan program SAP 2000 V.14. Untuk mewujudkan uraian diatas maka langkah analisis yang hendak dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan.

3.2.1 Studi literatur

Studi literatur dari jurnal dan buku yang terkait dengan metode *Pushover*. Acuan yang dipakai antara lain SNI 03-1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 03-1727-1989 tentang Pedoman Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung, SNI 1727-2020 tentang Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung, SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktur Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1727-1989 tentang Pedoman

Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung, dan *Applied Technology Council for Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings volume-1 (ATC-40)*.

3.2.2 Pengumpulan data

Pengumpulan data dan informasi bangunan hotel Golden Tulip Mataram yang diteliti, baik data sekunder maupun data primer. Dari hasil pencarian maka data yang didapat adalah sebagai berikut:

- Gambar kerja bangunan hotel Golden Tulip Mataram
- Data hasil Bor dan Sondir

data ini digunakan untuk pemodelan struktur 3D yang selanjutnya dianalisis dengan bantuan SAP 2000 V.14. Gambar kerja digunakan untuk tahapan pemodelan yang sesuai dengan gambar yang ada sehingga analisis ini tidak menyimpang dari gambar yang ada. Semua struktur yang dimodelkan harus sesuai dengan Gambar kerja, untuk bangunan non struktural tidak dimodelkan karena tidak mempunyai pengaruh yang signifikan dalam pemodelan 3D ini.

Data hasil bor dan sondir digunakan dalam menentukan kondisi dan karakteristik tanah tempat berdirinya struktur bangunan hotel Golden Tulip Mataram, dimana data ini selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan besarnya gaya tekan tanah terhadap struktur bagian dasar bangunan. Besarnya gaya tekan tanah mempengaruhi struktur bangunan yang akan dianalisis, oleh sebab itu besarnya gaya tekan tanah ini perlu diperhatikan dalam pemodelan 3D.

3.3 Langkah-langkah Metode *Pushover Analisis*

Batara. I (2021), Pada analisis *pushover*, beban gempa peraturan yang digunakan adalah beban gempa berdasarkan SNI-03-1726 2019 dengan menyesuaikan jenis tanah, situs, dan klasifikasi wilayah pada peta gempa untuk wilayah desa rembiga kecamatan selaparang kota mataram. Adapun langkah-langkah analisis *pushover*, adalah sebagai berikut:

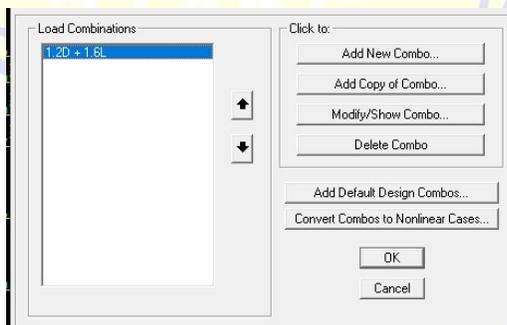
3.3.1 Perhitungan pembebanan

Menghitung beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup. Beban mati yang dihitung berdasar pemodelan yang ada dimana beban sendiri didalam Program SAP 2000 V.14, sedangkan berat sendiri tambahan yang tidak dapat dimodelkan dalam program SAP2000 V.14 dalam beban mati tambahan. Perhitungan berat sendiri ini dalam program SAP 2000 V.14 yang untuk beban mati adalah 1, sedangkan beban mati tambahan adalah 0, dimana beban untuk beban mati sendiri gedung akan dihitung secara otomatis oleh program SAP 2000 V.14, sedangkan untuk beban mati tambahan bebannya perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan perhitungan 4.2.2.

Beban hidup yang dimasukkan dalam program SAP 2000 V.14 dimasukkan dengan kata *live*. Beban hidup ini mendapatkan reduksi beban gempa. Beban hidup disesuaikan dengan peraturan yang ada. Perhitungan beban hidup ini dalam program SAP 2000 V.14 yang untuk *live* adalah 0.

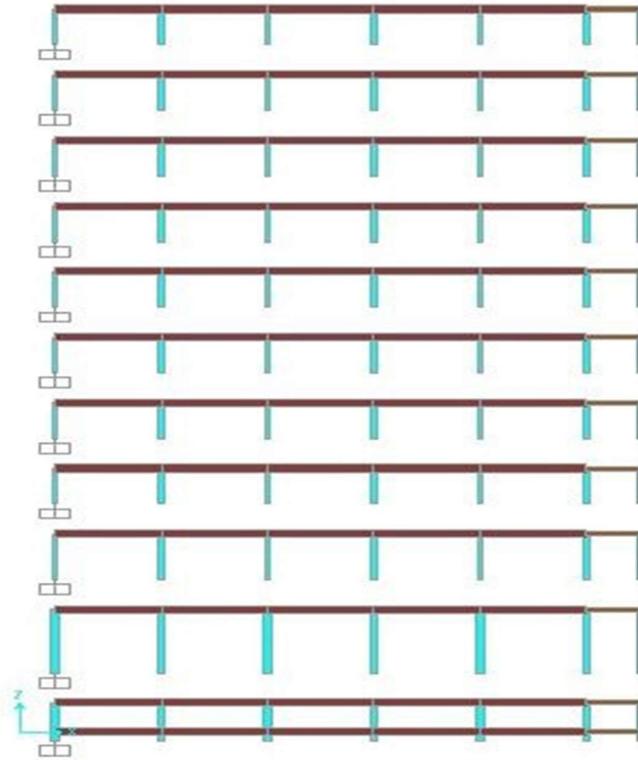
Perhitungan berat struktur dilakukan dengan bantuan program SAP 2000 V.14 dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pemodelan struktur sesuai dengan dimensi dan material yang digunakan.
2. Memasukkan beban mati dan beban hidup sesuai dengan hasil perhitungan pada pembahasan 4.4.2.
3. Mengkombinasikan pembebanan dengan kombinasi 1,2D beban mati + 1,6L beban hidup, sesuai dengan gambar 3.7



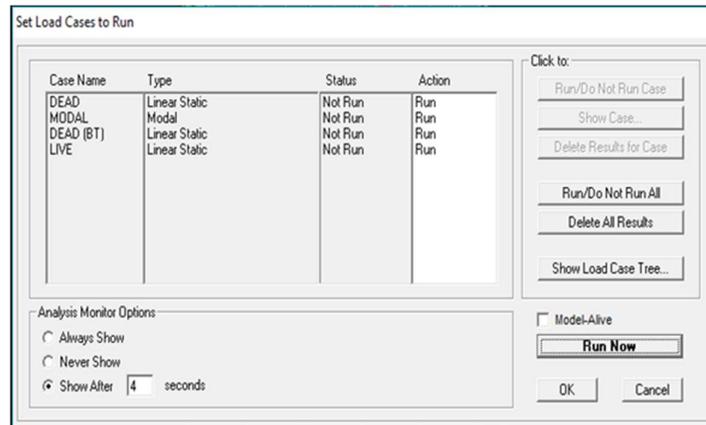
Gambar 3.7 Mendefinisikan kombinasi pembebanan
(Sumber: SAP2000 V.14, 2022)

4. Memisahkan masing-masing lantai bangunan dan menaruhkan satu tumpuan jepit pada salah satu kolom struktur, sesuai dengan gambar 3.8.



Gambar 3.8 Pola penentuan titik berat
(Sumber: SAP2000 V.14, 2022)

5. Melakukan running SAP 2000 V.14 dengan beban yang bekerja yaitu *Dead Load* (beban mati), *Live Load* (beban hidup). Sesuai gambar 3.9 running program SAP 2000 V.14



Gambar 3.9 Runing program SAP 2000 V.14
(Sumber: SAP2000 V.14, 2022)

Hasil analisis dari nilai momen arah Y dan arah X akan didapatkan posisi titik berat yang ditinjau dari posisi perletakan jepit yang dipasangkan. Hasil berat gedung (F3) dan posisi titik berat (Ey dan Ex) akan di ambil nilai masing-masing lantai.

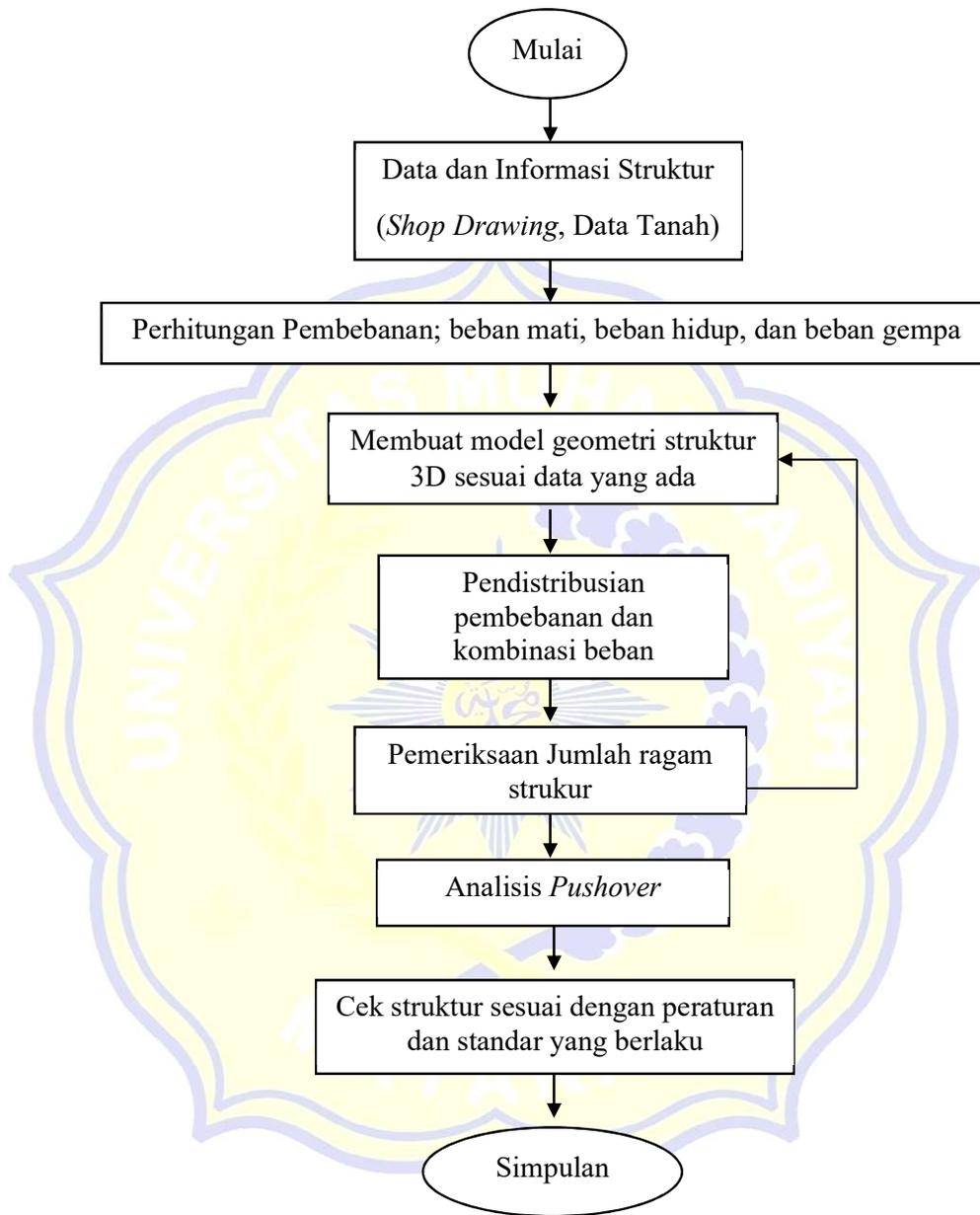
3.4 Diagram alir penelitian

Metode penelitian ini menggunakan analisis nonlinier *pushover*. Analisis menggunakan program SAP 2000 V.14. Untuk mewujudkan uraian diatas maka langkah analisis yang hendak dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Tahapan analisis pada penelian ini dapat di gambarkan menjadi suatu gambaran yang sederhana, mekanisme penelitian diagram alir metode *pushover* dapat di lakukan dengan tahap-taham sebagai berikut:

1. Menentukan titik kontrol untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva *pushover*.
2. Membuat kurva *pushover* berdasarkan berbagai macam pola distribusi gaya lateral terutama yang ekivalen dengan distribusi dari gaya inersia, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama atau mendekati deformasi yang terjadi akibat gempa. Oleh karena sifat gempa adalah tidak pasti, maka

perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral yang berbeda untuk mendapatkan kondisi yang paling menentukan.

3. Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (target perpindahan). Titik kontrol didorong sampai taraf perpindahan tersebut, yang mencerminkan perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.
4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan, merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja. Komponen struktur dan aksi perilakunya dapat dianggap memuaskan jika memenuhi kriteria yang dari awal sudah ditetapkan, baik terhadap persyaratan deformasi maupun kekuatan. Karena yang dievaluasi adalah komponen maka jumlahnya relatif sangat banyak, oleh karena itu proses ini sepenuhnya harus dikerjakan oleh komputer (fasilitas *pushover* dan evaluasi kinerja yang terdapat secara built-in pada program SAP2000).
5. Menetapkan ukuran dimensi model dari sstruktur portal beton bertulang sesuai dengan data properti di atas (untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada gambar 3.10 bagan alir penelitian metode *pushover*).



Gambar 3.38 bagan alir penelitian metode *pushover*