

**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT  
BANYAK AKIBAT ALIH FUNGSI DENGAN  
ANALISIS *PUSHOVER*  
(*STRUCTURE EVALUATION OF MULTI-STORY  
BUILDING WITH PUSHOVER ANALYSIS DUE TO  
FUNCTION CHANGING*)**

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



**Rizqullah Ahnaf Rafi Sutoko**

**18511220**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**PROGRAM SARJANA**

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**YOGYAKARTA**

**2023**

**TUGAS AKHIR**  
**EVALUASI STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT BANYAK**  
**AKIBAT ALIH FUNGSI DENGAN ANALISIS *PUSHOVER***  
**(*STRUCTURE EVALUATION OF MULTI-STORY BUILDING***  
***WITH PUSHOVER ANALYSIS DUE TO FUNCTION***  
***CHANGING*)**

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Disusun oleh

**Rizqullah Ahnaf Rafi Sutoko**  
**18511220**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji Pada Tanggal : *23 Juni 2023*  
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Astriana Hardawati S.T., M.Eng.  
NIK : 165111301

Penguji I

Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph. D  
NIK : 0905110101

Penguji II

Jafar, S.T., MURP., M.T.  
NIK : 185111305

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D  
NIK : 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana (S1) di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau Sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 17 Januari 2023

Yang membuat pernyataan



Rizqullah Ahnaf Rafi Sutoko

(18511220)

## LEMBAR DEDIKASI

*Bismillahirrohmanirrohim*

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang atas segala hidayah dan rahmat-Nya dipermudahkan untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Dengan segala rasa terimakasih saya persembahkan tugas akhir ini

1. Allah SWT yang telah memberi Kesehatan dan kemudahan dalam Menyusun tugas akhir ini
2. Bapak Sutoko, Ibu Sri Rahayu, Rizqullah Nadhif Arsyah Sutoko selaku orang tua dan adik yang selalu memberi dukungan
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan ilmu dan waktunya untuk membimbing

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “*Evaluasi Struktur dengan Analisis Pushover Pada Gedung Hotel Mutiara Akibat Alih Fungsi*”, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program sarjana (S1) di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan Tugas Akhir ini. Pada kesempatan penulis ingin menyampaikan terimakasih setulus-tulusnya kepada :

1. Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Rektor Universitas Islam Indonesia,
2. Ir. Ilya Fadjar Maharika, MA., IAI., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII Yogyakarta,
3. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D, selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil FTSP UII Yogyakarta,
4. Astriana Hardawati, S.T., M. Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala bimbingan, arahan, serta saran yang diberikan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik,
5. Kedua orang tua penulis, Bapak Sutoko dan Ibu Sri Rahayu, yang selalu memberikan kasih sayang, doa, nasehat, serta kesabaran yang luar biasa dalam setiap langkah hidup penulis,
6. Adik penulis, Rizqullah Nadhif Arsy Sutoko, terimakasih atas doa dan segala dukungan,
7. Saudara penulis, Bella Fadiya, terimakasih atas doa dan segala dukungan,
8. Teman penulis, Yasmine Detyara, terimakasih atas doa dan segala dukungan,
9. Teman-teman Kost Pawon Candi selaku sahabat yang setia mendukung, Adinda Qaida Arifa, Muhammad Ghifari, Ali Akbar, Zaferka, Imron Ryan, Wahyu Ridho, Kevin Rayhan, Denny Yudha, Daya Arya Sangkan, Majid Hilmi, Aprian Bima, Rafly Pahdika, Fariz Arsy, Alif Ibrahim, Puan Thyra, Samin Latuconsina,

10. Teman-teman keluarga Teknik Sipil 2018, Alvin Reza, Fairuz Giri, Iqbal Rizky, Bachrul Andriansyah, Rahmawan Eka, Ivan Ekacandra, Daffa Huberta, Akbar Aliftra, Dimas Harisandi,
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah dengan tulus.

## DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
LEMBAR DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.1.1 Evaluasi Kerapuhan Seismik Pada Struktur Gedung Kuliah <i>Twin Building</i> UMY Menurut SNI 1726-2012	5
2.1.2 Studi Komparasi Terhadap Level Kinerja Struktur Pada Kondisi Eksisting dan Kondisi Pasca Perbaikan Perkuatan Dengan Analisis <i>Pushover</i> . Studi Kasus Gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia	6
2.1.3 Evaluasi Struktur Dengan <i>Pushover Analysis</i> Pada Gedung Kalibata Residences Jakarta	7
2.1.4 Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis <i>Pushover</i> Menggunakan Program SAP 2000	7
2.2 Perbedaan Penelitian	8
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 Ketentuan Umum Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan SNI-03-1726-2019	12
3.1.1 Penentuan Gempa Rencana dan Kategori Gedung	12

3.1.2	Spektrum Respons Desain	14
3.1.3	Parameter Percepatan Spektral Desain	17
3.1.4	Kategori Desain Seismik	18
3.1.5	Gaya Lateral Ekuivalen	19
3.2	Analisis Gaya Gravitasi	21
3.2.1	Beban Mati	21
3.2.2	Beban Hidup	22
3.3	Analisa Respons Struktur	25
3.4	Sendi Plastis Pada Struktur Gedung	26
3.5	Analisis Pushover	26
3.6	Kinerja Struktur Metode ATC-40	28
3.6.1	Titik Kinerja Struktur Metode ATC-40	30
3.6.2	Batasan Deformasi	34
BAB IV METODE PENELITIAN		35
4.1	Objek Penelitian	35
4.2	Data Bangunan	37
4.3	Program Yang Digunakan	42
4.4	Tahapan Penelitian	43
4.5	Bagan Alir Penelitian	45
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		46
5.1	Perhitungan Pembebanan Struktur	46
5.1.1	Bahan dan Material	47
5.1.2	Beban Mati	47
5.1.3	Beban Hidup	49
5.1.4	Beban Dinding	49
5.1.5	Beban Gempa Respon Spektrum	49
5.1.6	Gaya Geser Dasar ( <i>Base Shear Reaction</i> )	56
5.2	Pemodelan Kolom dan Balok	57
5.2.1	Pemodelan Kolom	58
5.2.2	Pemodelan Balok	60
5.3	Analisis <i>Pushover</i>	65
5.3.1	Pendefinisian <i>Load Pattern Pushover Analysis</i>	65
5.3.2	Pendefinisian <i>Load Case Pushover Analysis</i>	65
5.3.3	Pendefinisian Sendi Plastis ( <i>Hinge</i> )	72



5.3.4	<i>Running Pushover Analysis</i>	72
5.4	Hasil Analisis <i>Pushover</i>	72
5.4.1	Kurva Kapasitas	72
5.4.2	<i>Performance Point</i> Metode ATC-40	75
5.4.3	Tingkat Kinerja Struktur	79
5.4.4	Skema Sendi Plastis	81
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		85
6.1	Kesimpulan	85
6.2	Saran	86
DAFTAR PUSTAKA		87
LAMPIRAN		89

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dan Sekarang	9
Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk beban Gempa	12
Tabel 3.2 Faktor Keutamaan Gempa	14
Tabel 3.3. Koefisien Situs $F_a$	15
Tabel 3.4. Koefisien Situs $F_v$	15
Tabel 3.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek ( $S_{DS}$ )	18
Tabel 3.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik ( $S_{DI}$ )	19
Tabel 3.7 Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$	19
Tabel 3.8 Beban Hidup Terdistribusi Merata Terpusat Minimum	22
Tabel 3.9 Kondisi Bangunan Pasca Gempa dan Kategori Bangunan pada Tingkat Kinerja Struktur	28
Tabel 3.10 Batasan Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur	34
Tabel 4.1 Dimensi dan Tipe Kolom	37
Tabel 4.2 Dimensi dan Tipe Balok	38
Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Respon Spektrum	52
Tabel 5.2 Berat Total Bangunan	55
Tabel 5.3 Gaya Horisontal Model Hotel	56
Tabel 5.4 Gaya Geser Dasar ( <i>Base Shear</i> )	57
Tabel 5.5 Data Kurva Kapasitas <i>Pushover X</i>	74
Tabel 5.6 Data Kurva Kapasitas <i>Pushover Y</i>	75
Tabel 5.7 <i>Output Capacity Spectrum</i> dan <i>Demand Spectrum</i> Arah X	77
Tabel 5.8 <i>Output Capacity Spectrum</i> dan <i>Demand Spectrum</i> Arah Y	78
Tabel 5.9 <i>Performance Point</i> Metode ATC-40	79
Tabel 5.10 Keterangan Warna Titik Sendi Plastis	81

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Level-Level Kerusakan Bangunan	12
Gambar 3.2 $S_s$ , Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko – Tertarget	14
Gambar 3.3 Parameter Gerak Tanah $S_s$ , Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (Redaman Kritis 5%)	16
Gambar 3.4 Parameter Gerak Tanah, $S_I$ , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2- Detik (Redaman Kritis 5 %)	16
Gambar 3.5 Spektrum Respons Desain	18
Gambar 3.6 Tipikal Kurva Kapasitas Pada Berbagai Tingkatan Kinerja Struktur (ATC-40, 1996 : 6-6)	29
Gambar 3.7 Contoh Faktor Partisipasi Modal dan Modal Koefisien Massa (ATC-40, 1996 : 8-10)	31
Gambar 3.8 (a) Kurva Kapasitas (b) Spektrum Kapasitas (ATC-40, 1996:8-12)	32
Gambar 3.9 (a) Respon Spektrum Standar (b) Respon Spektrum Format ADRS (ATC-40, 1996 : 6-8)	32
Gambar 3.10 Titik Kinerja Struktur Sesuai ATC-40	33
Gambar 4.1 Denah Balok dan Kolom Lantai 1	35
Gambar 4.2 Denah Balok dan Kolom Lantai 2	36
Gambar 4.3 Denah Balok dan Kolom Lantai 3 sampai Lantai 8	36
Gambar 4.4 Detail Kolom K1	38
Gambar 4.5 Detail Kolom K2	39
Gambar 4.6 Detail Kolom K3	39
Gambar 4.7 Detail Kolom K4	40
Gambar 4.8 Detail Balok BI X	41
Gambar 4.9 Detail Balok BI Y	41
Gambar 4.10 Detail Balok BA X	42
Gambar 4.11 Detail Balok BA Y	42
Gambar 4.12 Diagram Alir Tahapan Penelitian Analisis <i>Pushover</i>	45

Gambar 5.1 Pemodelan Gedung Mall menggunakan SAP2000	46
Gambar 5.2 Grafik Respon Spektrum	52
Gambar 5.3 Grafik Respon Spektrum dari Desain Spektra Indonesia	53
Gambar 5.4 Pemodelan Penulangan Kolom K1	58
Gambar 5.5 Pemodelan Penulangan Kolom K2	59
Gambar 5.6 Pemodelan Penulangan Kolom K3	59
Gambar 5.7 Pemodelan Penulangan Kolom K4	60
Gambar 5.8 SD Section Data Balok BI X	61
Gambar 5.9 Section Designer Balok BI X	61
Gambar 5.10 SD Designer Balok BI Y	62
Gambar 5.11 Section Designer Balok BI Y	62
Gambar 5.12 SD Designer Balok BA X	63
Gambar 5.13 Section Designer Balok BA X	63
Gambar 5.14 SD Designer Balok BA Y	64
Gambar 5.15 Section Designer Balok BA Y	64
Gambar 5.16 <i>Load Case Gravity X</i>	65
Gambar 5.17 <i>Load Application Gravity X</i>	66
Gambar 5.18 <i>Nonlinear Parameters Gravity X</i>	66
Gambar 5.19 <i>Load Case Gravity Y</i>	67
Gambar 5.20 <i>Load Application Gravity Y</i>	67
Gambar 5.21 <i>Nonlinear Parameters Gravity Y</i>	68
Gambar 5.22 <i>Load Case Pushover X</i>	69
Gambar 5.23 <i>Load Application Pushover X</i>	69
Gambar 5.24 <i>Nonlinear Parameters Pushover X</i>	70
Gambar 5.25 <i>Load Case Pushover Y</i>	70
Gambar 5.26 <i>Load Application Pushover Y</i>	71
Gambar 5.27 <i>Nonlinear Parameters Pushover Y</i>	71
Gambar 5.28 Kurva Kapasitas <i>Pushover X</i>	73
Gambar 5.29 Kurva Kapasitas <i>Pushover Y</i>	73
Gambar 5.30 <i>Capacity Spectrum Arah X</i>	76

Gambar 5.31 <i>Capacity Spectrum</i> Arah Y	76
Gambar 5.32 <i>Capacity Spectrum</i> dan <i>Demand Spectrum</i> Arah X	78
Gambar 5.33 <i>Capacity Spectrum</i> dan <i>Demand Spectrum</i> Arah Y	79
Gambar 5.34 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah X	82
Gambar 5.35 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis pada Kolom Arah X	82
Gambar 5.36 Step Akhir Sendi Platis Arah X	83
Gambar 5.37 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah Y	83
Gambar 5.38 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis pada Kolom Arah Y	84
Gambar 5.39 Step Akhir Sendi Plastis Arah Y	84

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Denah Kolom Lantai 1 Gedung Hotel Bertingkat Banyak	90
Lampiran 2 Denah Kolom Lantai 2 Gedung Hotel Bertingkat Banyak	91
Lampiran 3 Denah Kolom Lantai 3-8 Gedung Hotel Bertingkat Banyak	92
Lampiran 4 Denah Balok dan Kolom Lantai 1	93
Lampiran 5 Denah Balok dan Kolom Lantai 2	94
Lampiran 6 Denah Balok dan Kolom Lantai 3-8	95
Lampiran 7 Detail Balok BI X	96
Lampiran 8 Detail Balok BI Y	97
Lampiran 9 Detail Balok BA X	98
Lampiran 10 Detail Balok BA Y	99
Lampiran 11 Detail Kolom K1	100
Lampiran 12 Detail Kolom K2	101
Lampiran 13 Detail Kolom K3	102
Lampiran 14 Detail Kolom K4	103

## ABSTRAK

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Indo-Australia di bagian selatan, lempeng Eurasia di bagian utara dan lempeng Pasifik di bagian timur. Hal tersebut menyebabkan Indonesia terletak di wilayah yang rawan gempa, terlebih dalam beberapa tahun belakang sering kali terjadi bencana gempa bumi dalam skala yang cukup besar. Oleh karena itu *trend* terbaru dalam perencanaan bangunan tahan gempa adalah perencanaan berbasis kinerja. Dalam penelitian ini digunakan metode analisis *pushover* dan menggunakan ATC-40 sebagai pedoman penentuan tingkatan kinerja bangunan. Analisis dilakukan menggunakan SAP2000.

Dari hasil analisis didapatkan kurva kapasitas arah x yang berbentuk lebih tegak dibandingkan arah y, itu menunjukkan bahwa arah x lebih kaku dibandingkan arah y. Nilai gaya lateral arah x sebesar 28286,669 kN, dengan *displacement* sebesar 0,30342 m sedangkan untuk arah y gaya lateral sebesar 24532,637 kN dengan *displacement* sebesar 0,001607 m. Nilai *performance point* arah X yang diperoleh yaitu  $V_t = 25074,653$  kN,  $\delta_t = 0,221$  m,  $S_a = 0,416$ ,  $S_d = 0,185$ ,  $T_{eff} = 1,334$ , dan  $B_{eff} = 0,242$ . Untuk arah Y yaitu  $V_t = 24818,896$  kN,  $\delta_t = 0,00153$  m,  $S_a = 0,413$ ,  $S_d = 0,195$ ,  $T_{eff} = 1,378$ , dan  $B_{eff} = 0,23$ . Untuk nilai *Drift* dihitung dengan metode ATC-40 didapatkan tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Sendi plastis awal terjadinya pada arah X pada step-2 dan arah y step ke-2 yang ditandai dengan munculnya titik berwarna ungu. Untuk sendi plastis kolom arah X terjadi pada step-3 dan arah Y pada step-13. Sendi plastis berakhir arah X pada step-7 dan arah Y terjadi pada step-30.

**Kata kunci** : Gedung, *Pushover*, *Performance point*, sendi plastis

## **ABSTRACT**

*Indonesia is located at the confluence of three major tectonic plates, namely the Indo-Australian plate in the south, the Eurasian plate in the north and the Pacific plate in the east. This causes Indonesia to be located in an earthquake-prone area, especially in recent years, earthquakes on a fairly large scale have often occurred. Therefore, the latest trend in planning earthquake resistant buildings is performance-based planning. In this study, the pushover analysis method was used and ATC-40 was used as a guideline for determining building performance levels. Analysis used using SAP2000.*

*From the analysis results, it was found that the capacity curve in the x direction is more upright than the y direction, indicating that the x direction is stiffer than the y direction. The value of the lateral force in the x direction is 28286.669 kN, with a displacement of 0.30342 m while for the y direction the lateral force is 24532.637 kN with a displacement of 0.001607 m. The X direction performance point values obtained were  $V_t = 25074.653$  kN,  $\delta_t = 0.221$  m,  $S_a = 0.416$ ,  $S_d = 0.185$ ,  $T_{eff} = 1.334$ , and  $B_{eff} = 0.242$ . For the Y direction, namely  $V_t = 24818.896$  kN,  $\delta_t = 0.00153$  m,  $S_a = 0.413$ ,  $S_d = 0.195$ ,  $T_{eff} = 1.378$ , and  $B_{eff} = 0.23$ . For the Drift value calculated using the ATC-40 method, the Immediate Occupancy (IO) performance level is obtained. The initial plastic hinge occurs in the X direction at step-2 and the y direction at step-2 which is indicated by the appearance of purple dots. For column plastic hinges, the X direction occurs in step-3 and the Y direction occurs in step-13. The plastic hinge ends in the X direction at step-7 and the Y direction occurs at step-30.*

**Keyword** : Building, Pushover, Performance point, plastic hinge



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kepulauan Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng indo-australia dibagian selatan, lempeng Eurasia di bagian utara dan lempeng pasifik di bagian timur. Kondisi tatanan tektonik yang kompleks menyebabkan wilayah Indonesia menjadi kawasan seismic aktif dengan frekuensi kegempaan yang tinggi. Berdasarkan kondisi tersebut, perlu adanya pemahaman mengenai karakteristik gempa bumi disuatu daerah tersebut.

Dalam beberapa tahun belakang wilayah Indonesia sering kali terjadi bencana gempa bumi dalam skala yang cukup besar, pada peristiwa gempa yang terjadi seringkali mengakibatkan banyak bangunan yang mengalami kegagalan struktur baik akibat perencanaan maupun pelaksanaan yang kurang baik atau bahkan sama sekali belum direncanakan untuk ketahanan gempa (Michael Titanto, 2010).

Seiring banyak terjadinya gempa bumi dalam skala yang cukup besar di Indonesia maka *trend* terbaru perencanaan bangunan tahan gempa saat ini adalah perencanaan berbasis kinerja (*performance-based design*). Konsep perencanaan berbasis kinerja merupakan kombinasi dari aspek tahanan dan aspek layan. Kinerja batas layan struktur di tentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana, yaitu untuk membatasi terjadinya pelelehan baja tulangan dan peretakan beton yang berlebihan. Suatu struktur dianggap memenuhi persyaratan kinerja yang baik apabila struktur tersebut memiliki kapasitas untuk menahan gaya gempa sedemikian hingga perilakunya sesuai dengan perencanaan yang telah ada. Salah satu caranya adalah dengan menerapkan analisis *pushover* untuk menentukan tingkat kinerja struktur. Tingkat kinerja merupakan batasan kerusakan yang ditentukan dari kerusakan fisik struktur dan elemen struktur, sehingga dengan adanya tingkat kinerja dapat diketahui keadaan struktur bangunan tersebut.

Pada penelitian ini dikhususkan untuk melakukan evaluasi kinerja struktur dengan mengadopsi denah pada struktur bangunan gedung Mall yang sudah berdiri (kondisi *existing*) yang terletak di Jalan Malioboro, Suryatmajan, Danurejan, Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis statik non linier berupa *pushover analysis* menggunakan metode ATC-40 dengan bangunan yang berfungsi sebagai mall.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Pada penelitian kali ini dilakukan analisis *pushover* pada gedung Mall Bertingkat Banyak pada kondisi ekstrim dimana *shearwall* tidak dimodelkan dalam melakukan analisa.

1. Bagaimana hasil kurva kapasitas bangunan yang ditinjau ?
2. Bagaimana tingkat kinerja bangunan (*performance point*) yang ditinjau terhadap beban gempa?
3. Bagaimana skema sendi plastis (*hinges*) yang terjadi pada struktur bangunan?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kurva kapasitas pada bangunan yang ditinjau.
2. Mengetahui tingkat kinerja bangunan yang ditinjau terhadap beban gempa yang terjadi.
3. Mengetahui mekanisme terjadinya sendi plastis yang terjadi pada bangunan yang ditinjau.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan :

1. Dapat dijadikan masukan dalam evaluasi bangunan dalam melaksanakan mitigasi bencana gempa dengan memperhatikan tingkat kinerja struktur.
2. Dapat dijadikan acuan dalam perencanaan struktur selanjutnya sehingga mampu bertahan pada saat terjadi bencana gempa.

## **1.5 Batasan Penelitian**

1. Bangunan yang diteliti adalah bangunan gedung bertingkat banyak yang berfungsi sebagai mall dengan mengadopsi denah bangunan eksisting yang

terletak di Jalan Malioboro, Suryatmajan, Danurejan, Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta.

2. Penelitian fokus pada evaluasi kinerja struktur dalam kondisi *existing* terhadap risiko bencana gempa.
3. Komponen yang dievaluasi hanya komponen struktur meliputi kolom, balok, dan pelat lantai.
4. Struktur dimodelkan tanpa *core wall* untuk menunjukkan kondisi ekstrim dari bangunan.
5. Pondasi dan kondisi tanah tidak dievaluasi, namun diasumsikan dengan kondisi tanah sedang (SD)
6. Mutu bahan pada struktur adalah sebagai berikut.
  - a. Mutu Beton pada kolom, balok, dan pelat lantai adalah  $f'c$  30 MPa.
  - b. Mutu baja tulangan diasumsikan adalah  $f'y$  420 MPa.
7. Analisis penelitian adalah sebagai berikut.
  - a. Gedung dianalisa secara 3 dimensi dengan menggunakan program SAP2000 V22.
  - b. Tumpuan yang digunakan dalam permodelan adalah tumpuan jepit.
  - c. *Shear wall* dimodelkan dengan menggunakan *shell-thick/thin*
  - d. Dinding bata digunakan sebagai pembebanan.
  - e. Balok dan kolom dimodelkan sebagai *frame*.
  - f. Pelat lantai dimodelkan sebagai *shell-thin*.
  - g. Dilakukan *auto mesh* pada pelat lantai.
  - h. Jumlah tingkat yang dianalisa adalah 8 tingkat, dengan tinggi total 28 m.
  - i. Gaya lateral yang ditinjau adalah beban gempa horizontal.
  - j. T dihitung dengan menggunakan *T crack*.
  - k. Analisis non linier yang dilakukan dalam evaluasi struktur adalah analisis non linier static (*pushover analysis*).
8. Peraturan
  - a. Perhitungan dan analisis beban gempa mengacu kepada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan dan Non Gedung (SNI 1726-2019).

- b. Perhitungan pembebanan mengacu pada Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727-2020).
3. Peraturan untuk evaluasi kinerja bangunan mengacu pada metode ATC-40.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan referensi yang dapat dijadikan acuan terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Referensi yang dapat menjadi acuan antara lain adalah jurnal ilmiah maupun tugas akhir. Penelitian-penelitian terdahulu mengenai *Pushover Analysis* yang mengacu pada Analisis Perubahan Respon Struktur Akibat Alih Fungsi Bangunan, dan mengacu pada penelitian *Pushover Analysis* menggunakan Metode ATC-40. Berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu yang dapat dijadikan sebagai tinjauan pustaka pada penelitian ini.

##### 2.1.1 Evaluasi Kerapuhan Seismik Pada Struktur Gedung Kuliah *Twin Building* UMY Menurut SNI 1726-2012

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Rifki (2019) bertujuan untuk menganalisa kerapuhan seismik beton bertulang pada Gedung Kuliah *Twin Building* UMY menggunakan metode analisis *pushover* non-linier, analisis tersebut menunjukkan adanya penurunan pada nilai *displacement* maupun nilai gaya geser dasar (*base force*). Penurunan ini terjadi karena adanya komponen struktur yang mengalami kegagalan. Setelah dilakukannya identifikasi, komponen struktur yang mengalami kegagalan pada step ke-22 adalah kolom tangga lantai 3. Nilai *displacement* dan nilai *base reaction* yang dicapai pada arah x adalah sebesar 0,22037 m dan 60320,78 kN, sedangkan nilai pada arah y nilai *displacement* dan *base reaction* yang diperoleh adalah sebesar 0,263347 m dan 161227,1 kN.

Kemudian median *spectral displacement* ( $S_d$ ) yang meliputi kondisi *slight*, *moderate*, *extensive*, dan *complete* untuk arah x secara berurutan adalah sebesar 0,0163 m, 0,02444 m, 0,06654 m, dan 0,18115 m. untuk arah y nilai median *spectral displacement* ( $S_d$ ) yang didapat secara berurutan adalah sebesar 0,01455 m, 0,021682 m, 0,064934 m, dan 0,194463 m.

Dari hasil analisis kerapuhan seismik Gedung Kuliah *Twin Building* UMY dapat dilihat bahwa bentuk kurva kerapuhan telah sesuai dengan bentuk kurva yang dicontohkan dalam HAZUS. Rentang nilai *spectral displacement* ( $S_d$ ) pada kurva kerapuhan seismik arah x Gedung Kuliah *Twin Building* UMY dimulai dari  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 0,8$  m untuk kondisi *slight*,  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 0,9$  m untuk kondisi *moderate*,  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 2,3$  m untuk kondisi *extensive*, dan  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 8$  m untuk kondisi *complete*. Sedangkan untuk arah y dimulai dari  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 0,7$  m untuk kondisi *slight*,  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 0,6$  m untuk kondisi *moderate*,  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 1,7$  m untuk kondisi *extensive*, dan  $S_d = 0,001$  m sampai  $S_d = 6,3$  m untuk kondisi *complete*.

Kemungkinan terjadinya kegagalan pada struktur Gedung Kuliah *Twin Building* UMY akibat gempa maksimum daerah Yogyakarta ( $S_a = 0,7523$  g) berdasarkan kurva kerapuhan seismik arah x kondisi *slight* adalah sebesar 99,95 %, pada kondisi *moderate* sebesar 99,4 %.

#### 2.1.2 Studi Komparasi Terhadap Level Kinerja Struktur Pada Kondisi Eksisting dan Kondisi Pasca Perbaikan Perkuatan Dengan Analisis *Pushover*. Studi Kasus Gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia

Penelitian yang dilakukan oleh Luthfi Assholam Solamat (2018) bertujuan untuk melakukan perbandingan nilai spektrum respons gempa waktu getar antara pada kondisi eksisting dan kondisi pasca perbaikan dengan prosedur *pushover* FEMA 356 menggunakan *software* SAP 2000. Analisis *Pushover* dilakukan menggunakan parameter seperti periode getar alami ( $T_1$ ), kapasitas geser dasar ( $V_{base}$ ), periode efektif struktur, kapasitas daktilitas struktur, dan kapasitas perpindahan lateral struktur. Pada metode *pushover* Dewabroto (2005) menjelaskan tahapan dalam melakukan Analisa adalah menentukan titik control untuk memonitor besarnya perpindahan struktur, membuat kurva *pushover* dari distribusi gaya inersia yang ekuivalen dengan berbagai pola distribusi gaya lateral sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama dengan gempa sebenarnya, mengestimasi besarnya target perpindahan, mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik control tepat berada pada target perpindahan yang merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja.

### 2.1.3 Evaluasi Struktur Dengan *Pushover Analysis* Pada Gedung Kalibata Residences Jakarta

Penelitian yang dilakukan oleh Cipto Utomo, Rokhmad Irfan Susanto, Hardi Wibowo, S.T., M. Eng.,(2012) Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro dilakukan untuk mengetahui perilaku seismic struktur dari besarnya daktilitas actual dan faktor reduksi gempa actual. Pola pembebanan lateral yang diberikan pada analisis *pushover* adalah beban lateral multi-modal, masing-masing gaya dari analisis modal dilakukan respons kombinasi dengan metode SRSS (*Square Root of the Sum of Square*). Dari hasil analisis *Pushover* didapatkan daktilitas ( $\mu\Delta$ ) actual arah x (positif) = 3,85, arah x (negatif) = 3,96 dan daktilitas ( $\mu\Delta$ ) aktual arah y (positif) = 2,97, arah y (negatif) 3,15. Faktor reduksi gempa (R) aktual arah x (positif) = 6,2, arah x (negatif) = 6,3 dan faktor reduksi gempa (R) aktual arah y (positif) = 4,7, arah y (negatif) = 5,0. Hal ini menunjukkan daktilitas ( $\mu\Delta$ ) aktual dan faktor reduksi gempa (R) aktual yang terjadi sesuai dengan SNI 03-1726-2002 ( $\mu_m=4,0$  dan  $R_m = 6,5$  untuk sistem ganda yang terdiri dari struktur dinding geser dan SRPMM beton bertulang).

### 2.1.4 Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis *Pushover* Menggunakan Program SAP 2000

Tugas akhir yang dilakukan oleh Nur Rachmad Afandi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta (2010) adalah melakukan *re-evaluasi* kinerja tahanan gempa gedung Rumah Sakit untuk mengetahui kapasitas gempa efektif struktur dan perilakunya dengan memunculkan skema terjadinya sendi plastis pada elemen kolom dan balok dengan metode *pushover* berdasarkan peraturan ATC-40, serta menentukan level kinerja struktur terhadap tahanan gempa berdasarkan peraturan tersebut. Pemilihan gedung Rumah Sakit sebagai obyek penelitian dikarenakan gedung merupakan gedung massal sehingga didesain sesuai dengan kuat rencana.

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan gaya geser dasar efektif sebesar 428,206 ton dimana angka tersebut kurang dari gaya geser dasar rencana sebesar 747,132 ton dengan percepatan puncak batuan dasar sebesar 0,012 g yang mana angka tersebut kurang dari percepatan puncak batuan dasar rencana wilayah gempa

3 yakni sebesar 0,15 g. Struktur bangunan mampu memberikan perilaku non-linier yang ditunjukkan pada fase awal dan mayoritas terjadinya sendi plastis terjadi pada elemen balok baru, kemudian elemen kolom. Level kinerja struktur masuk kinerja *immediate occupancy* yang berarti terjadi kerusakan kecil pada structural dan bangunan dapat segera digunakan kembali.

## **2.2 Perbedaan Penelitian**

Berdasarkan uraian dari beberapa penelitian terdahulu dapat disimpulkan perbedaan dari penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya baik dari subyek, obyek, dan metode yang akan ditampilkan pada Tabel 2.1 berikut ini.



**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dan Sekarang**

Penelitian Sebelumnya		Penelitian Sekarang
Peneliti dan Judul	Substansi Penelitian	Substansi Penelitian
Nur Rachmad Afandi (2010) Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP 2000.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memperlihatkan kurva kapasitas bangunan, hubungan antara <i>base shear</i> dengan perilaku <i>displacement</i> struktur, pada kurva <i>pushover</i> sebagai representasi tahapan perilaku struktur saat dikenai gaya geser dasar pada level tertentu serta <i>performance point</i> perilaku struktur saat dikenai gaya geser dasar pada level tertentu serta <i>performance point</i> yang dimiliki oleh struktur tersebut.</li> <li>2. Menentukan kriteria kinerja seismik struktur gedung rumah sakit dari hasil nilai <i>performance point</i> menggunakan <i>code</i> ATC-40.</li> <li>3. Memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi dari hasil permodelan program SAP 2000.</li> <li>4. Mengetahui pola keruntuhan pada struktur bangunan sehingga dapat mengetahui joint yang mengalami kerusakan dan mengalami kehancuran.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mengetahui Kurva kapasitas bangunan yang akan ditinjau</li> <li>2. Menentukan kinerja seismik pada gedung hotel bertingkat banyak</li> <li>3. Mengetahui mekanisme terjadinya sendi plastis pada bangunan yang ditinjau</li> </ol>
Cipto Utomo, Rokhmad Irfan Susanto, Dr. Ir. Sri Tujono, Hadi Wibowo, S.T., M.Eng (2012) Evaluasi Struktur Dengan <i>Pushover Analysis</i> Pada Gedung Kalibata Residence Jakarta.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mengevaluasi perilaku seismik struktur terhadap beban gempa rencana, yaitu memperoleh nilai <math>\mu\Delta</math> aktual dan <math>R</math> aktual.</li> <li>2. Memperoleh kurva kapasitas (<i>Capacity Curve</i>).</li> <li>3. Memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi pada struktur</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Melakukan evaluasi seismik pada struktur gedung.</li> <li>2. Memperoleh kurva kapasitas pada struktur</li> <li>3. Mengetahui skema terjadinya sendi plastis pada bangunan.</li> </ol>

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dan Sekarang**

<p>Rifki (2017) : Analisis Kerapuhan Seismik Pada Struktur Gedung Kuliah <i>Twin Building</i> UMY</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menentukan kurva kapasitas dan batas layanan struktur dengan metode <i>pushover analysis</i>.</li> <li>2. Menentukan nilai <i>median spectral displacement point</i> pada tiap kondisi kerusakan.</li> <li>3. Menggambarkan kurva kerapuhan seismik yang dimiliki oleh Gedung Kuliah <i>Twin Building</i> UMY</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mengetahui kurva kapasitas bangunan yang akan ditinjau, yaitu gedung hotel bertingkat banyak yang terletak di jalan Malioboro dengan menggunakan metode <i>pushover analysis</i>.</li> <li>2. Mengetahui tingkat kinerja bangunan yang ditinjau terhadap beban gempa yang terjadi.</li> <li>3. Mengetahui mekanisme terjadinya sendi plastis yang terjadi pada bangunan yang ditinjau.</li> </ol>
<p>Luthfi Assholam Solamat (2018) Studi Komparasi Terhadap Level Kinerja Struktur Pada Kondisi Eksisting dan Kondisi Pasca Perbaikan Perkuatan Dengan Analisis <i>Pushover</i>. Studi Kasus : Gedung Fakultas Hukum, Universitas Islam Indonesia</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menggunakan metode analisis <i>pushover</i> dengan prosedur FEMA 356 pada program komputer SAP 2000 V.14.</li> <li>2. Bangunan berlokasi di Yogyakarta dengan permodelan gedung 3 lantai yaitu pada kondisi eksisting dan pada kondisi pasca perbaikan dan perkuatan dengan penambahan struktur <i>x-bracing</i>.</li> <li>3. Asumsi permodelan yaitu gedung FH UII dengan kondisi eksisting dan kondisi pasca perbaikan dan perkuatan pada blok B.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menggunakan metode analisis <i>pushover</i> dengan menggunakan prosedur ATC-40 pada program komputer SAP 2000 V.22.</li> <li>2. Bangunan berlokasi di Yogyakarta dengan permodelan gedung 8 lantai yaitu pada kondisi eksisting setelah dilakukan alih fungsi pada gedung hotel bertingkat banyak yang terletak di jalan malioboro</li> <li>3. Asumsi permodelan yaitu gedung hotel bertingkat banyak dengan kondisi eksisting dan dalam kondisi setelah dilakukannya alih fungsi dan dilakukan pada kondisi ekstrim.</li> </ol>

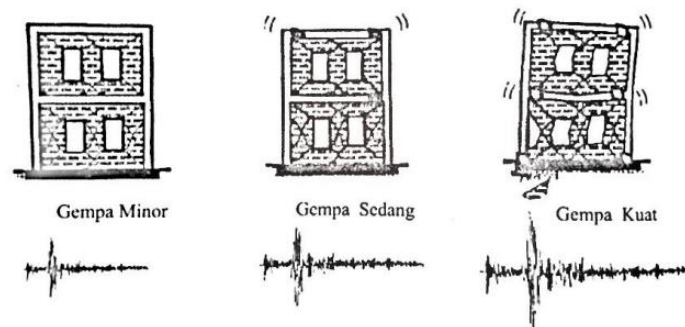
### **BAB III**

## **LANDASAN TEORI**

Bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang dapat bertahan dan tidak terjadi suatu keruntuhan atau kegagalan struktur total jika terjadi gempa. Bangunan tahan gempa bukan berarti tidak boleh sama sekali mengalami kerusakan pada saat terjadi suatu gempa namun bangunan tahan gempa masih diperbolehkan mengalami kerusakan selama masih memenuhi persyaratan yang berlaku. Menurut Widodo (2012) filosofi bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut ini.

1. Pada gempa kecil (*light*, atau *minor earthquake*) yang sering terjadi, maka struktur utama pada bangunan harus masih berfungsi dengan baik dan tidak mengalami kerusakan. Kerusakan kecil yang terjadi pada elemen non struktur masih dapat ditoleransi dan diperbolehkan.
2. Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang cukup jarang terjadi, maka struktur utama pada bangunan harus masih dapat dilakukan perbaikan dan boleh terjadi kerusakan/keretakan ringan. Elemen non struktur masih diperbolehkan untuk mengalami kerusakan tetapi masih dapat dilakukan penggantian dengan elemen non struktur yang baru.
3. Pada gempa kuat (*strong earthquake*), maka struktur bangunan masih diperbolehkan rusak namun tidak boleh hingga bangunan runtuh total (*totally collapse*). Kondisi seperti ini jarang terjadi dan diharapkan pada saat terjadi gempa besar (*great earthquake*) masih bisa melindungi manusia/penghuni pada bangunan secara maksimal.

Tingkatan kerusakan bangunan tersebut dapat diilustrasikan pada Gambar 3.1 di bawah ini.



**Gambar 3.1 Level-Level Kerusakan Bangunan**  
(SNI 03-1726-2019)

### 3.1 Ketentuan Umum Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan SNI-03-1726-2019

#### 3.1.1 Penentuan Gempa Rencana dan Kategori Gedung

Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewatinya besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$ . Nilai faktor keutamaan ditentukan berdasarkan kategori risiko bangunan. Berikut kategori risiko gedung dan faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berdasarkan SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

**Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk beban Gempa**

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

**Lanjutan Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung  
Untuk Beban Gempa**

<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <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"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan</li> <li>- Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya.</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangka penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangka air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(SNI 03-1726-2019)

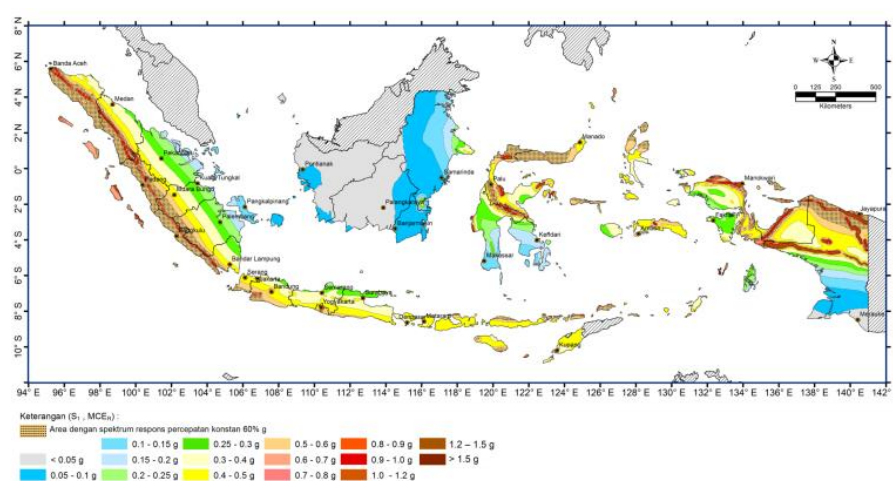
**Tabel 3.2 Faktor Keutamaan Gempa**

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

(SNI 03-1726-2019)

### 3.1.2 Spektrum Respons Desain

Parameter  $S_s$  dan  $S_d$  harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismic dengan kemungkinan 2 % terlampaui dalam 50 tahun ( $MCE_R$ , 2 % dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Nilai  $S_s$  dan  $S_I$  dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



**Gambar 3. 2  $S_s$ , Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko – Tertarget**

(SNI 03-1726-2019)

Penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah diperlukan suatu 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 ( $S_{MS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{MI}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut.

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

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

Keterangan :

$S_s$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda pendek

$S_I$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda 1,0 detik

$F_a$  = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek,

$F_v$  = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik,

$S_{MS}$  = Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek,

$S_{MI}$  = Parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik.

Koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  dapat dilihat pada tabel 3.3 dan tabel 3.4 dibawah ini.

**Tabel 3.3. Koefisien Situs  $F_a$**

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko -tertarget (MCER) 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	$S_s^{(a)}$					

Sumber : SNI 1726-2019

CATATAN :

$S_s$  = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

**Tabel 3.4. Koefisien Situs  $F_v$**

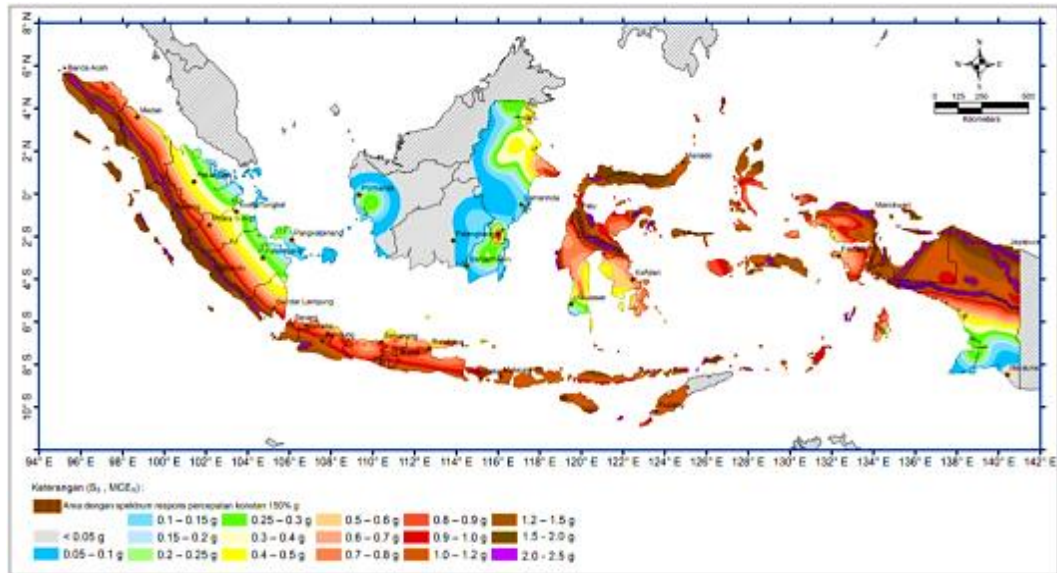
Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko -tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, $S_I$					
	$S_s = 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s = 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	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	$S_s^{(a)}$					

Sumber : SNI 1726-2019

CATATAN :

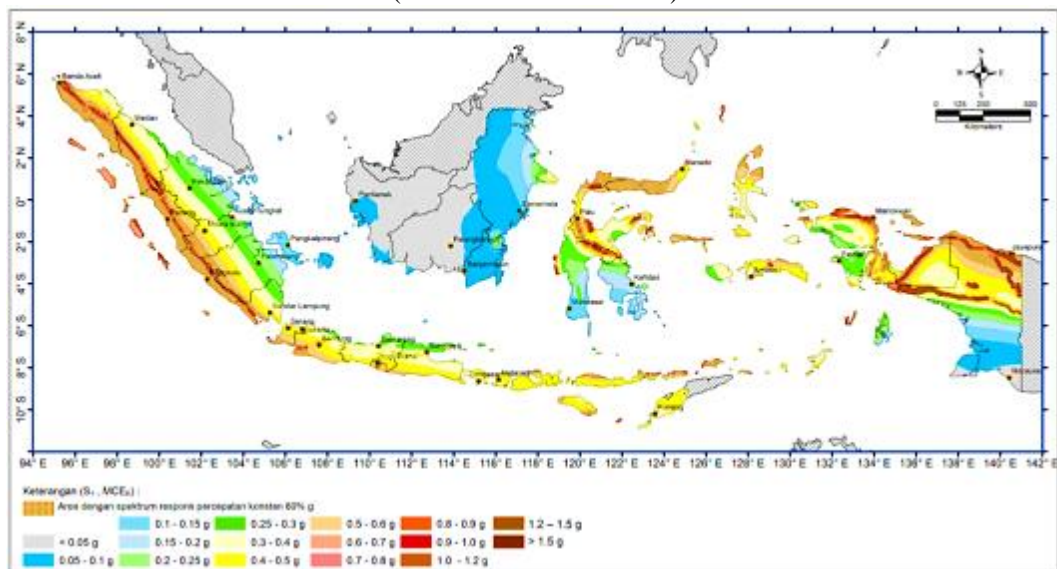
$S_S$  = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Nilai Parameter  $S_S$  dan  $S_I$  dapat ditentukan dari Gambar 3.3 dan 3.4 sebagai berikut.



**Gambar 3.3 Parameter Gerak Tanah  $S_S$ , Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (Redaman Kritis 5%)**

(Sumber : SNI 1726-2019)



**Gambar 3.4 Parameter Gerak Tanah,  $S_I$ , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2- Detik (Redaman Kritis 5 %)**

(Sumber : SNI 1726-2019)



### 3.1.3 Parameter Percepatan Spektral Desain

Spektrum respons desain harus dikembangkan sesuai dengan Gambar 3.5 sebagai berikut dan mengikuti ketentuan yang terdapat di bawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil daripada nilai  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan nilai  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$  sama dengan nilai  $S_{ds}$ , dan harus diambil dari persamaan berikut ini,

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \times T/T_0) \quad (3.3)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan nilai  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan nilai  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  sama dengan  $S_{DS}$ ,
3. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_s$  tetapi lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$ , respons spektral percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan sebagai berikut ini.

$$S_a = S_{D1} / T \quad (3.4)$$

4. Untuk periode lebih besar dari nilai  $T_L$ , respons spektral percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan berikut ini.

$$S_a = S_{D1} T_L / T^2 \quad (3.5)$$

dengan :

$S_{DS}$  = parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek,

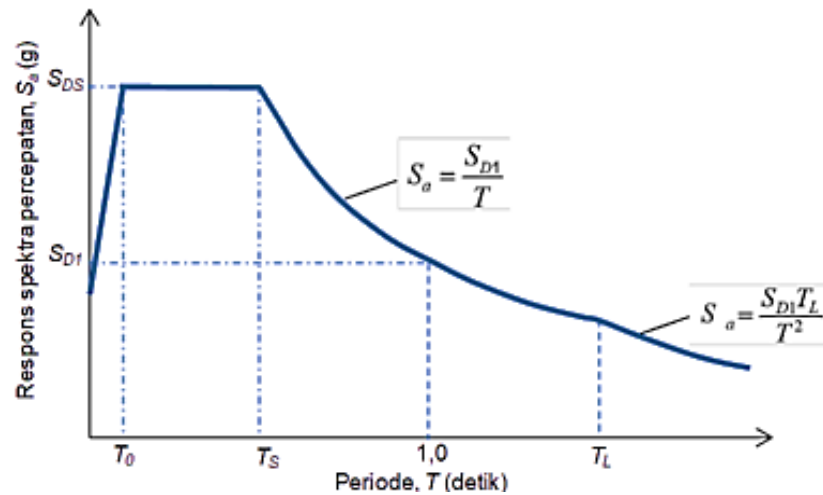
$S_{D1}$  = parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik,

$T$  = periode getar fundamental struktur,

$T_0$  =  $0,2 S_{D1}/S_{DS}^2$

$T_s$  =  $S_{D1}/S_{DS}^2$

$T_L$  = Peta transisi periode panjang



**Gambar 3.5 Spektrum Respons Desain**

(Sumber : SNI 1726-2019)

#### 3.1.4 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti SNI 03-1726-2019 Pasal 6.5. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik ( $S_I$ ), lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 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, SDS dan SD1. Kategori desain seismik dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

**Tabel 3.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek ( $S_{DS}$ )**

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

Sumber : SNI 1726-2019

**Tabel 3.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik ( $S_{DI}$ )**

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

Sumber : SNI 1726-2019

### 3.1.5 Gaya Lateral Ekuivalen

Gaya lateral ekuivalen yaitu gaya geser dasar ( $V$ ) yang ditempatkan pada tiap lantai.

#### A. Gaya Dasar Seismik

Gaya geser dasar ( $V$ ) ditentukan sesuai persamaan berikut ini.

$$V = C_S \cdot W \quad (3.6)$$

Keterangan :

$C_S$  = koefisien respons seismik yang ditentukan

$W$  = berat bangunan

#### 1. Penentuan Perioda Pendekatan

$$T_a \text{ atau } T = C_t \cdot (h_n)^x$$

Keterangan

$h_n$  = tinggi total struktur

$C_t$  dan  $x$  ditentukan pada Tabel 3.7 berikut ini

**Tabel 3.7 Nilai Parameter Perioda Pendekatan  $C_t$  dan  $x$**

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya gempa 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 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing aksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

Sumber : SNI 1726-2019

## 2. Perhitungan Koefisien Respon Seismik

Koefisien respons seismik ( $C_s$ ), harus ditentukan sesuai dengan persamaan

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.7)$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan persamaan diatas() tidak perlu melebihi berikut ini:

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.8)$$

$$= 0,004 S_{DS} I_E \geq 0,01$$

Keterangan :

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda pendek

$R$  = faktor modifikasi respons

$I_E$  = faktor keutamaan gempa

$S_{D1}$  = parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda sebesar 1 detik

$T$  = perioda fundamental struktur (detik) yang ditentukan

$S_1$  = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang ditetapkan

## 3. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3.9)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{W_x h_i^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \quad (3.10)$$

Keterangan :

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertical (%)

$V$  = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (kN)

$W_i$  dan  $W_x$  = bagian berat seismic atau berat total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan pada tingkat  $i$  atau  $x$

$H_i$  dan  $h_x$  = tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$ , dinyatakan dalam meter (m)

$k$  = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar sebesar 0,5 detik atau kurang,  $k = 1$

untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 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 menggunakan interpolasi linier antara 1 dan 2

#### 4. Distribusi Horisontal Gaya Gempa

Gaya geser desain gempa di semua tingkat ( $V_x$ ) harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3.11)$$

Keterangan :

$F_i$  : bagian dari gaya geser dasar seismic ( $V$ ) yang timbul di tingkat  $i$

$V_x$  : didistribusikan pada tiap tingkat yang ditinjau.

### 3.2 Analisis Gaya Gravitasi

#### 3.2.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran (SNI 1727-2020 pasal 3.1.1).

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu (PPURG 1987).

Berdasarkan 2 pasal diatas beban mati rencana adalah berat peralatan layan yang sudah diperhitungkan dalam bangunan gedung seperti pengkondisian udara, plambing, system mekanikal, sistem elektrik, alat pemanas dan lain-lain.

### 3.2.2 Beban Hidup

Beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam Tabel 3.8 berikut ini.

**Tabel 3.8 Beban Hidup Terdistribusi Merata Terpusat Minimum**

Hunian atau Penggunaan	Merata psf(kN/m <sup>2</sup> )	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses Ruang kantor Ruang komputer	50 (2,4) 100 (4,79)	2000(8,9) 2000(8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan Kursi tetap (terikat dilantai) Lobi Kursi dapat dipindahkan Panggung pertemuan Lantai podium	60 (2,87) 100 (4,79) 100 (4,79) 100 (4,79) 150 (7,18)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m <sup>2</sup> )	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300(1,33)
Koridor Lantai pertama Lantai lain	100 (4,79) sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	

**Lanjutan Tabel 3.8 Beban Hidup Terdistribusi Merata Terpusat Minimum**

Ruang makan dan restoran	100 (4,79) <sup>a</sup>	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Dudukan mesin elevator (pada daerah 2 in.× 2 in. [50 mm×50 mm])		300(1,33)
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 1 in. x 1 in. [25 mm x 25 mm])		200(0,89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	
Tangga Permanen	Lihat pasal 4.5.4 SNI 1727 – 2020	
Garasi/Parkir Mobil penumpang saja Truk dan bus	40 (1,92) <sup>a,b,c</sup>	Lihat Pasal 4.10.1
	Lihat Pasal 4.10.2	
Pegangan tangga dan pagar pengaman Batang Pegangan	Lihat Pasal 4.5.1	Pasal 4.5.1
		Pasal 4.5.2
Helipad Dengan berat lepas landas ≤ 3000 lb Dengan berat lepas landas ≥ 3000 lb	40 (1,92) 60 (2,87)	Liaht Pasal 4.11.2
Rumah Sakit : Ruang operasi, laboratorium Ruang pasien Koridor diatas lantai pertama	30 (2,87) 40 (1,92) 80 (3,83)	1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan Ruang baca Ruang penyimpanan Koridor diatas lantai pertama	60 (2,87) 150 (7,18) 80 (3,83)	1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)
Pabrik Ringan Berat	125 (6,00) 250 (11,97)	2000 (8,9) 3000 (13,35)
Gedung Perkantoran : Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian Lobi dan koridor lantai pertama Kantor Koridor diatas lantai pertama	100 (4,79) 50 (2,40) 80 (3,83)	2000 (8,9) 2000 (8,9) 2000 (8,9)

Lanjutan Tabel 3.8 Beban Hidup Terdistribusi Merata Terpusat Minimum

Lembaga Hukum Blok sel Koridor	40 (1,92) 100 (4,79)	
Tempat Rekreasi Tempat bowling, Kolam renang, dan penggunaan sejenis Ruang dansa dan ballroom Gimnasium	75 (3,59) 100 (4,79) 100 (4,79)	
Rumah tinggal Hunian (satu keluarga dan dua keluarga) Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur Semua ruang kecuali tangga dan balkon	10 (0,48) 20 (0,96) 30 (1,44)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya Ruang pribadi dan koridor Ruang Publik Koridor Ruang Publik	40 (1,92) 100 (4,79) 100 (4,79)	
Atap Atap datar, berhubung, dan lengkung Atap yang digunakan untuk hunian  Atap untuk tempat berkumpul Atap yang vegetative dan lanskep Atap bukan untuk hunian Atap untuk penggunaan lainnya  Awning dan kanopi Konstruksi <i>fabric</i> yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan Rangka tumpu layer penutup	20 (0,96) Sama dengan penggunaan yang dilayani 100 (4,70)  20 (0,96) Sama dengan penggunaan yang dilayani  5 (0,24) 5 (0,24)	200 (0,89)
Semua konstruksi lainnya Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang	Berdasarkan area tributar dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka 20 (0,96)	2000 (0,89)  300 (1,33) 300 (1,33)



**Lanjutan Tabel 3.8 Beban Hidup Terdistribusi Merata Terpusat Minimum**

mendukung atap diatas pabrik, Gudang, dan perbaikan garasi Semua komponen struktur atap utama lainnya Semua permukaan atap dengan beban pekerjaan pemeliharaan		
Sekolah Ruang kelas Koridor diatas lantai pertama Koridor lantai pertama	40 (1,92) 80 (3,83) 100 (4,79)	1000 (4,5) 1000 (4,5) 1000 (4,5)
<i>Scuttles</i> , rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	8000 (35,6)
Tangga dan jalan keluar Ruang tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	300 (1,33) 300 (1,33)
Gudang diatas langit-langit  Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban yang lebih berat jika diperlukan) Ringan Berat	20 (0,96)  125 (6,00) 250 (11,97)	
Toko Eceran Lantai Pertama Lantai diatasnya Grosir, disemua lantai	100 (4,79) 75 (3,59) 125 (6,00)	1000 (4,5) 1000 (4,5) 1000 (4,5)
Penghalang kendaraan		Lihat pasal 4.5.3
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	

Sumber : SNI 1927:2020

### 3.3 Analisa Respons Struktur

Analisa respons struktur adalah *base shear* pada tiap lantai, merupakan fungsi dari massa ( $m$ ) dan kekakuan ( $k$ ) dari tiap lantai tersebut. *Base shear* mengakibatkan tiap lantai bergeser atau terjadi *displacement* dari kedudukan semula. Apabila sifat geometri struktur simetris maka simpangan yang terjadi hanya

pada satu bidang (2-dimensi) yaitu simpangan suatu massa pada setiap saat hanya mempunyai posisi atau ordinat tunggal sehingga dapat dianggap sebagai satu kesatuan *Single Degree of Freedom* (SDOF) dengan parameter *displacement* yang diukur adalah pada atap. Saat gaya gempa bekerja pada struktur, struktur gedung akan merespon beban gempa tersebut dengan memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya-gaya luar tersebut melebihi kemampuan / kapasitas gedung, gedung tersebut akan berperilaku in-elastis apabila sifat struktur cukup duktail tetapi akan langsung hancur apabila gedung kurang duktail.

### **3.4 Sendi Plastis Pada Struktur Gedung**

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan/kondisi tertentu akan terjadi sendi plastis (*hinge*) di balok dan kolom pada gedung tersebut. Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan suatu elemen struktur menahan gaya dalam yang terjadi. Dalam perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain *Strong Column Weak Beam* (SCWB) atau “kolom kuat dan balok lemah”. Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur maka yang runtuh adalah baloknya terlebih dahulu. Apabila kolomnya yang runtuh terlebih dahulu maka struktur akan langsung hancur.

### **3.5 Analisis Pushover**

Yunus (2015) menjelaskan bahwa dengan membandingkan gaya gempa yang terjadi pada bangunan dengan kapasitas bangunan tersebut, maka kinerja bangunan dapat diketahui. Analisis non linier inelastic static atau dikenal dengan *pushover analysis* dilakukan untuk mengetahui lebih detail letak sendi plastis pada bangunan. Pada analisis non linier statik, model matematika dari struktur yaitu dengan menggunakan beban (*load*) yang memiliki karakteristik non linier dari setiap komponen dan elemen pada suatu bangunan. Beban non linier tersebut berupa beban lateral gempa yang akan terus ditambah yang merepresentasikan gaya inersia sampai target perpindahan (*displacement*) tercapai.

Menurut Pranata (2006), analisis beban *pushover analysis* adalah suatu analisis non linier statik berupa beban-beban statik termasuk pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung yang terletak pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara bertahap sampai melampaui

pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelepasan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca elastis yang besar hingga mencapai kondisi plastis. Analisis *pushover* dilakukan untuk mengetahui batas maksimum gaya dan deformasi yang dapat ditahan oleh struktur hingga komponen-komponen struktur leleh dan berada dalam keadaan plastis.

Satyarno dan Nawangalam (2009) menjelaskan bahwa non linieritas pada analisis *pushover* terjadi jika suatu bahan mengalami regangan di luar batas proporsional meliputi non linieritas pada material atau bahan (*material non linierity*), maka hubungan antara tegangan dan regangan tidak lagi linier, contoh pada sendi plastis yang terdapat pada balok.

Menurut Satyarno (2000) parameter yang digunakan dalam mengevaluasi bangunan antara lain :

1. Periode getar alami,  $T_1$  (*Fundamental period*)
2. Kapasitas geser dasar,  $V_{base}$  (*Base shear capacity*)
3. Periode efektif struktur,  $T_{eff}$  (*Effective Period*)
4. Kapasitas daktilitas struktur,  $\mu$  (*Structure's ductility capacity*)
5. Kapasitas perpindahan lateral struktur,  $\delta_u$  (*Structure's lateral displacement capacity*)

Cara menentukan target perpindahan untuk menentukan titik kinerja bangunan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode kinerja struktur ATC-40 dengan bantuan program komputer SAP2000.

Dewabroto (2005) menjelaskan, tahapan utama dalam melakukan analisis *pushover* adalah sebagai berikut.

1. Menentukan titik control untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Kurva *pushover* didapatkan dengan cara Menyusun rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar.
2. Membuat kurva *pushover* dari distribusi gaya inersia yang ekivalen dengan berbagai pola distribusi gaya lateral, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama dengan gempa sebenarnya. Untuk mendapatkan kondisi yang

paling menentukan, maka perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral karena sifat gempa yang tidak pasti.

3. Estimasi besarnya target perpindahan dimana titik kontrol didorong sampai target tertentu, yaitu suatu perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.
4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan yang merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja. Komponen struktur dianggap memuaskan jika memenuhi persyaratan deformasi dan kekuatan.

### 3.6 Kinerja Struktur Metode ATC-40

Di dalam ATC-40 dijelaskan tingkatan-tingkatan kinerja bangunan berdasarkan pada tingkatan kerusakan dan status operasionalnya. Berikut adalah tingkatan kinerja struktur diurutkan dari respons yang paling kecil, dapat dilihat pada tabel 3.9 dibawah ini. (ATC-40, 1996 : *chap* 3.2).

**Tabel 3.9 Kondisi Bangunan Pasca Gempa dan Kategori Bangunan pada Tingkat Kinerja Struktur**

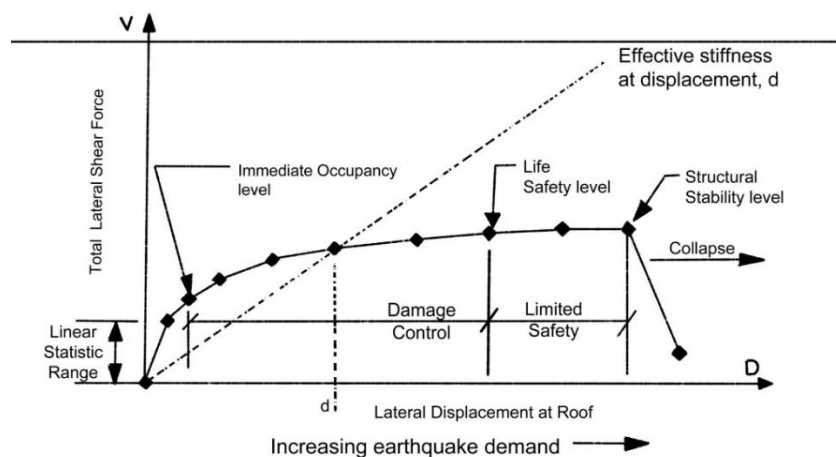
Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
SP-1 <i>Immediate Occupancy</i> (IO)	Bangunan aman pada saat terjadi gempa, risiko adanya korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan yang berarti dan dapat segera difungsikan kembali.	Struktur bangunan yang mutlak difungsikan sebagai sarana penyelamatan, penyimpanan barang berbahaya atau struktur bangunan yang dapat memengaruhi ekonomi nasional. Seperti bangunan rumah sakit, Gudang bahan bakar atau bahan berbahaya lainnya.
SP-2 <i>Damage Control</i> (DO)	Merupakan transisi antara SP-1 dan SP-3. Kondisi bangunan masih dalam kondisi mampu untuk menahan gempa yang terjadi. Resiko adanya korban jiwa manusia sangat kecil.	Struktur untuk bangunan bersejarah, bangunan yang menjadi tempat penyimpanan barang-barang berharga.
SP-3 <i>Life Safety</i> (LS)	Bangunan diijinkan mengalami kerusakan namun tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang mengakibatkan adanya korban jiwa manusia atau dengan resiko korban jiwa yang rendah. Setelah terjadinya gempa maka bangunan harus dapat difungsikan kembali setelah dilakukanya perbaikan pada	Digunakan pada bangunan fasilitas umum seperti perkantoran, perumahan, rumah susun.

**Lanjutan Tabel 3.9 Kondisi Bangunan Pasca Gempa dan Kategori Bangunan pada Tingkat Kinerja Struktur**

	komponen structural maupun non structural.	
SP-4 <i>Limited Safety</i>	Merupakan kondisi transisi antara SP-3 dan SP-4 dan bukan merupakan tingkatan serta tidak memperhitungkan aspek ekonomis dalam melakukan perbaikan setelah terjadinya gempa.	-
SP-5 <i>Structural Stability (SS)</i>	Struktur pasca terjadinya suatu gempa mengalami kerusakan hingga diambang keruntuhan total maupun parsial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kestabilan struktur sudah berada di ambang keruntuhan.	-
SP-6 <i>Not Considered</i>	Kondisi yang bukan merupakan tingkatan kinerja struktur, tetapi hanya melakukan evaluasi seismik non struktural atau <i>retrofit</i> .	-

(*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*)

Dari tabel tingkatan kinerja struktur sesuai ATC-40 diatas, tingkatan kinerja digambarkan dengan kurva hubungan antara perpindahan lateral dan besar gaya yang bekerja atau kurva kapasitas. Kurva kapasitas tersebut menggambarkan plot dari total gaya geser dasar akibat gempa. Kurva kapasitas yang bekerja pada berbagai tingkat kinerja struktur dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut ini.



**Gambar 3.6 Tipikal Kurva Kapasitas Pada Berbagai Tingkatan Kinerja Struktur (ATC-40, 1996 : 6-6)**

(*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*)

### 3.6.1 Titik Kinerja Struktur Metode ATC-40

Dalam metode ATC-40 metode yang digunakan untuk menentukan tingkatan kinerja struktur adalah dengan metode spektrum kapasitas. Metode ini dilakukan dengan memplotkan *demand* dari respon spektrum dan kurva kapasitas dalam satu format antara spectral percepatan dan spectral perpindahan atau disebut sebagai format *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS).

Kurva kapasitas dapat diperoleh dari dilakukannya analisis *pushover*, analisis *pushover* dilakukan dengan memberikan beban lateral statik tertentu pada struktur yang kemudian beban lateral tersebut ditingkatkan secara bertahap hingga struktur mencapai suatu batasan tertentu atau hingga struktur tersebut mencapai kegagalan. Respon struktur terhadap pemberian beban lateral yang diberikan secara bertahap tadi dicatat dan dibuat kurva hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan pada atap, dimana kurva tersebut yang disebut sebagai kurva kapasitas.

Kurva kapasitas menggambarkan menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat bergantung pada kemampuan deformasi dari tiap-tiap komponen struktur. Untuk dapat mengubah kurva kapasitas kedalam ADRS atau menjadi spektrum kapasitas. Untuk dapat mengubah kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas perlu memperhitungkan faktor partisipasi modal, modal koefisien massa, dan perpindahan bangunan. Hubungan tersebut dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

$$PF_1 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}^2) / g} \right] \quad (3.12)$$

$$\alpha_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}) g]^2}{[\sum_{i=1}^N (W_i / g)] [\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}^2) / g]} \quad (3.13)$$

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (3.14)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof,1}} \quad (3.15)$$

Keterangan :

$PF_1$  = faktor partisipasi modal pada *mode* pertama

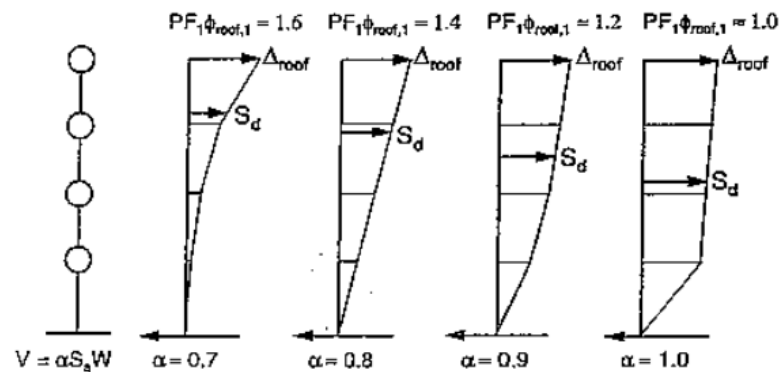
$\alpha_1$  = modal koefisien massa pada *mode* pertama

$w_i/g$  = massa pada tingkat ke-i

$\phi_{i1}$  = amplitudo *mode*-1 pada tingkat ke-i

- $N$  = tingkat N, tingkat tertinggi pada proporsi utama pada struktur  
 $V$  = gaya geser dasar  
 $W$  = berat bangunan (beban mati dan beban hidup bangunan)  
 $\Delta_{roof}$  = perpindahan pada atap  
 $S_a$  = spektra percepatan  
 $S_d$  = spektra perpindahan

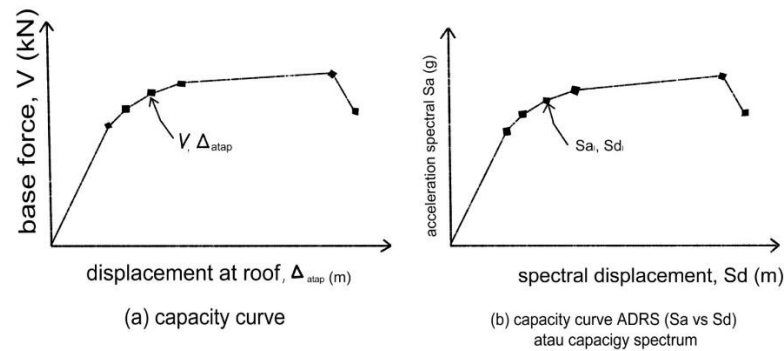
Hubungan antara persamaan diatas digambarkan pada contoh faktor partisipasi modal dan modal koefisien massa pada gambar 3.7 berikut ini.



**Gambar 3.7 Contoh Faktor Partisipasi Modal dan Modal Koefisien Massa (ATC-40, 1996 : 8-10)**

*(Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1)*

Pada gambar diatas terdapat hubungan antara faktor partisipasi modal dan modal koefisien massa untuk menentukan nilai simpangan antar lantai yang berbeda pada setiap ketinggian bangunan. Untuk mengubah kurva kapasitas ke format ADRS adalah menghitung nilai faktor partisipasi massa ( $PF_1$ ) dan modal koefisien massa ( $\alpha_1$ ). Kemudian setiap *point* pada kurva kapasitas ( $V$ ) dan  $\Delta_{roof}$  dikonversi ke *point*  $S_a$  dan  $S_d$  maka akan didapatkan spektrum kapasitas. Untuk kurva kapasitas dan Kurva kapasitas ADRS dapat dilihat pada gambar 3.8 dibawah ini.



**Gambar 3.8 (a) Kurva Kapasitas (b) Spektrum Kapasitas (ATC-40, 1996:8-12)**

(*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*)

*Demand* spektrum didapatkan dengan merubah respon spektrum yang umumnya dinyatakan dalam spektra percepatan ( $S_a$ ) dan periode ( $T$ ) menjadi format ADRS ( $S_a$ ,  $S_d$ ). Untuk mengubah spektra percepatan ke spektra perpindahan digunakan persamaan dibawah ini.

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} \cdot S_a \quad (3.16)$$

Dimana :

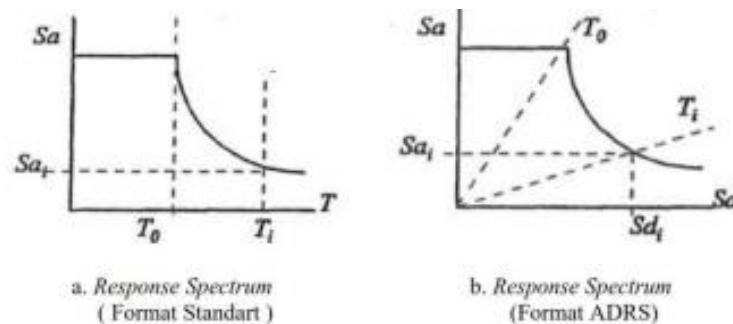
$S_a$  = spektra percepatan, m

$S_d$  = spektra perpindahan, g

$g$  = percepatan gravitasi

$T$  = periode getar fundamental, detik

Dengan menggunakan persamaan diatas didapatkan hasil kurva *demand* spektrum yang dapat dilihat pada gambar 3.9 dibawah ini.

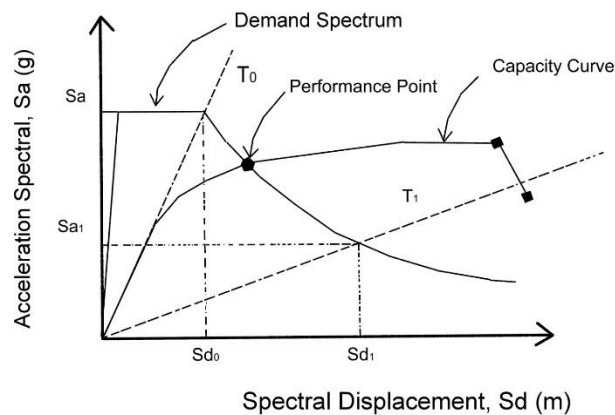


**Gambar 3.9 (a) Respon Spektrum Standar (b) Respon Spektrum Format ADRS (ATC-40, 1996 : 6-8)**

(*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*)



Kemudian grafik spektrum kapasitas dan spektrum *demand* disajikan dalam satu grafik ADRS. Dalam grafik dengan format ADRS tersebut akan terdapat titik perpotongan antara spektrum kapasitas dan spektrum *demand* yang disebut sebagai titik kinerja atau *performance point* yang terdapat pada gambar 3.10 dibawah ini.



**Gambar 3.10 Titik Kinerja Struktur Sesuai ATC-40**  
(*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*)

Redaman yang terjadi pada saat struktur terkena Gerakan gempa pada keadaan inelastic dapat dilihat pada redaman *viscous* yang melekat pada struktur dan redaman histerestik. Redaman histerestik (*hysteretic damping*) berhubungan dengan area yang berada di dalam *loop* kurva gaya dan perpindahan akibat gaya gempa. Redaman histerestik ini dapat mewakili redaman *viscous* ekuivalen. Dalam metode ATC-40 redaman *viscous* ekuivalen dirumuskan dengan persamaan dibawah ini.

$$\beta_{eq} = \beta_o + 0.05 \quad (3.17)$$

Dimana :

$\beta_{eq}$  = redaman *viscous* ekuivalen struktur

$\beta_o$  = redaman histerestis yang mewakili redaman *viscous* ekuivalen

0.05 = redaman yang melekat pada struktur (redaman awal)

### 3.6.2 Batasan Deformasi

Deformasi lateral pada saat *performance point* harus dicek terlebih dahulu terhadap deformasi limit yang ditetapkan dalam metode ATC-40, 1996 bab 11.3.3. Deformasi limit pada berbagai tingkat kinerja dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

**Tabel 3.10 Batasan Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40, 1996 : 11-4)**

Batasan Simpangan Antar Tingkat	Tingkat Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan Total Maksimum	0.01	0.01-0.02	0.02	$0.33 V_i / P_i$
Simpangan Inelastis Maksimum	0.005	0.005-0.015	Tidak ada Batasan	Tidak ada Batasan

(*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*)

Simpangan total maksimum (*maximum total drift*) adalah simpangan antar tingkat (*interstory drift*) pada titik kinerja (*performance point displacement*) atau nilai simpangan maksimum pada atap disaat *performance point* dibagi dengan total tinggi bangunan hingga atap. Simpangan inelastic maksimum adalah proporsi simpangan total maksimum diluar titik leleh efektif. Untuk *structural stability level*, simpangan total maksimum pada lantai ke-i pada saat titik kinerja harus kurang dari  $0.33 V_i / P_i$  dimana  $V_i$  adalah total gaya geser pada lantai ke-i dan  $P_i$  adalah total gaya gravitasi seperti beban mati dan beban hidup bangunan pada lantai ke-i.

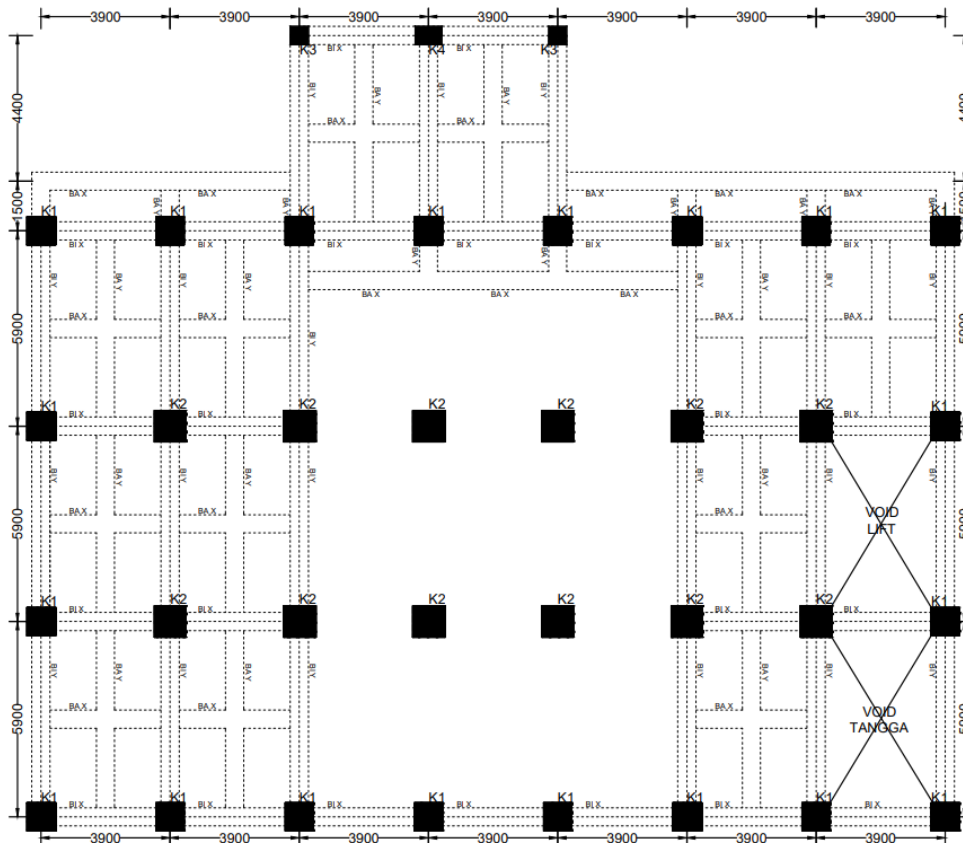
Pada desain bangunan baru level kinerja struktur yang direkomendasikan adalah *Live Safety Level*, saat simpangan total maksimum sebesar 0.02. Hal ini dikarenakan pada berbagai percobaan yang dilakukan menghasilkan respon dengan deformasi yang besar sehingga proporsional untuk dilakukannya *detailing* pada bangunan baru. (ATC-40, 1996 : 11-5).

## BAB IV

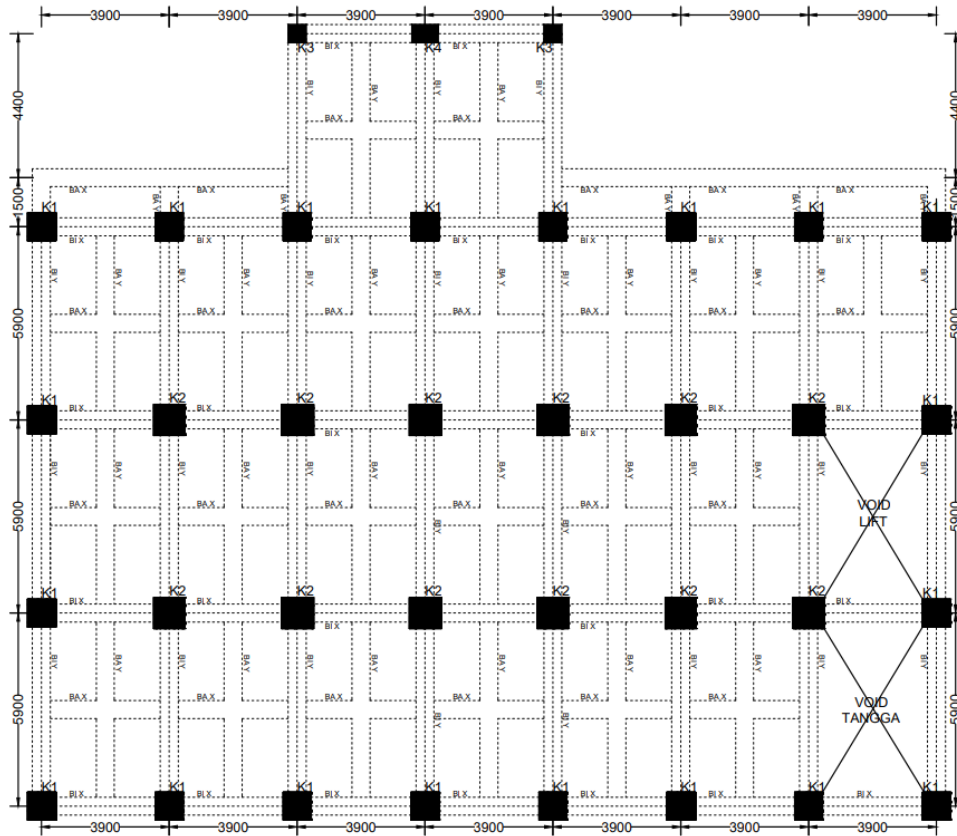
### METODE PENELITIAN

#### 4.1 Objek Penelitian

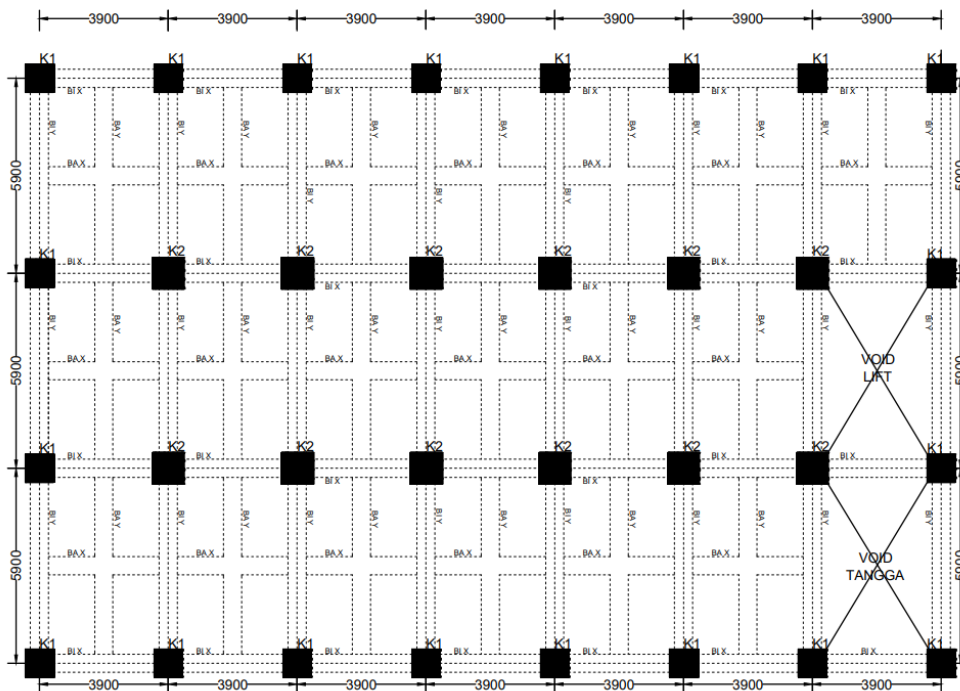
Pada penelitian ini objek yang dianalisa merupakan gedung Mall bertingkat banyak yang terletak di Jalan Malioboro. Gedung tersebut memiliki tingkat sebanyak 8 lantai dengan total tinggi bangunan adalah 28 m. Denah tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.1 Denah Balok dan Kolom Lantai 1



Gambar 4.2 Denah Balok dan Kolom Lantai 2



Gambar 4.3 Denah Balok dan Kolom Lantai 3 sampai Lantai 8

## 4.2 Data Bangunan

Pada penelitian ini data yang dibutuhkan diperoleh dari melakukan survey langsung ke lokasi untuk data material. Untuk dimensi struktur mengacu kepada penelitian terdahulu dan kekurangan data dilengkapi dengan beberapa penyesuaian. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut.

### 1. Mutu Beton

- a.  $f'_c$  = 30 MPa
- b. Modulus Elastisitas ( $E_c$ ) = 25.742,96 MPa

### 2. Dimensi Elemen Struktur

- a. Tinggi bangunan = 28 meter
- b. Jumlah tingkat = 8
- c. Luas Bangunan = 5.050 m<sup>2</sup>
- d. Kolom

Berikut merupakan dimensi tiap tipe kolom dapat dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1 Dimensi dan Tipe Kolom**

No	Lantai	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1	Lantai 1	K1	850 x 850
2		K2	950 x 950
3		K3	550 x 550
4		K4	550 x 800
5	Lantai 2	K1	850 x 850
6		K2	950 x 950
7		K3	550 x 550
8		K4	550 x 800
9	Lantai 3-8	K1	850 x 850
10		K2	950 x 950

### e. Balok

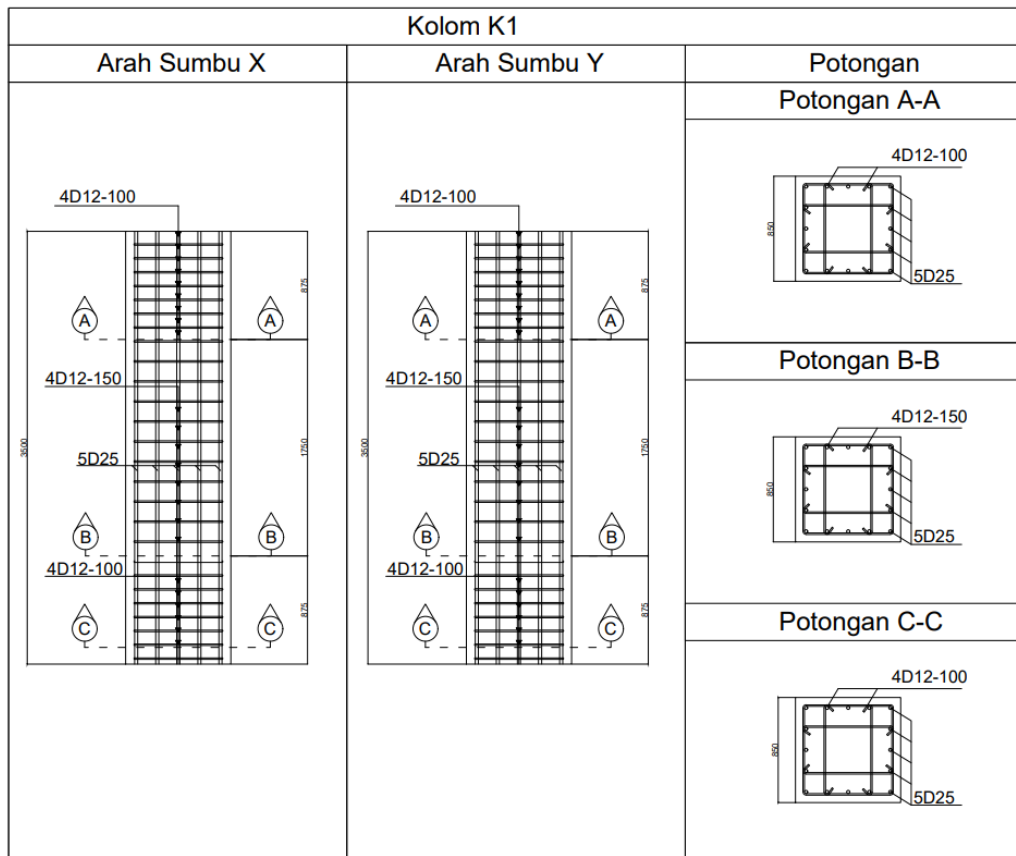
Berikut merupakan dimensi tipe-tipe balok dapat dilihat pada Tabel 4.2.

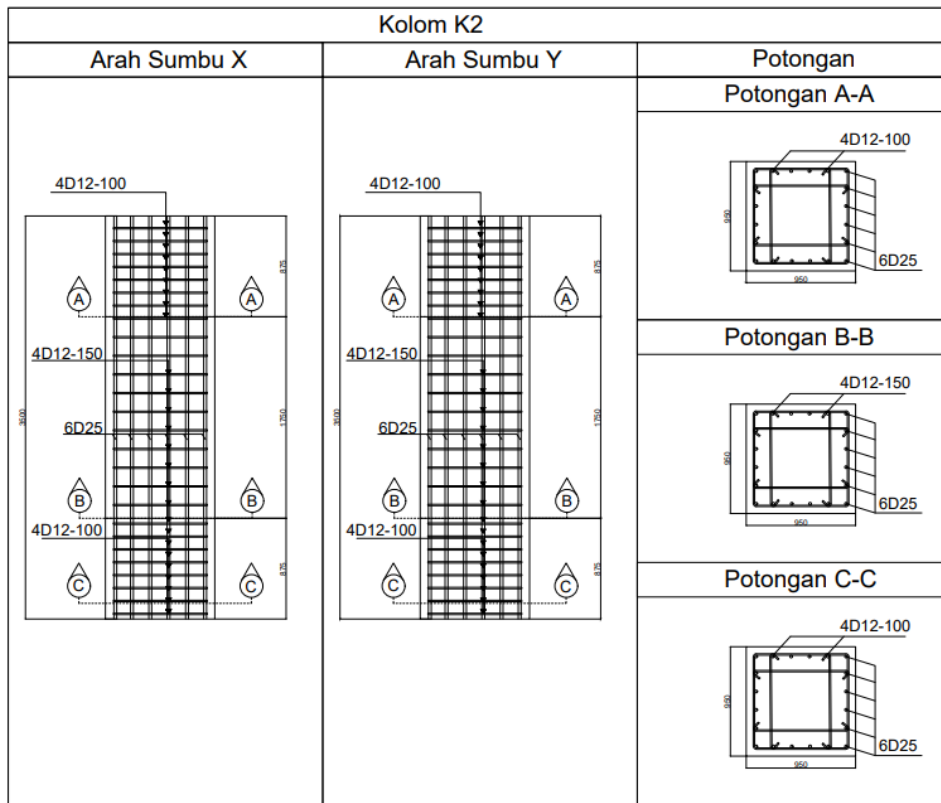
**Tabel 4.2 Dimensi dan Tipe Balok**

No	Lantai	Tipe Balok	Kodefikasi Balok	Dimensi (mm)
1	Lantai 1	Balok Induk Arah X	BI X	550 x 700
2		Balok Induk Arah Y	BI Y	550 x 700
3		Balok Anak Arah X	BA X	550 x 550
4		Balok Anak Arah Y	BA Y	550 x 550
5	Lantai 2	Balok Induk Arah X	BI X	550 x 700
6		Balok Induk Arah Y	BI Y	550 x 700
7		Balok Anak Arah X	BA X	550 x 550
8		Balok Anak Arah Y	BA Y	550 x 550
9	Lantai 3-8	Balok Induk Arah X	BI X	550 x 700
10		Balok Induk Arah Y	BI Y	550 x 700
11		Balok Anak Arah X	BA X	550 x 550
12		Balok Anak Arah Y	BA Y	550 x 550

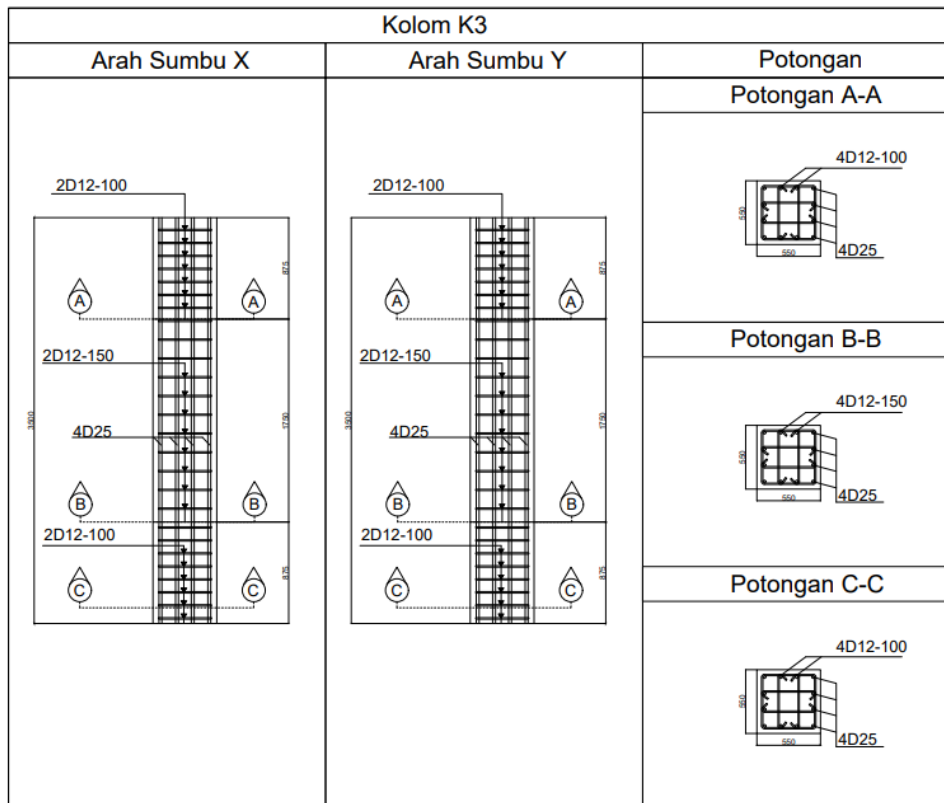
## f. Detail Penulangan Kolom

Berikut merupakan gambar detail penulangan kolom dari kolom K1, kolom K2, kolom K3, dan kolom K4.

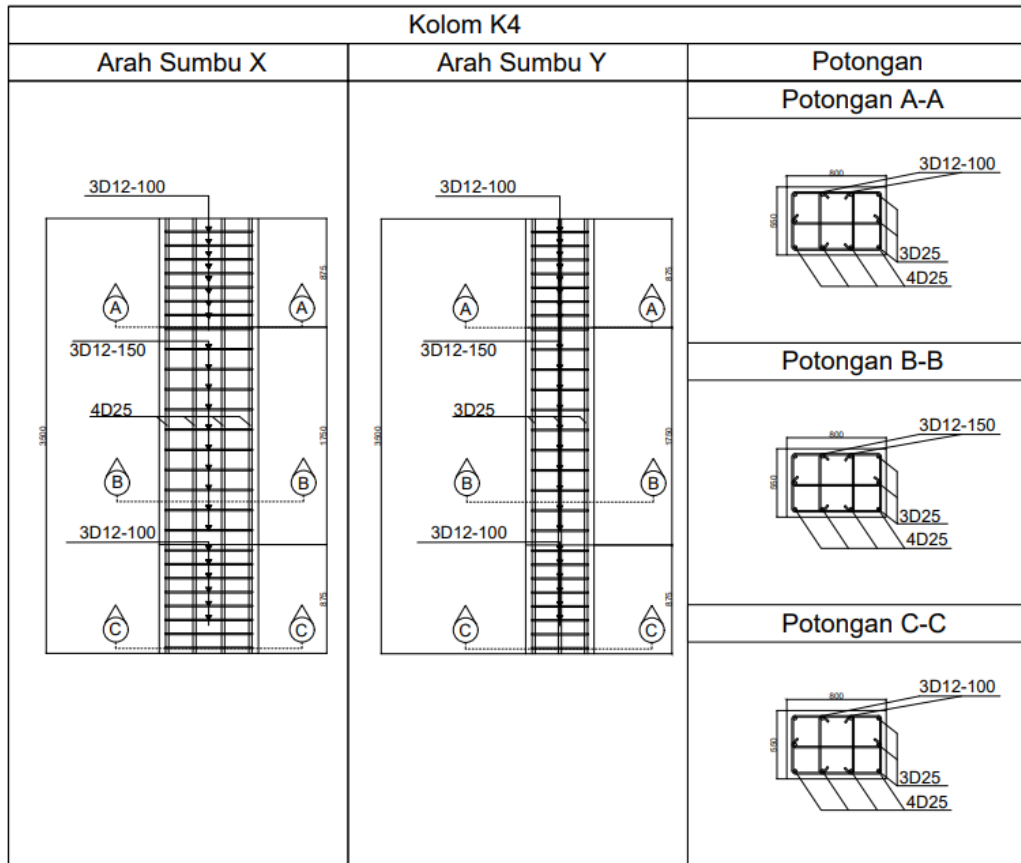
**Gambar 4.4 Detail Kolom K1**



Gambar 4.5 Detail Kolom K2



Gambar 4.6 Detail Kolom K3

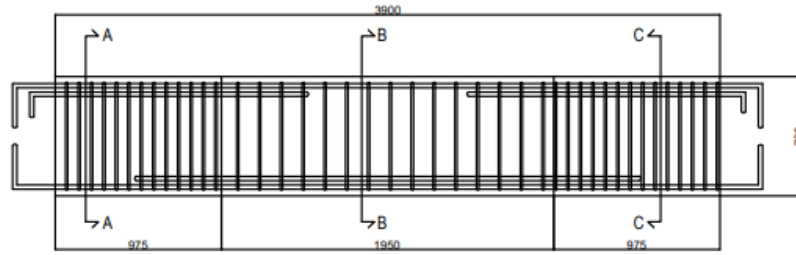


**Gambar 4.7 Detail Kolom K4**

g. Detail Penulangan Balok

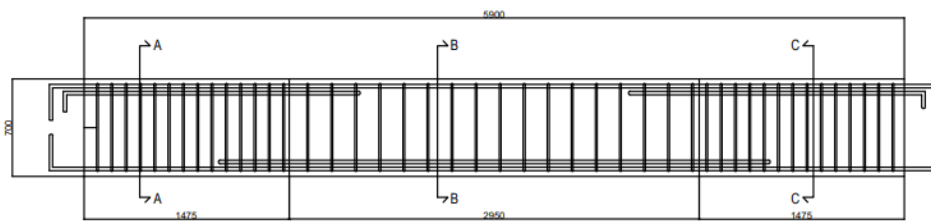
Berikut merupakan gambar detail penulangan balok dari balok BI X, BI Y, BA X dan BA Y.





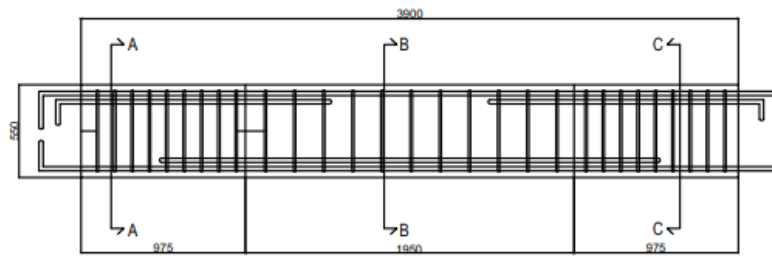
TYPE	BI X		
POTONGAN	A-A	B-B	C-C
POTONGAN			
TUL. ATAS	6 D25	2 D25	6 D25
TUL. BAWAH	2 D25	6 D25	2 D25
GESER	2D13-60	2D13-115	2D13-60

**Gambar 4.8 Detail Balok BI X**



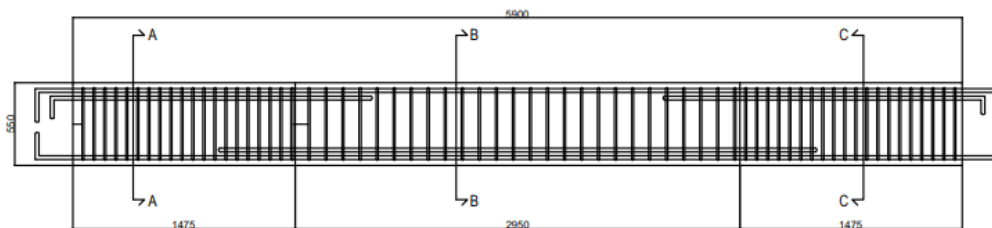
TYPE	BI Y		
POTONGAN	A-A	B-B	C-C
POTONGAN			
TUL. ATAS	7 D25	3 D25	7 D25
TUL. BAWAH	2 D25	8 D25	2 D25
GESER	2D13-90	2D13-160	2D13-90

**Gambar 4.9 Detail Balok BI Y**



TYPE	BA X		
POTONGAN	A-A	B-B	C-C
POTONGAN			
TUL. ATAS	5 D25	2 D25	5 D25
TUL. BAWAH	2 D25	5 D25	2 D25
GESER	2D13-90	2D13-160	2D13-90

**Gambar 4.10 Detail Balok BA X**



TYPE	BA Y		
POTONGAN	A-A	B-B	C-C
POTONGAN			
TUL. ATAS	5 D25	2 D25	5 D25
TUL. BAWAH	2 D25	6 D25	2 D25
GESER	2D13-60	2D13-100	2D13-60

**Gambar 4.11 Detail Balok BA Y**

### 4.3 Program Yang Digunakan

Pada pelaksanaan penelitian ini digunakan beberapa program untuk membantu dalam proses berjalanya analisa dengan tujuan guna mempermudah

dalam menyelesaikan permasalahan yang ada. Berikut adalah program yang digunakan dalam membantu pelaksanaan penelitian ini.

1. SAP2000 V22, program ini akan digunakan dalam permodelan dari struktur bangunan dan digunakan untuk membantu melaksanakan analisa struktur dari bangunan.
2. Microsoft Excel 2019, program ini akan digunakan dalam menghitung dan menganalisa data hasil luaran yang didapat dari program SAP2000 V22.

#### **4.4 Tahapan Penelitian**

Penelitian ini diawali dengan dilakukannya pengumpulan data dan kemudian dilanjutkan dengan survey langsung ke lapangan untuk validasi dan melengkapi adanya kekurangan data. Kemudian dengan data tersebut dilakukan analisa dengan analisis non linier yang berpedoman pada ATC-40 (*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*). Berikut adalah tahapan dari pengerjaan analisa non linier.

##### **1. Studi Literatur**

Studi literatur berdasarkan jurnal yang telah dibahas pada bagian tinjauan Pustaka, buku-buku tentang analisis *pushover*, peraturan SNI 1726 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, peraturan SNI 1727 2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, dan peraturan *Applied Technology Council Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building* (ATC-40).

##### **2. Pengumpulan Data**

Data struktur didapatkan dari hasil pencarian data, untuk  $f'_c$  pada beton dilakukan hammer test. Data tersebut akan digunakan pada permodelan bangunan dalam bentuk 3 dimensi menggunakan program SAP 2000 untuk kemudian dilakukan analisis.

##### **3. Permodelan 3D**

Permodelan 3D dilaksanakan berdasarkan dimensi struktur yang telah didapatkan dan dilakukan dengan menggunakan program SAP 2000. Bagian dari bangunan yang dimodelkan hanya pada bagian struktur bangunan, yaitu kolom, balok, dan pelat lantai.

#### 4. Perhitungan Pembebanan

Beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati dan beban hidup dan beban gempa. Beban mati didefinisikan pada SAP 2000 sebagai DEAD, beban mati tersebut berupa berat sendiri dari elemen struktur yang sudah secara langsung dihitung oleh program SAP 2000. Lalu beban DEAD *self weight* yang digunakan pada SAP adalah 1 karena beban tersebut bersifat tetap. Sedangkan beban hidup didefinisikan sebagai LIVE dengan *self weight* sebesar 0 karena beban hidup bersifat sementara. Beban hidup di input secara manual pada program SAP 2000.

#### 5. Analisis Statik *Pushover*

Pada analisis non linier statik *pushover* dilakukan dengan berpedoman kepada *Applied Technology Council Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building* (ATC-40) dan menggunakan metode spektrum kapasitas (*capacity spectrum*). Analisis dilakukan dengan bantuan program SAP 2000. Hasil dari analisis statik *pushover* berupa nilai *drift ratio*, *displacement* struktur, dan kurva kapasitas. Nilai dari hasil analisis tersebut digunakan untuk menemukan *performance point* dan level kinerja dari bangunan tersebut dengan mengubah kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas (ADRS).

#### 6. Analisis dan Hasil *Pushover*

Analisis *pushover* dilakukan dengan memberikan beban dorong pada titik kontrol di atap gedung dan ditingkatkan secara berkala hingga tercapai target perpindahan atau keruntuhan bangunan pada bagian tertentu.

#### 7. Pembahasan Hasil Analisis *Pushover*

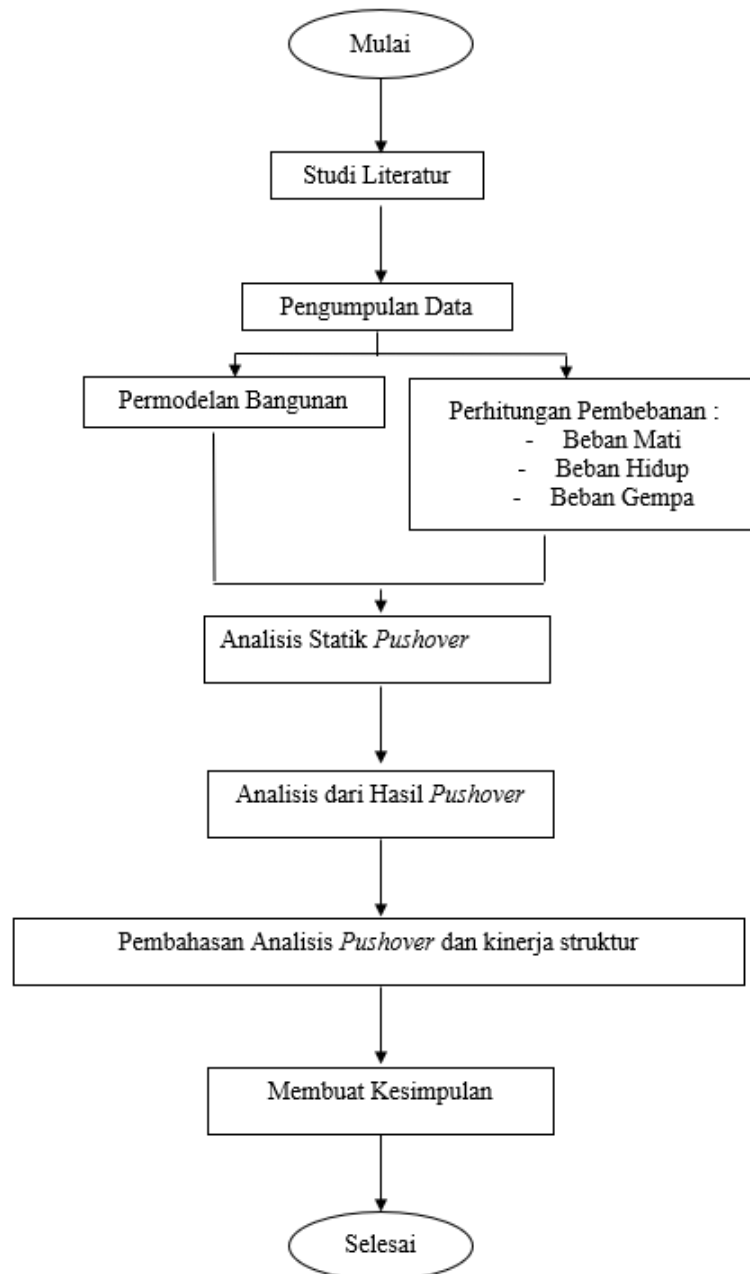
Dari hasil analisis *pushover* pada saat kondisi titik kinerja bangunan tercapai dapat diketahui perbandingan antara kondisi gedung sebelum dilakukan perubahan pembebanan dan setelah dilakukan perubahan pada pembebanan yang sebelumnya berupa hotel menjadi mall. Berdasarkan hasil dan pembahasan maka dibuatlah kesimpulan.

#### 8. Membuat Kesimpulan

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan.

#### 4.5 Bagan Alir Penelitian

Proses penelitian secara lengkap diilustrasikan dalam bagan alir yang terdapat pada Gambar 4.12.



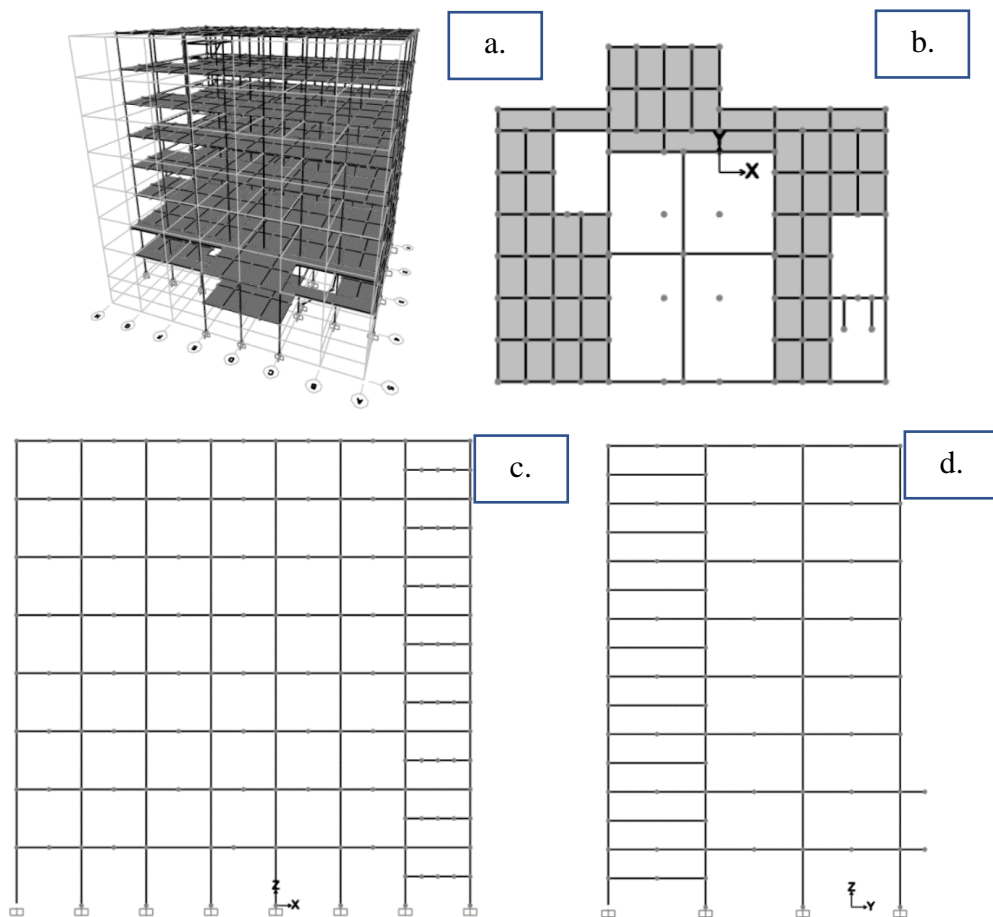
**Gambar 4.12 Diagram Alir Tahapan Penelitian Analisis *Pushover***

## BAB V

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Perhitungan Pembebanan Struktur

Perhitungan pembebanan bertujuan untuk mengetahui berapa besar beban yang akan diterima setiap elemen struktur. Beban – beban yang digunakan dalam perencanaan merupakan beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Pada penelitian ini gedung dimodelkan dalam kondisi ekstrim dimana *shearwall* atau dinding geser tidak dimodelkan dan tanpa penggunaan dinding geser. Gambar permodelan gedung yang di analisis dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



**Gambar 5.1** Pemodelan Gedung Mall menggunakan SAP2000 (a) Tampak 3D; (b) Tampak X-Y; (c) Tampak X-Z; (d) Tampak Y-Z

### 5.1.1 Bahan dan Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Beton ( $f'c$ ) untuk kolom	= 30 MPa
Beton ( $f'c$ ) untuk balok dan pelat	= 30 MPa
Berat volume beton	= 2400 kg/m <sup>3</sup>
$E_c$	= $4700\sqrt{f'c}$ = 25.742,96 MPa

### 5.1.2 Beban Mati

Nilai konversi satuan : 1 kg = 0,00981 kN (dengan mengambil nilai percepatan gravitasi bumi sebesar 9,81 m/s<sup>2</sup>)

#### 1. Beban mati pada lantai

Pelat lantai	= Tebal x Berat Jenis Beton = 0,125 m x 2400 kg/m <sup>3</sup> x 0,00981 = 2,943 kN/m <sup>2</sup>
Keramik	= 63 kg/m <sup>2</sup> x 0,00981 = 0,618 kN/m <sup>2</sup>
Lapis Spesi	= 63 kg/m <sup>2</sup> x 0,00981 = 0,618 kN/m <sup>2</sup>
Lapis Pasir	= 80 kg/m <sup>2</sup> /cm tebal x 0,00981 = 0,7848 kN/m <sup>2</sup>
Rangka plafond	= 5 kg/m <sup>2</sup> x 0,00981 = 0,04905 kN/m <sup>2</sup>
Plafond	= 9 kg/m <sup>2</sup> x 0,00981 = 0,08829 kN/m <sup>2</sup>
Mekanikal Elektrikal	= 30 kg/m <sup>2</sup> x 0,00981 = 0,2943 kN/m <sup>2</sup>
Partisi	= 100 kg/m <sup>2</sup> x 0,00981 = 0,981 kN/m <sup>2</sup>
Beban mati lantai	= 2,943+0,618 +0,785+0,049+0,088+0,294+0,918 = 5,925 kN/m <sup>2</sup>

#### 2. Beban mati pada atap

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat atap} &= 0,1 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,00981 \\
 &= 2,35 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Lapis Spesi} &= 0,01 \text{ m} \times 21 \text{ kg/m}^2 \times 0,00981 \\
 &= 0,206 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Lapis Pasir} &= 5 \text{ cm} \times 1600 \text{ kg/m}^3 \times 0,00981 \\
 &= 0,7848 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Plafond dan Lampu} &= 20 \text{ kg/m}^2 \times 0,00981 \\
 &= 0,1962 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Lapisan } \textit{waterproof} &= 5 \text{ kg/m}^2 \times 0,00981 \\
 &= 0,049 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Beban mati atap} &= 2,35 + 0,206 + 0,748 + 0,1962 + 0,049 \\
 &= 3,59 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

### 3. Beban mati pada tangga

Tangga pada penelitian ini tidak dimodelkan, namun tangga dijadikan beban tersendiri sebagai beban pada bangunan. Perhitungan tangga dibagi menjadi bordes dan tangga. Tebal pelat tangga adalah  $(t) = 200 \text{ mm}$ .

#### a. Tangga 1

$$\begin{aligned}
 \text{Antrede} &= 0,3 \text{ m} \\
 \text{Optrede} &= 0,2 \text{ m} \\
 \text{Jumlah} &= 8 \text{ buah} \\
 \text{Lebar} &= 2 \text{ m} \\
 \text{L Bordes} &= 1,3 \text{ m} \\
 \text{L Tangga} &= 4,184 \text{ m} \\
 \text{Tebal} &= 0,2 \text{ m} \\
 t_1 &= \frac{1}{2} \text{ Optrede} \cos \alpha \\
 &= \frac{1}{2} 0,2 \cos 33,69 \\
 &= 0,0832 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan beban mati tambahan pada plat tangga adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat tangga} &= \text{Lebar} \times t_1 \times 24 \\
 &= 2 \times 0,0832 \times 24 \\
 &= 3,994 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



## b. Tangga 2

$$\begin{aligned}
 \text{Antrede} &= 0,3 \text{ m} \\
 \text{Optrede} &= 0,225 \text{ m} \\
 \text{Jumlah} &= 18 \text{ buah} \\
 \text{Lebar} &= 2 \text{ m} \\
 \text{L Bordes} &= 2 \text{ m} \\
 \text{L Tangga} &= 6,435 \text{ m} \\
 \text{Tebal} &= 0,28 \text{ m} \\
 t_1 &= \frac{1}{2} \text{ Optrede} \cos \alpha \\
 &= \frac{1}{2} 0,225 \cos 33,69 \\
 &= 0,09 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan beban mati tambahan pada plat tangga adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat tangga} &= \text{Lebar} \times t_1 \times 24 \\
 &= 2 \times 0,09 \times 24 \\
 &= 4,32 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

## 5.1.3 Beban Hidup

## 1. Beban hidup di semua ruangan

$$\text{Fungsi ruangan sebagai koridor} = 6 \text{ kN/m}^2$$

$$2. \text{ Beban hidup atap} = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

$$3. \text{ Beban hidup lift} = 0,68 \text{ kN/m}^2$$

## 5.1.4 Beban Dinding

$$\begin{aligned}
 \text{Beban Bata} &= \text{berat dinding} \times \text{tinggi} \times \text{angka reduksi} \\
 &= 1,962 \times 3,5 \times 70\% \\
 &= 4,8069 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban Spesi} &= \text{berat spesi} \times \text{tinggi} \times \text{tebal spesi} \times \text{angka reduksi} \\
 &= 0,206 \times 3,5 \times 6 \times 70\% \\
 &= 3,028 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

## 5.1.5 Beban Gempa Respon Spektrum

Data yang digunakan untuk memperoleh gaya respon spektrum adalah sebagai berikut.

1. Lokasi bangunan yang dimodelkan berada di wilayah Yogyakarta.
2. Fungsi bangunan digunakan sebagai gedung perbelanjaan (Mall).
3. Jenis tanah yang digunakan pada lokasi bangunan adalah tanah sedang (SD)
4. Lantai gedung berjumlah 8 tingkat dengan tinggi 3,5 m tiap lantainya
5. Bangunan yang dimodelkan termasuk dalam kategori risiko bangunan II dengan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) sebesar 1.
6. Jenis struktur untuk setiap model adalah sebagai berikut.

$$R = 8$$

$$C_d = 3$$

$$\Omega = 5,5$$

Nilai  $S_s$  dan  $S_1$  didapatkan dari ketentuan yang terdapat pada SNI 1726-2019 seperti pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4. Dari gambar tersebut didapatkan nilai  $S_s$  dan  $S_1$  sebagai berikut.

$$S_s = 1,139$$

$$S_1 = 0,513$$

7. Nilai  $F_a$  dan  $F_v$  diperoleh dari Tabel 3.3 dan Tabel 3.4. Nilai  $F_a$  dan  $F_v$  adalah sebagai berikut.

$$F_a = 1,044$$

$$F_v = 1,787$$

8. Menghitung nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ .

Sebelum menghitung nilai  $S_{DS}$  dan nilai  $S_{D1}$  dicari terlebih dahulu nilai  $S_{MS}$  dan nilai  $S_{M1}$  menurut persamaan 3.1 dan 3.2

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1,044 \times 1,139 \\ &= 1,189 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_1 \\ &= 1,787 \times 0,513 \\ &= 0,917 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times 1,189 \\ &= 0,793 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{D1} &= 2/3 \times S_{M1} \\
 &= 2/3 \times 0,917 \\
 &= 0,612
 \end{aligned}$$

9. Menghitung Nilai  $T_0$  dan  $T_S$  adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T_S &= (S_{D1}/S_{DS}) \\
 &= (0,610/0,790) \\
 &= 0,772
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \times (S_{D1}/S_{DS}) \\
 &= 0,2 \times (0,610/0,790) \\
 &= 0,1544
 \end{aligned}$$

10. Menghitung Nilai  $S_a$

a. Respon spektrum dengan percepatan desain  $S_a$  awal menggunakan persamaan 3.4

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DS} \times (0,4 + 0,6 \times (T/T_0)) \\
 &= 0,793 \times (0,4 + 0,6 \times (0,935/0,119)) \\
 &= 4,054
 \end{aligned}$$

b. Respon spektrum dengan percepatan desain  $S_a$  untuk nilai  $T=T_0$

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DS} \\
 &= 0,793
 \end{aligned}$$

c. Respon spektrum dengan percepatan desain  $S_a$  untuk nilai  $T>T_S$  menggunakan persamaan 3.5

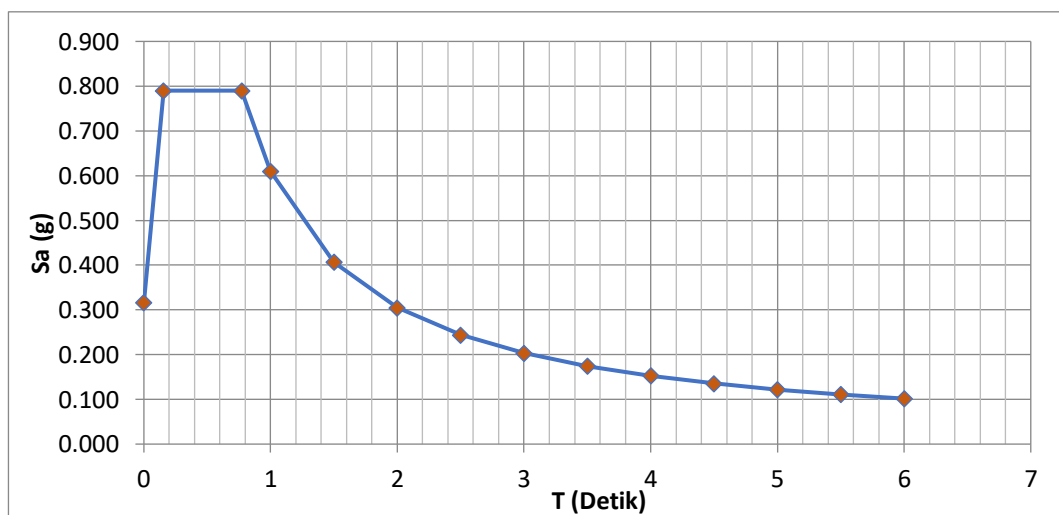
$$\begin{aligned}
 S_a &= \frac{S_{D1}}{T} \\
 &= \frac{0,610}{0,6082} \\
 &= 1,299
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan desain respon spektrum pada model bangunan uji dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Respon Spektrum**

T	Sa
0	0,316
0,119	0,793
0,595	0,793
1	0.6102236
1,5	0.4068157
2	0.3051118
2,5	0.2440894
3	0.2034079
3,5	0.1743496
4	0.1525559
4,5	0.1356052
5	0.1220447
5,5	0.1109497
6	0.1017039

Grafik respon spektrum dapat dilihat pada gambar 5.2 berikut.

**Gambar 5.2 Grafik Respon Spektrum**

Kemudian membandingkan dengan hasil dari situs Desain Spektra Indonesia, didapatkan nilai :

$$S_s = 1,1392$$

$$S_1 = 0,5136$$

$$T_L = 6 \text{ detik}$$

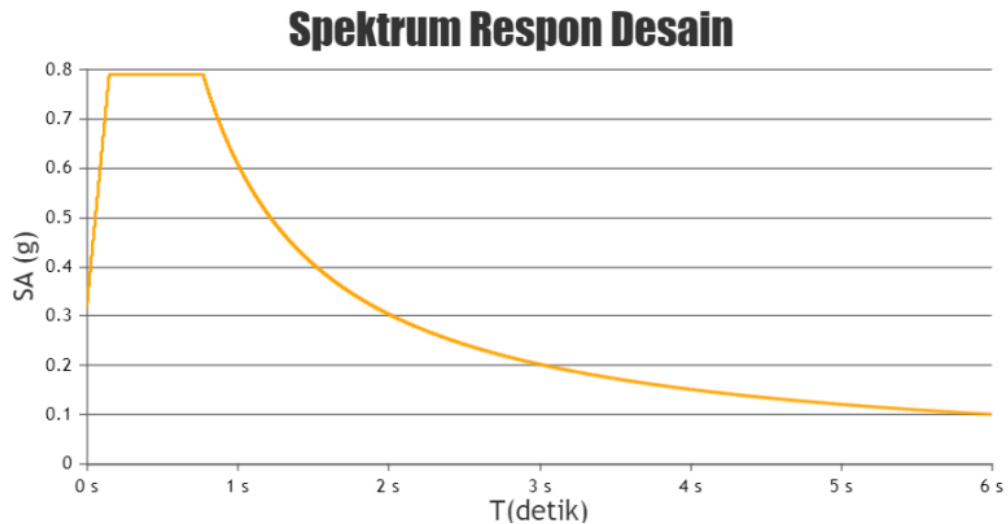
$$T_0 = 0,15 \text{ detik}$$

$$T_s = 0,77 \text{ detik}$$

$$S_{DS} = 0,79$$

$$S_{D1} = 0,61$$

Berikut adalah grafik respon spektrum dari situs Desain Spektra Indonesia dapat dilihat pada Gambar 5.3.



**Gambar 5.3 Grafik Respon Spektrum dari Desain Spektra Indonesia**  
(Sumber : rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021)

Dari grafik respon spektrum hasil perhitungan dan hasil dari situs desain spektra Indonesia, didapatkan nilai yang sama. Sehingga dalam analisis digunakan koefisien respon spektrum dari hasil perhitungan yang dilakukan oleh penulis.

#### 11. Menghitung Nilai Periode Struktur (T)

Periode pada suatu struktur bangunan didapatkan dengan rumus dan dengan menggunakan hasil analisis menggunakan program SAP2000. Analisis perhitungan nilai periode struktur adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t \times H^x \\
 &= 0,0466 \times 28^{0,9} \\
 &= 0,935 \\
 C_u \times T_a &= 1,4 \times 0,935 \\
 &= 1,309
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis pada program SAP2000 diperoleh nilai *eigen value* ( $T_{crack}$ ) sebesar 0,95465. Dari hasil diatas maka periode getar yang digunakan adalah 0,95465.

- 1) Jika  $T_{crack} > C_u.T_a$ , maka digunakan  $T_a$  dengan nilai  $T = C_u.T_a$ .
- 2) Jika  $T_a < T_{crack} < C_u.T_a$ , maka digunakan  $T_a$  dengan nilai  $T = T_{crack}$ .
- 3) Jika  $T_{crack} < T_a$ , maka digunakan  $T_a$  dengan nilai  $T = T_a$ .

Dari persyaratan diatas maka nilai periode getar  $T$  yang digunakan adalah  $T_{crack}$ .

## 12. Koefisien Respons Seismik ( $C_s$ )

Model Hotel

Digunakan 3 persamaan dalam menghitung koefisien respons seismik arah X ataupun arah Y. Perhitungan koefisien respons adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_{S \text{ Hitung}} &= \frac{S_{DS}}{R/I} \\ &= \frac{0,793}{8/1} \\ &= 0,09875 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{S \text{ Maks}} &= \frac{S_{D1}}{T_x(R/I)} \\ &= \frac{0,610}{0,955(8/1)} \\ &= 0,0799 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{S \text{ 35}} &= \frac{0,5 \times S_1}{R/I} \\ &= \frac{0,5 \times 0,513}{8/1} \\ &= 0,0321 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{S \text{ Min}} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \\ &= 0,044 \times 0,790 \times 1 \geq 0,01 \\ &= 0,0348 \geq 0,01 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan koefisien respons maka digunakan nilai  $C_s = 0,0799$

## 13. Berat Total Bangunan

Berat total bangunan merupakan beban mati yang terdiri dari berat dari material pada setiap elemen struktur dan beban hidup yang direncanakan mengacu kepada SNI 1727-2020. Berat total bangunan tiap model hasil hasil dari luaran program SAP2000 sebagai berikut.

**Tabel 5.2 Berat Total Bangunan**

Lantai	Berat Model Manual (kN)	Berat Model SAP 2000 v22 (kN)
Total	72627,443	73598,755
Error	1,337 %	

#### 14. Perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik

Perhitungan dilakukan menurut persamaan 3.6

$$\text{Berat total bangunan (Wt)} = 72627,443 \text{ kN}$$

$$C_s = 0,0799$$

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W_t \\ &= 0,0799 \times 72627,443 \text{ kN} \\ &= 5800,914 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser seismik diperoleh nilai sebesar 5800,914 kN.

#### 15. Perhitungan Nilai k

Mengacu kepada SNI 1726-2019 syarat menentukan nilai k adalah sebagai berikut.

- Nilai k = 1 jika struktur mempunyai nilai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang.
- Nilai k = 2 jika struktur mempunyai nilai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih.
- Nilai k sebesar 2 atau ditentukan dengan interpolasi antara 1 dengan 2 jika nilai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik.

Nilai T pada model adalah sebagai berikut.

$$T_{\text{model}} = 0,935 \text{ detik}$$

Dengan nilai T yang berada diantara 0,5 dan 2,5 detik maka digunakan interpolasi untuk mendapatkan nilai k, maka nilai k pada model mall adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} k_{\text{model}} &= \frac{(0,935-0,5) \times (2-1)}{(2,5-0,5) \times (2-1)} + 1 \\ &= 1,2175 \end{aligned}$$

## 16. Nilai Gaya Gempa Horizontal (F)

Nilai gaya horizontal pada lantai 8 didapatkan menggunakan persamaan 3.9 berikut.

$$\begin{aligned} F_x &= C_v \times V \\ &= 0,209 \times 5800,914 \\ &= 1210,461 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan gaya horizontal pada tiap tingkatnya dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini.

**Tabel 5.3 Gaya Horizontal Model Hotel**

Level	h (m)	Berat W (kn)	$Wh^k$	$C_v$	$V_x$	$\frac{V_x}{V_x + 1}$	Gaya $F_x$ (KN)
8	28	7638,324	441508,172	0,209	0,209	0,00	1210,461
7	24.5	9265,596	455205,791	0,215	0,424	2,03	1248,015
6	21	9265,596	377310,482	0,178	0,602	1,42	1034,453
5	17.5	9265,596	302199,885	0,143	0,745	1,24	828,526
4	14	9265,596	230305,669	0,109	0,854	1,15	631,418
3	10.5	9265,596	162251,789	0,077	0,930	1,09	444,838
2	7	10060,687	107534,928	0,051	0,981	1,05	294,823
1	3.5	8600,453	39530,640	0,019	1	1,02	108,379
Total				1			5800,914

5.1.6 Gaya Geser Dasar (*Base Shear Reaction*)

Gaya geser dasar merupakan kombinasi respons untuk gaya geser dasar yang didapat dari analisis pada SAP2000. Jika hasil gaya geser dasar dinamik kurang dari 100% gaya geser statik pada struktur maka perlu skala baru untuk memenuhi syarat yang mengacu kepada SNI 1726-2019. Perhitungan gaya geser dasar adalah sebagai berikut.

$$V_s (\text{trial 1}) = 5800,913 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} 100\% V_s (\text{trial 1}) &= 100\% \times 5800,913 \\ &= 5800,913 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser model Hotel arah x (trial)} &= V_d = 100\% V_s \\ &= 5721,258 \neq 5800,913 \text{ (Tidak OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Skala baru} &= 100\% V_s / V_d \\ &= 5800,913 / 5721,258 \\ &= 1,014 \end{aligned}$$



Dilakukan perhitungan trial 2 untuk memenuhi syarat yang ditentukan seperti berikut.

$$V_s \text{ (trial 2)} = 5800,913 \text{ kN}$$

$$100\% V_s \text{ (trial 2)} = 100\% \times 5800,913$$

$$= 5800,913 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya geser model Hotel arah x (trial)} = V_d = 100\% V_s$$

$$= 5800,913 = 5800,913 \text{ (OK)}$$

Dari hasil diatas maka syarat gaya geser dasar struktur memenuhi syarat. Gaya geser yang dihasilkan untuk tiap model dapat dilihat pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

**Tabel 5.4 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)**

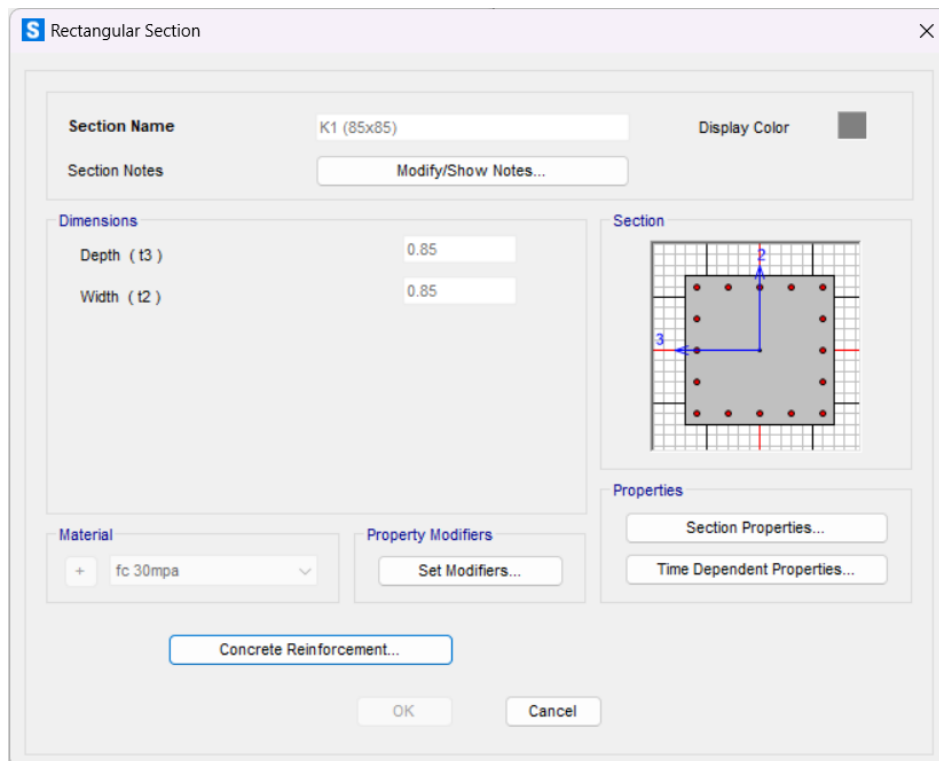
Perhitungan		Gaya Geser Dasar	
		Arah X	Arah Y
Trial 1	100% V statik	5800,913	5800,913
	V dinamik	5721,256	4636,103
	Keterangan	Tidak Ok	Tidak Ok
Trial 2	100% V statik	5800,913	5800,913
	V dinamik	5800,913	5800,913
	Keterangan	Ok	Ok

## 5.2 Pemodelan Kolom dan Balok

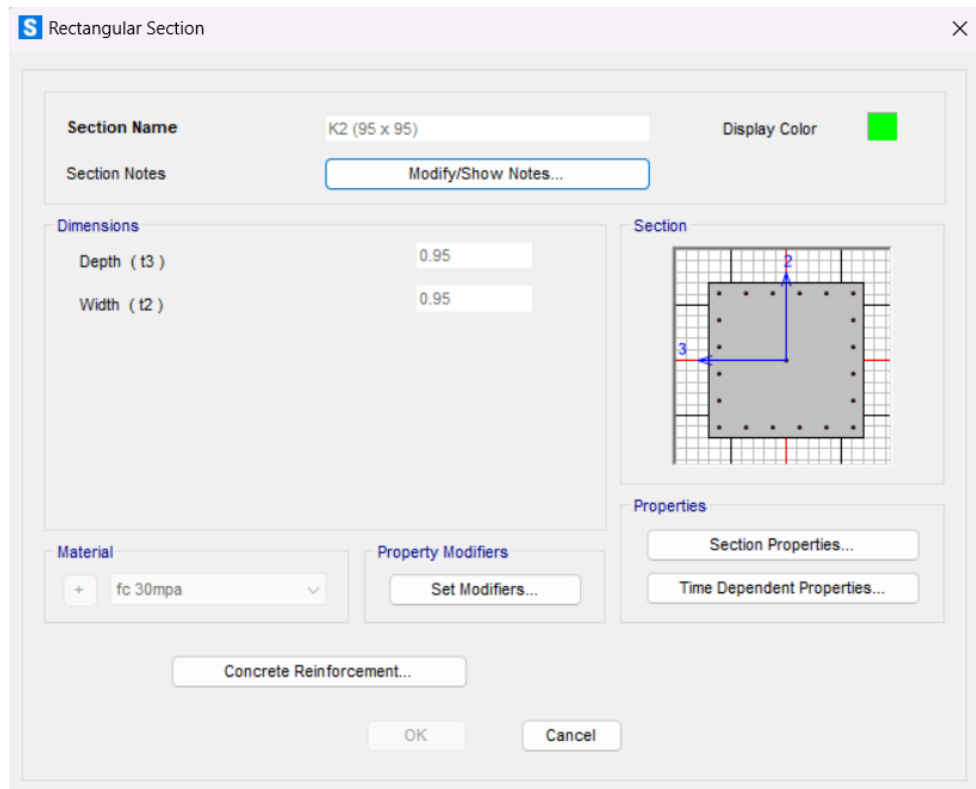
Proses evaluasi berbeda dengan proses desain, jika proses desain belum terdapat ukuran atau dimensi elemen struktur. Tetapi dalam evaluasi bangunan eksisting sudah ada sehingga sudah terdapat ukuran atau dimensi elemen struktur. Pada penelitian ini proses evaluasi menggunakan elemen struktur berupa kolom dan balok yang sudah ada. Dalam evaluasi struktur perlu dilakukan pemodelan struktur dari elemen kolom dan balok dengan memasukan properti struktur seperti dalam kondisi eksisting dari bangunan tersebut. Maka digunakanlah fungsi *section designer* untuk pemodelan balok dikarenakan dalam program SAP2000 tidak ada fitur untuk menginput tulangan pada balok. Sedangkan pada kolom, dilakukan dengan menginput pada bagian *concrete reinforcement* pada saat menggambar *frame section*.

### 5.2.1 Pemodelan Kolom

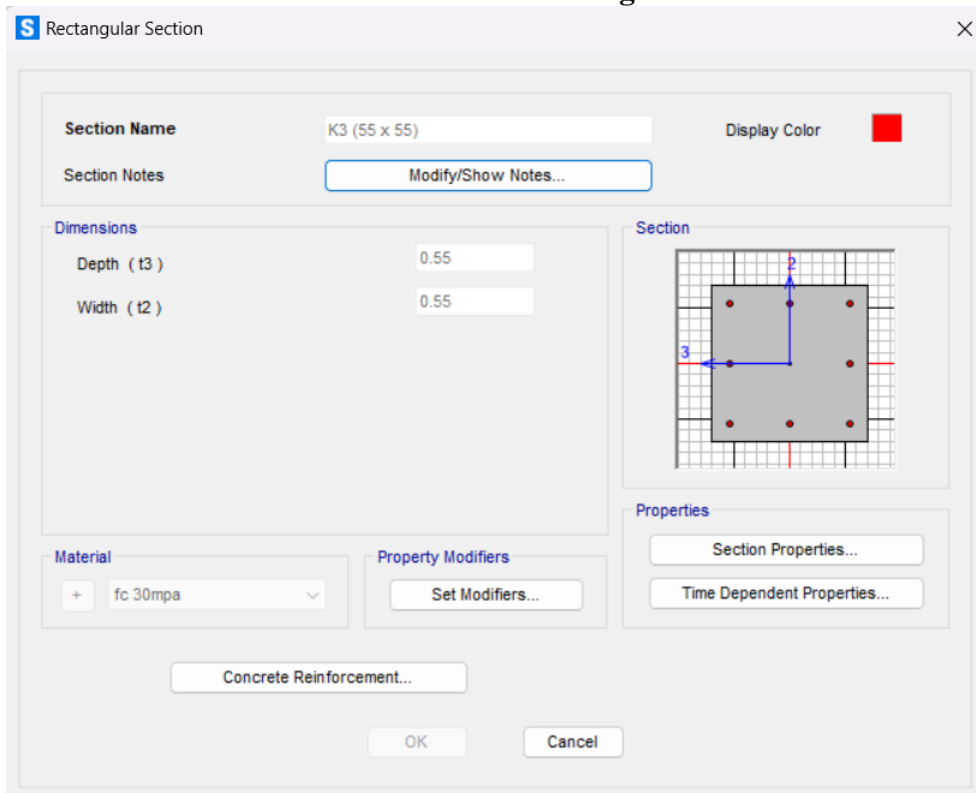
Pemodelan kolom yang dilakukan kemudian dilanjutkan dengan menginput *concrete reinforcement* pada saat membuat *frame section* untuk kemudian disesuaikan dengan kondisi eksisting, baik dari jumlah tulangan lentur dan tulangan geser. Berikut adalah gambar dari pemodelan kolom K1, kolom K2, kolom K3, dan kolom K4.



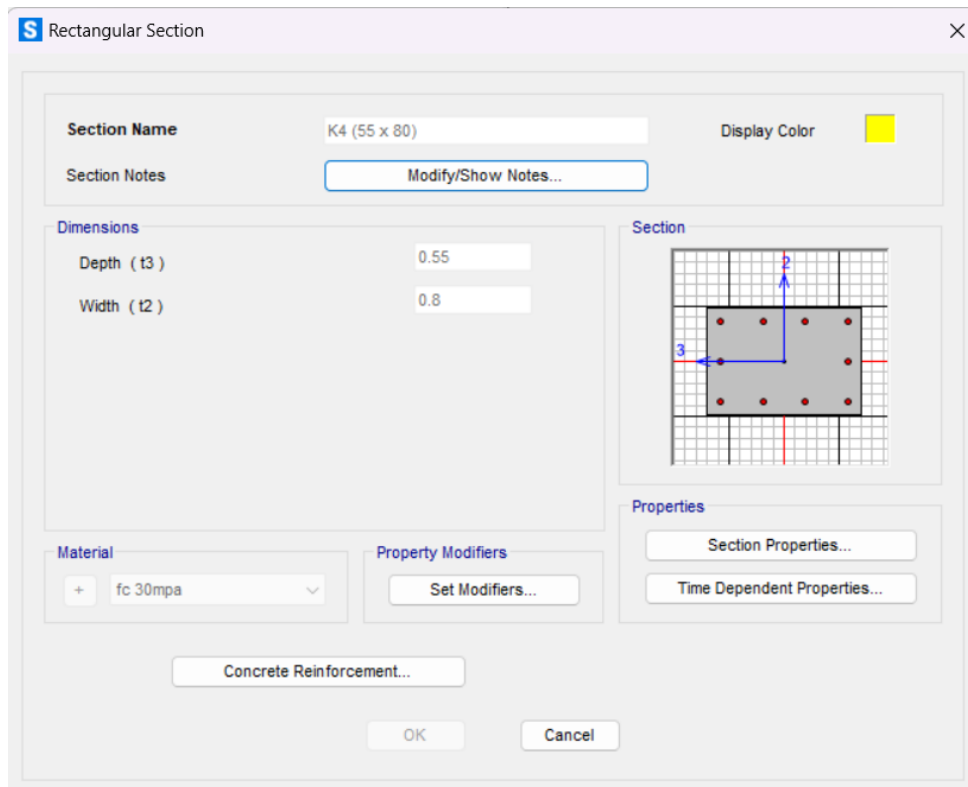
**Gambar 5.4 Pemodelan Penulangan Kolom K1**



**Gambar 5.5** Pemodelan Penulangan Kolom K2



**Gambar 5.6** Pemodelan Penulangan Kolom K3



**Gambar 5.7 Pemodelan Penulangan Kolom K4**

### 5.2.2 Pemodelan Balok

Pemodelan balok dilakukan dengan menggunakan *section designer* untuk menginput penulangannya dikarenakan pada SAP2000 tidak terdapat perintah untuk menginput penulangan pada balok. Pada *section designer* jumlah tulangan lentur, tulangan geser, dan jarak antar tulangan disesuaikan dengan kondisi yang ada. Berikut adalah pemodelan *section designer* pada balok BI X, balok BI Y, balok BA X, dan balok BA Y.

**SD Section Data**

Section Name: BALOK BI X  
 Section Notes: Modify/Show Notes...

Base Material: + fc 30mpa

Design Type

- No Check/Design
- General Steel Section
- Concrete Column

Concrete Column Check/Design

- Reinforcement to be Checked
- Reinforcement to be Designed

Define/Edit/Show Section

Section Designer...

Section Properties

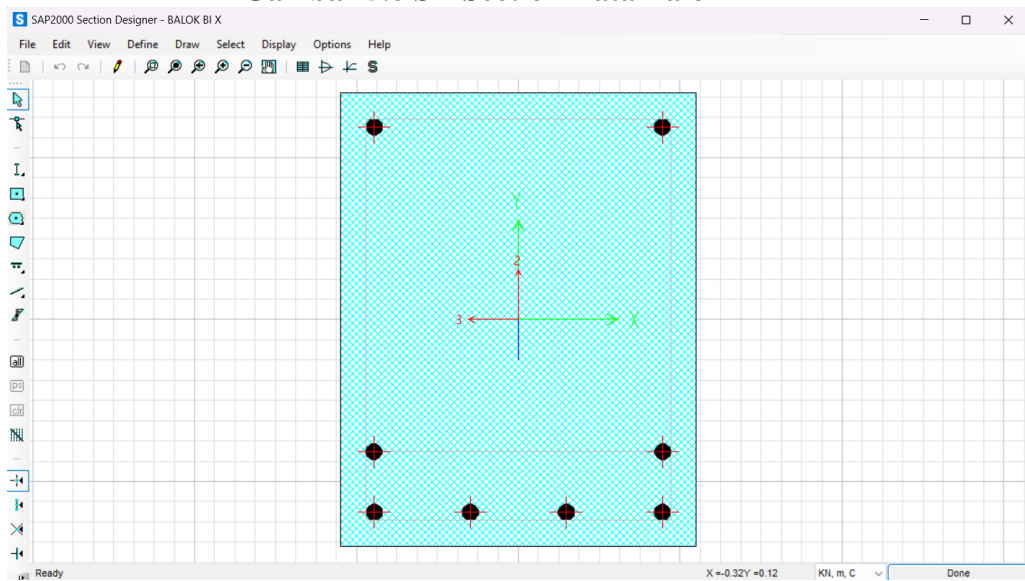
Properties...  
Time Dependent Properties...

Property Modifiers

Set Modifiers...  
Display Color

OK Cancel

**Gambar 5.8 SD Section Data Balok BI X**



**Gambar 5.9 Section Designer Balok BI X**

**SD Section Data**

Section Name: BALOK BI Y

Section Notes: Modify/Show Notes...

Base Material: + fc 30mpa

**Design Type**

No Check/Design

General Steel Section

Concrete Column

**Concrete Column Check/Design**

Reinforcement to be Checked

Reinforcement to be Designed

**Define/Edit/Show Section**

Section Designer...

**Section Properties**

Properties...

Time Dependent Properties...

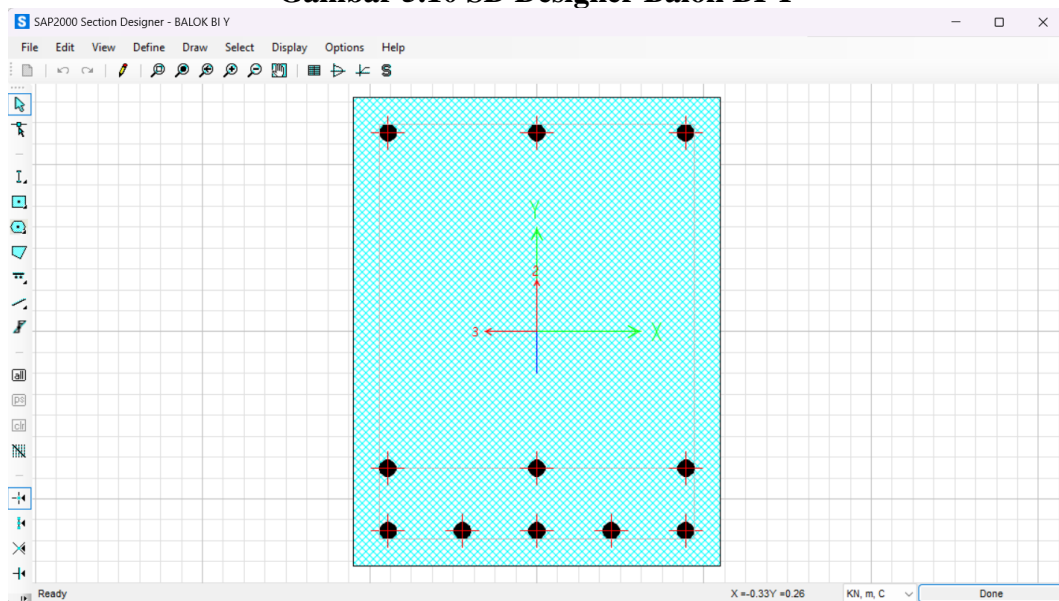
**Property Modifiers**

Set Modifiers...

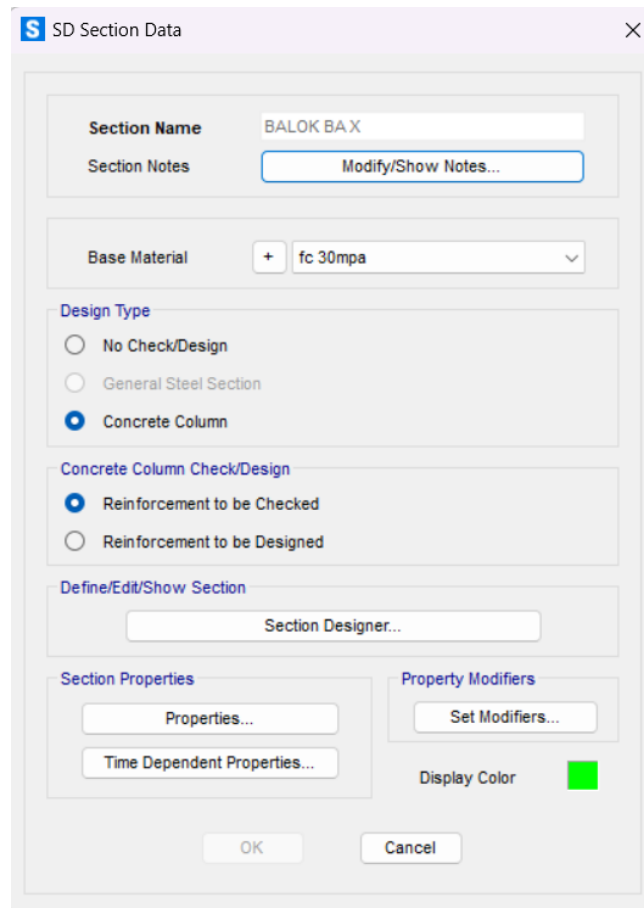
Display Color:

OK Cancel

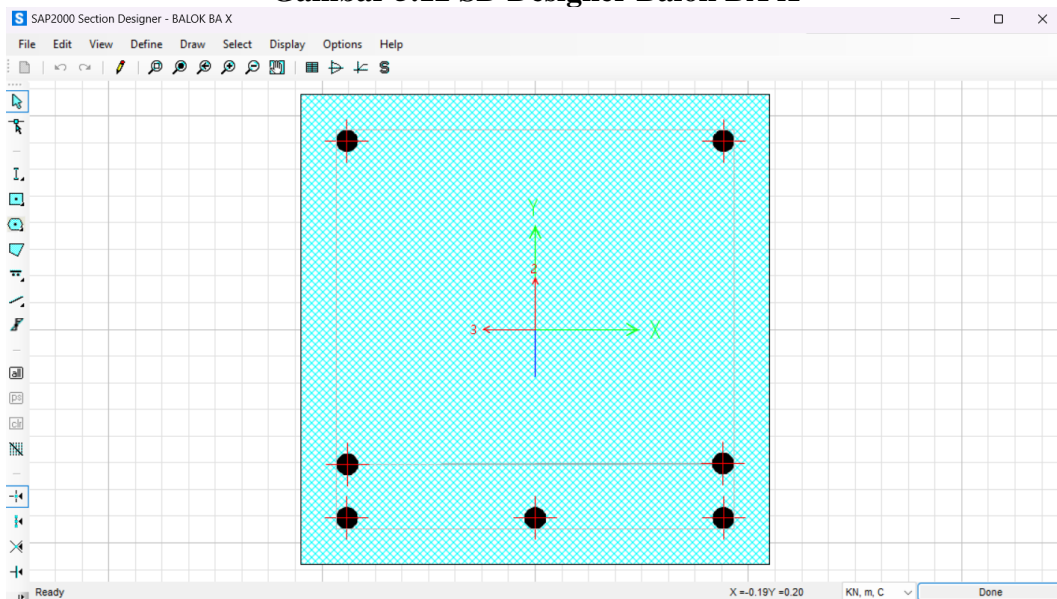
**Gambar 5.10 SD Designer Balok BI Y**



**Gambar 5.11 Section Designer Balok BI Y**



**Gambar 5.12 SD Designer Balok BA X**



**Gambar 5.13 Section Designer Balok BA X**

**SD Section Data**

Section Name: BALOK BA Y  
 Section Notes: Modify/Show Notes...

Base Material: + fc 30mpa

Design Type  
 No Check/Design  
 General Steel Section  
 Concrete Column

Concrete Column Check/Design  
 Reinforcement to be Checked  
 Reinforcement to be Designed

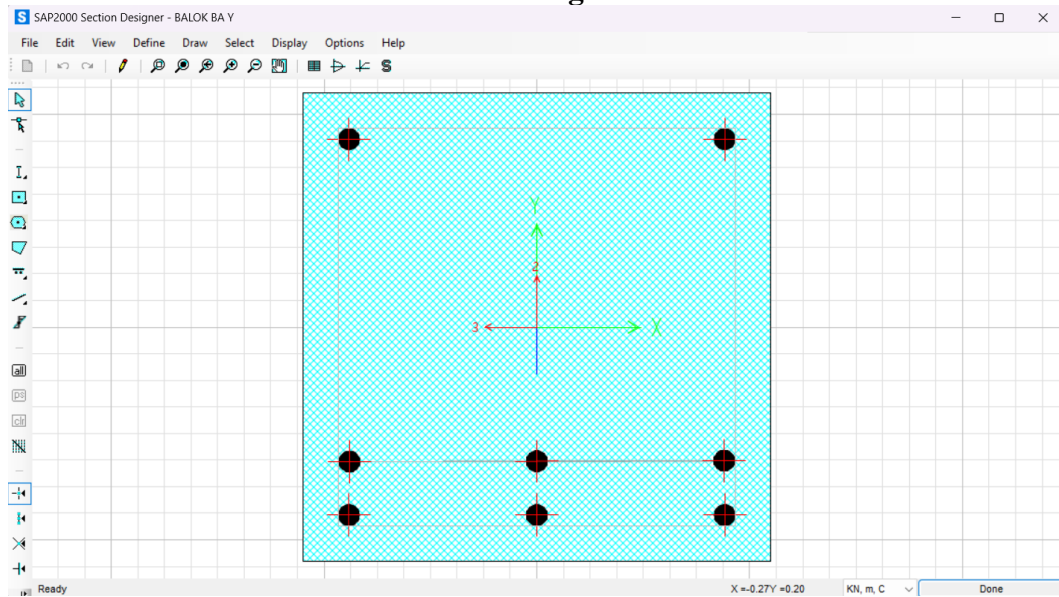
Define/Edit/Show Section  
 Section Designer...

Section Properties  
 Properties...  
 Time Dependent Properties...

Property Modifiers  
 Set Modifiers...  
 Display Color: ■

OK Cancel

**Gambar 5.14 SD Designer Balok BA Y**



**Gambar 5.15 Section Designer Balok BA Y**



### 5.3 Analisis Pushover

#### 5.3.1 Pendefinisian Load Pattern Pushover Analysis

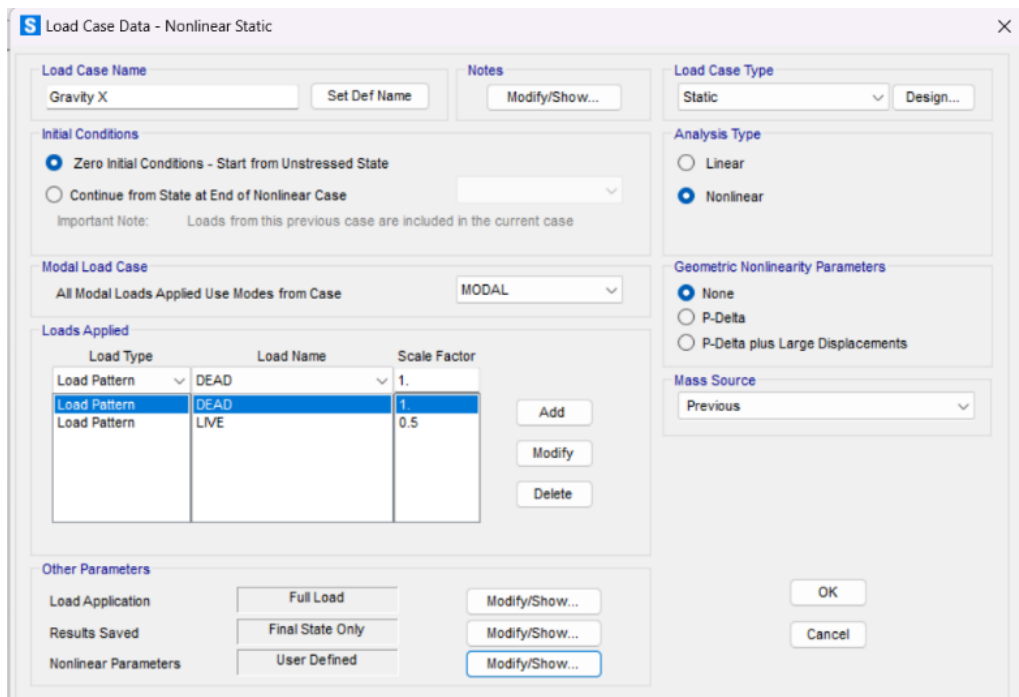
Dalam melakukan analisis *pushover* gaya lateral horizontal statik yang berupa beban titik diberikan disetiap tingkat pada pusat massa bangunan arah x dan arah y. gaya lateral statik tersebut didefinisikan sebagai EQX dan EQY pada program SAP2000.

#### 5.3.2 Pendefinisian Load Case Pushover Analysis

Load case pada analisis *pushover* dilakukan dalam 2 (dua) tahapan. Pada tahapan pertama analisis struktur bangunan diberi beban mati dan beban hidup tetapi belum mempertimbangkan kondisi non linier. Kemudian tahapan kedua dilanjutkan dengan memberikan pola beban lateral secara bertahap.

##### 1. Pendefinisian beban gravitasi *pushover* (Gravity X dan Gravity Y)

Pendefinisian beban gravitasi pada program SAP2000 dilakukan dengan menambahkan *load case* baru berupa *Gravity X* dan *Gravity Y*. Berikut adalah pendefinisian *load case* dari *Gravity X* dan *Gravity Y*.



**Gambar 5.16 Load Case Gravity X**

**S** Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

**Load Application Control**

Full Load  
 Displacement Control

**Control Displacement**

Use Conjugate Displacement  
 Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of

**Monitored Displacement**

DOF  at Joint   
 Generalized Displacement

**Additional Controlled Displacements**

**Gambar 5.17 Load Application Gravity X**

**S** Nonlinear Parameters

**Solution Control**

Maximum Total Steps per Stage	<input type="text" value="2000"/>
Maximum Null (Zero) Steps per Stage	<input type="text" value="1000"/>
Use Event-to-event Stepping	<input type="text" value="Yes"/>
Event Lumping Tolerance (Relative)	<input type="text" value="0.01"/>
Maximum Events per Step	<input type="text" value="24"/>
Use Iteration	<input type="text" value="Yes"/>
Maximum Constant-Stiff Iterations per Step	<input type="text" value="10"/>
Maximum Newton-Raphson Iter. per Step	<input type="text" value="40"/>
Iteration Convergence Tolerance (Relative)	<input type="text" value="1.000E-04"/>
Use Line Search	<input type="text" value="No"/>
Max Line Searches per Iteration	<input type="text"/>
Line-search Acceptance Tol. (Relative)	<input type="text"/>
Line-search Step Factor	<input type="text"/>

**Target Force Iteration**

Maximum Iterations per Stage	<input type="text" value="10"/>
Convergence Tolerance (Relative)	<input type="text" value="0.01"/>
Acceleration Factor	<input type="text" value="1."/>
Continue Analysis If No Convergence	<input type="text" value="No"/>

**Gambar 5.18 Nonliniar Parameters Gravity X**

**S** Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: Gravity Y Set Def Name Modify/Show...

Load Case Type: Static Design...

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case ...

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case

All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL ...

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	DEAD	1.
Load Pattern	DEAD	1.
Load Pattern	LIVE	0.5

Add Modify Delete

Analysis Type

Linear

Nonlinear

Geometric Nonlinearity Parameters

None

P-Delta

P-Delta plus Large Displacements

Mass Source

Previous ...

Other Parameters

Load Application: Full Load Modify/Show...

Results Saved: Final State Only Modify/Show...

Nonlinear Parameters: User Defined Modify/Show...

OK Cancel

**Gambar 5.19 Load Case Gravity Y**

**S** Load Application Control for Nonlinear Static Analysis ×

Load Application Control

Full Load

Displacement Control

Control Displacement

Use Conjugate Displacement

Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of: ...

Monitored Displacement

DOF U3 ... at Joint 20 ...

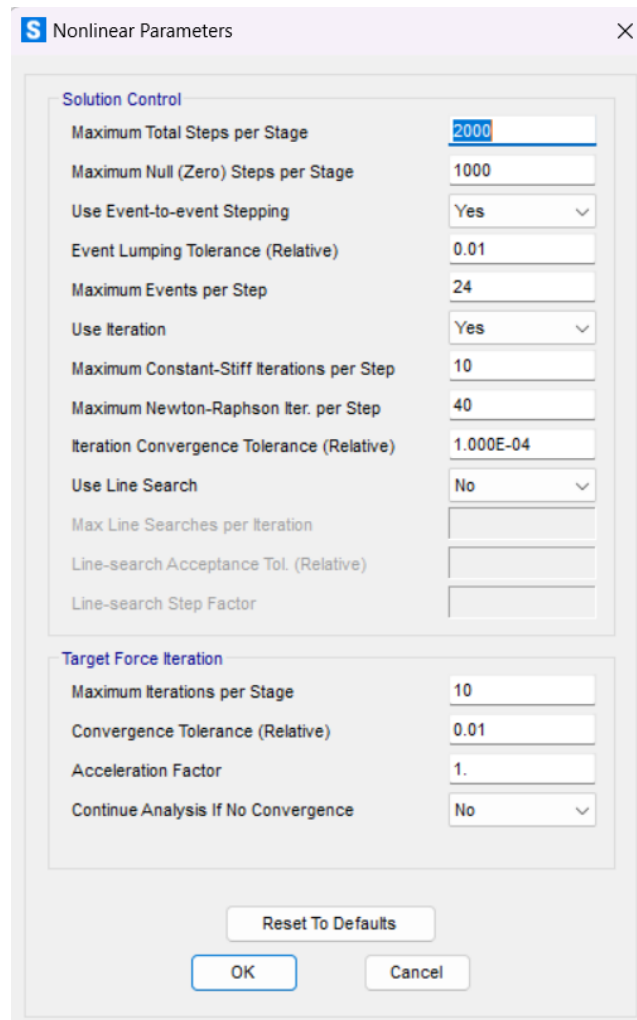
Generalized Displacement ...

Additional Controlled Displacements

Modify/Show...

OK Cancel

**Gambar 5.20 Load Application Gravity Y**



**Gambar 5.21 Nonlinear Parameters Gravity Y**

## 2. Pendefinisian beban lateral *pushover* (*Pushover X* dan *Pushover Y*)

Pendefinisian beban lateral pada program SAP 2000 dilakukan dengan menambahkan *load case* baru berupa *Pushover X* dan *Pushover Y*. Berikut adalah pendefinisian *load case* dari *Pushover X* dan *Pushover Y*.

**Load Case Data - Nonlinear Static**

**Load Case Name:** Pushover X  

**Initial Conditions:**  
 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State  
 Continue from State at End of Nonlinear Case   
 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

**Modal Load Case:** All Modal Loads Applied Use Modes from Case

Load Type	Load Name	Scale Factor
Accel	UX	1
Accel	UX	1

**Other Parameters:**  
 Load Application:    
 Results Saved:    
 Nonlinear Parameters:

**Gambar 5.22 Load Case Pushover X**

**Load Application Control for Nonlinear Static Analysis**

**Load Application Control:**  
 Full Load  
 Displacement Control

**Control Displacement:**  
 Use Conjugate Displacement  
 Use Monitored Displacement  
 Load to a Monitored Displacement Magnitude of

**Monitored Displacement:**  
 DOF  at Joint   
 Generalized Displacement

**Additional Controlled Displacements:**

**Gambar 5.23 Load Application Pushover X**

**Nonlinear Parameters**

**Solution Control**

Maximum Total Steps per Stage: 2000

Maximum Null (Zero) Steps per Stage: 1500

Use Event-to-event Stepping: Yes

Event Lumping Tolerance (Relative): 0.01

Maximum Events per Step: 24

Use Iteration: Yes

Maximum Constant-Stiff Iterations per Step: 10

Maximum Newton-Raphson Iter. per Step: 40

Iteration Convergence Tolerance (Relative): 1.000E-04

Use Line Search: No

Max Line Searches per Iteration:

Line-search Acceptance Tol. (Relative):

Line-search Step Factor:

**Target Force Iteration**

Maximum Iterations per Stage: 10

Convergence Tolerance (Relative): 0.01

Acceleration Factor: 1.

Continue Analysis if No Convergence: No

Reset To Defaults

OK Cancel

**Gambar 5.24 Nonlinear Parameters Pushover X**

**Load Case Data - Nonlinear Static**

Load Case Name: Pushover Y

Load Case Type: Static

Initial Conditions:  Continue from State at End of Nonlinear Case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case

Load Type	Load Name	Scale Factor
Accel	UY	1.
Accel	UY	1.

Analysis Type:  Nonlinear

Geometric Nonlinearity Parameters:  None

Mass Source: Previous

Other Parameters: Load Application (Displ Control), Results Saved (Multiple States), Nonlinear Parameters (User Defined)

OK Cancel

**Gambar 5.25 Load Case Pushover Y**

**S** Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

**Load Application Control**

Full Load

Displacement Control

**Control Displacement**

Use Conjugate Displacement

Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of

**Monitored Displacement**

DOF  at Joint

Generalized Displacement

**Additional Controlled Displacements**

**Gambar 5.26 Load Application Pushover Y**

**S** Nonlinear Parameters

**Solution Control**

Maximum Total Steps per Stage	<input type="text" value="2000"/>
Maximum Null (Zero) Steps per Stage	<input type="text" value="1500"/>
Use Event-to-event Stepping	<input type="text" value="Yes"/>
Event Lumping Tolerance (Relative)	<input type="text" value="0.01"/>
Maximum Events per Step	<input type="text" value="24"/>
Use Iteration	<input type="text" value="Yes"/>
Maximum Constant-Stiff Iterations per Step	<input type="text" value="10"/>
Maximum Newton-Raphson Iter. per Step	<input type="text" value="40"/>
Iteration Convergence Tolerance (Relative)	<input type="text" value="1.000E-04"/>
Use Line Search	<input type="text" value="No"/>
Max Line Searches per Iteration	<input type="text"/>
Line-search Acceptance Tol. (Relative)	<input type="text"/>
Line-search Step Factor	<input type="text"/>

**Target Force Iteration**

Maximum Iterations per Stage	<input type="text" value="10"/>
Convergence Tolerance (Relative)	<input type="text" value="0.01"/>
Acceleration Factor	<input type="text" value="1."/>
Continue Analysis If No Convergence	<input type="text" value="No"/>

**Gambar 5.27 Nonlinear Parameters Pushover Y**

### 5.3.3 Pendefinisian Sendi Plastis (*Hinge*)

Sebelum dilakukanya analisis *pushover* terdapat hal yang perlu dilakukan yaitu pendefinisian sendi plastis (*Plastic Hinge*) pada setiap elemen struktur. Pendefinisian sendi plastis dimodelkan berdasar pada perilaku struktur yang akan sangat berpengaruh pada jenis struktur yang di desain.

Struktur bangunan akan didesain dengan perilaku sebagai *beam sway mechanism*, hal tersebut terjadi dimana ketika struktur menerima beban lateral balok akan leleh terlebih dahulu pada tiap ujungnya kemudian baru dilanjutkan dengan kelelahan pada kolom.

### 5.3.4 *Running Pushover Analysis*

Setelah melakukan *input* dari *load pattern* dan *load case pushover analysis* serta melakukan *input* definisi sendi plastis (*Hinges*) pada permodelan struktur di program SAP2000, dilakukanlah *running Pushover Analysis* pada program SAP2000. *Running* akan dilakukan secara otomatis oleh program SAP2000 dengan waktu yang cukup lama, pada model bangunan ini dibutuhkan waktu kurang lebih 2 jam hingga selesai.

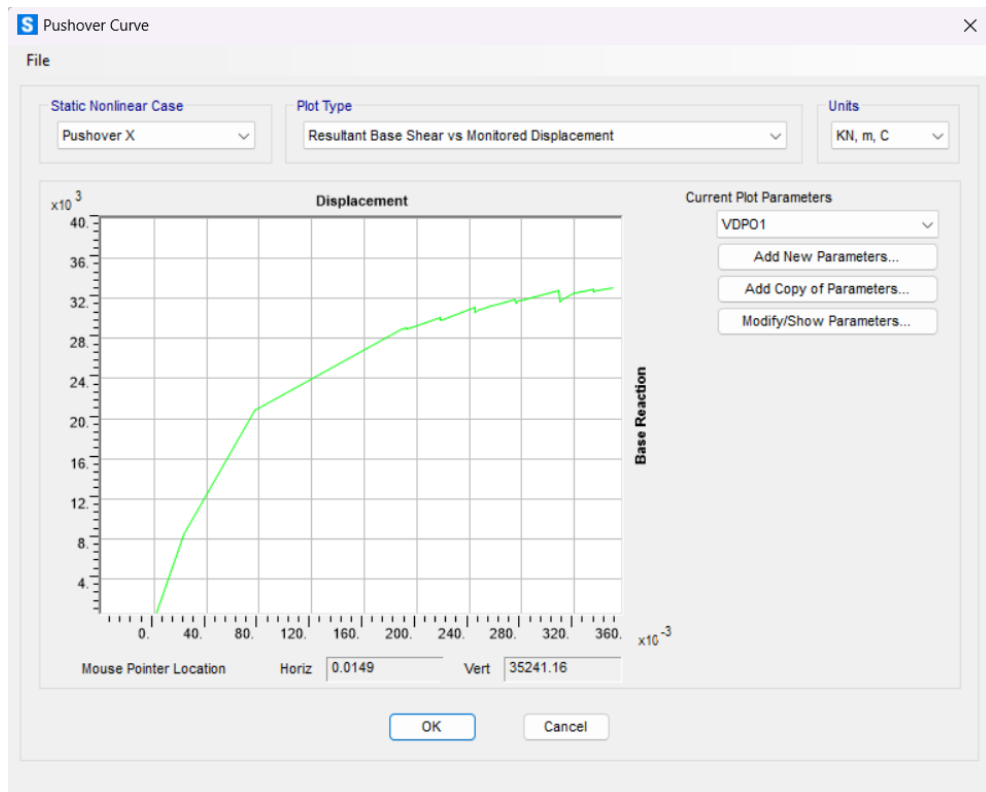
## 5.4 Hasil Analisis *Pushover*

Analisis *pushover* yang telah selesai di *running* pada program SAP2000 akan menghasilkan luaran berupa kurva kapasitas dan nilai *performance point*. Nilai dari *performance point* akan digunakan untuk menentukan tingkatan kinerja struktur dengan menggunakan metode ATC-40. Hasil akhir dari analisis *pushover* akan juga menunjukkan skema sendi plastis yang terjadi pada struktur bangunan.

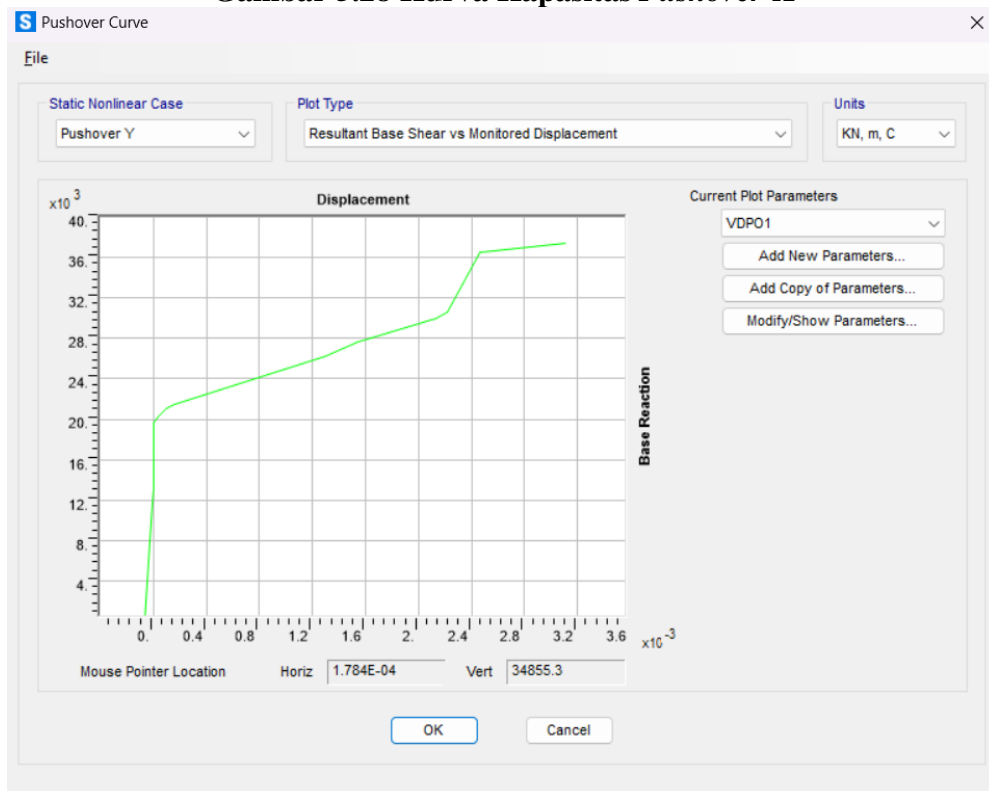
### 5.4.1 Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas (*Capacity Curve*) mendefinisikan hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan lateral yang terjadi dari lantai hingga atap. Kurva kapasitas dari hasil analisis *pushover* menunjukkan bahwa besarnya kekuatan struktur bergantung kepada kemampuan momen deformasi dari setiap elemen struktur. Berikut merupakan hasil kurva kapasitas yang didapat dari hasil analisis pada program SAP2000.





**Gambar 5.28 Kurva Kapasitas Pushover X**



**Gambar 5.29 Kurva Kapasitas Pushover Y**

Dari kedua kurva diatas, kurva kapasitas x memiliki bentuk yang lebih landai daripada kurva kapasitas y. Hal tersebut menunjukkan bahwa *base force* yang terjadi pada arah y lebih besar daripada pada arah x. Kemudian berikut merupakan tabel *base reaction* (V) dan *displacement* (D) dari kurva kapasitas *Pushover X* dan *Pushover Y* dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan 5.6.

**Tabel 5.5 Data Kurva Kapasitas *Pushover X***

<i>Steps</i>	<i>Displacement</i> (m)	<i>Base Force</i> (kN)
0	0,000065	0
1	0,022835	8496,499
2	0,076692	20869,217
3	0,188777	28912,696
4	0,191994	29078,811
5	0,192093	28876
6	0,198281	29219,193
7	0,198285	29221,23
8	0,217689	30106,324
9	0,217746	29896,768
10	0,217748	29819,938
11	0,218373	29888,405
12	0,244657	31125,001
13	0,244757	30551,498
14	0,24732	30804,982
15	0,251165	31022,258
16	0,255894	31220,903
17	0,256795	31238,17
18	0,275151	31924,261
19	0,27525	31534,052
20	0,275773	31626,677
21	0,277696	31755,528
22	0,278843	31789,738
23	0,308491	32769,99
24	0,308587	31619,466
25	0,31084	31917,716
26	0,318174	32435,15
27	0,319393	32477,887
28	0,320619	32544,658
29	0,324462	32684,866
30	0,325612	32691,274
31	0,334497	32972,026
32	0,334597	32681,129
33	0,336969	32788,093
34	0,348962	33091,881

**Tabel 5.6 Data Kurva Kapasitas *Pushover* Y**

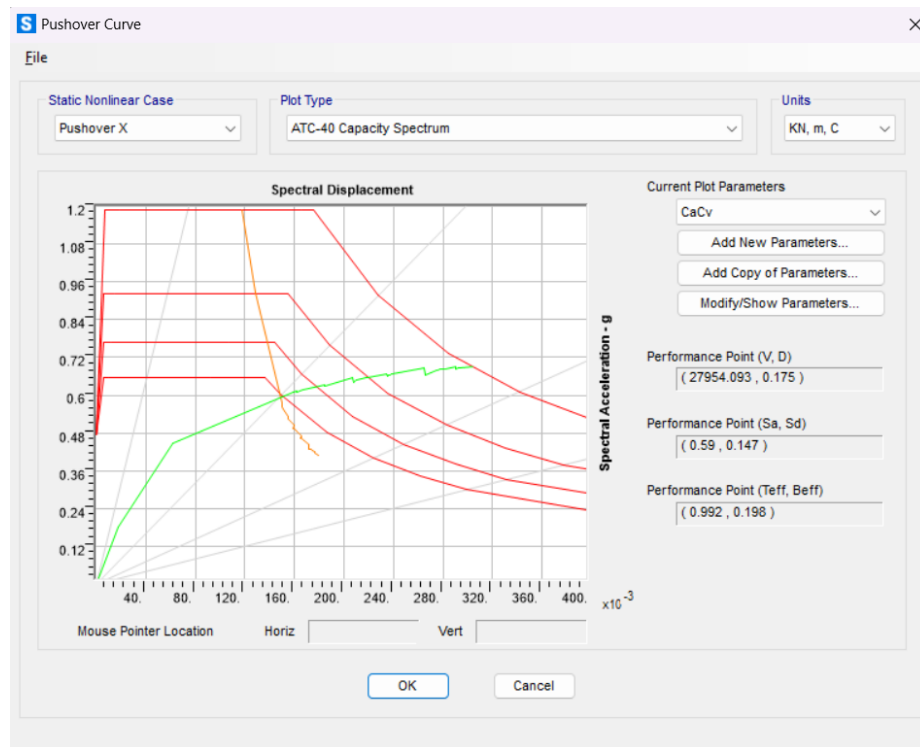
<i>Steps</i>	<i>Displacement</i> (m)	<i>Base Force</i> (kN)
0	0	0
1	0,00000004678	11861,159
2	0,0000001468	13174,193
3	0,000001745	13448,485
4	0,000002067	14448,811
5	0,000002202	14735,013
6	0,000002515	15159,07
7	0,000008157	15879,765
8	0,000001788	16465,329
9	0,000002393	16778,696
10	0,000003351	17022,467
11	0,000005495	19703,121
12	0,00003	20231,804
13	0,000102	21109,961
14	0,000158	21451,103
15	0,0013	26280,842
16	0,001538	27625,322
17	0,002029	29524,478
18	0,002058	29707,212
19	0,002133	29987,413
20	0,002217	30630,901
21	0,002462	36488,222
22	0,003105	37415,216

Berdasarkan Tabel 5.6 untuk *pushover* arah X gaya lateral maksimum yang dapat ditahan oleh struktur sebesar 28286,669 kN yang terjadi pada *step* ke 7 dengan *displacement* (perpindahan) sebesar 0,30342 m. Kemudian dari Tabel 5.7 untuk *pushover* arah Y gaya lateral maksimum yang dapat ditahan oleh struktur sebesar 24532,637 kN pada *step* ke 30 dengan *displacement* (perpindahan) sebesar 0,001607 m. Analisis mencapai titik kontrol *displacement* yang ditentukan sebesar 0,56 m dikarenakan telah terlampauinya kapasitas deformasi pada tiap komponen struktur yang sudah didefinisikan pada properti sendi plastis.

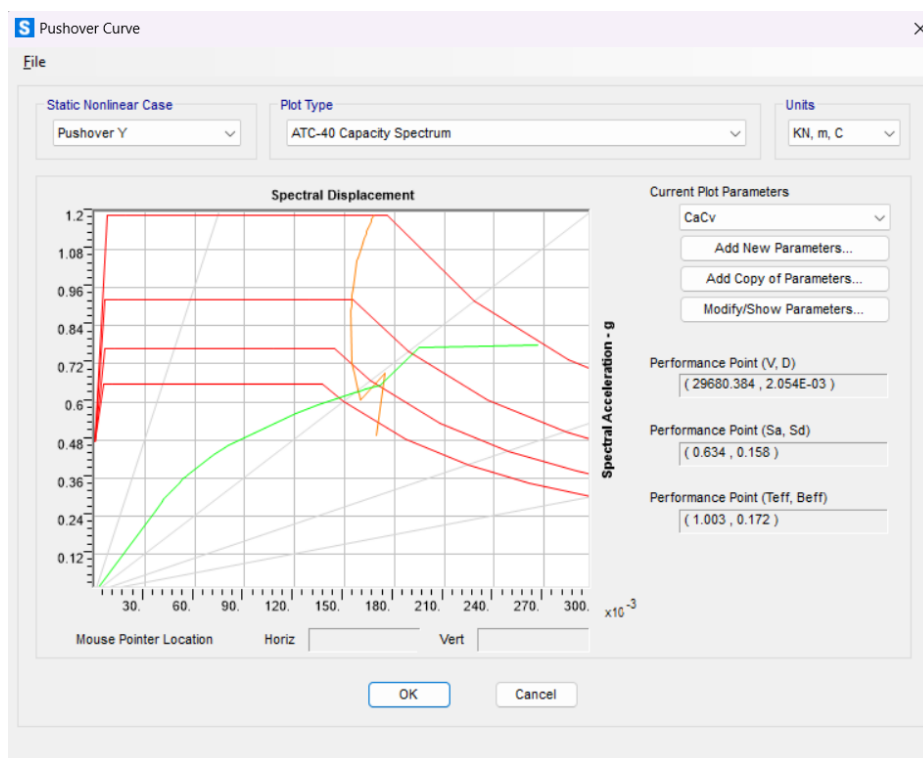
#### 5.4.2 *Performance Point* Metode ATC-40

Dalam menentukan titik kinerja bangunan digunakan metode *capacity spectrum* yang sesuai dengan ATC-40. Kurva kapasitas yang dihasilkan setelah analisis *pushover* adalah kurva hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan yang dikonversi ke dalam bentuk spektrum kapasitas dengan format ADRS (*Acceleration Displacement Response Spectrum*) yaitu nilai  $S_a$  dan  $S_d$  (sebagai spektrum kapasitas). Pada ketentuan ATC-40 digunakan nilai  $C_a$  sebesar 0,4756

dan nilai  $C_v$  sebesar 0,917. Kurva *Capacity Spectrum* untuk arah X dan arah Y dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 5.30 Capacity Spectrum Arah X**



**Gambar 5.31 Capacity Spectrum Arah Y**

Dari kurva diatas dapat dihasilkan Tabel luaran hasil kurva *capacity spectrum* dan *demand spectrum* untuk arah x dan arah y. Tabel luaran dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 berikut ini.

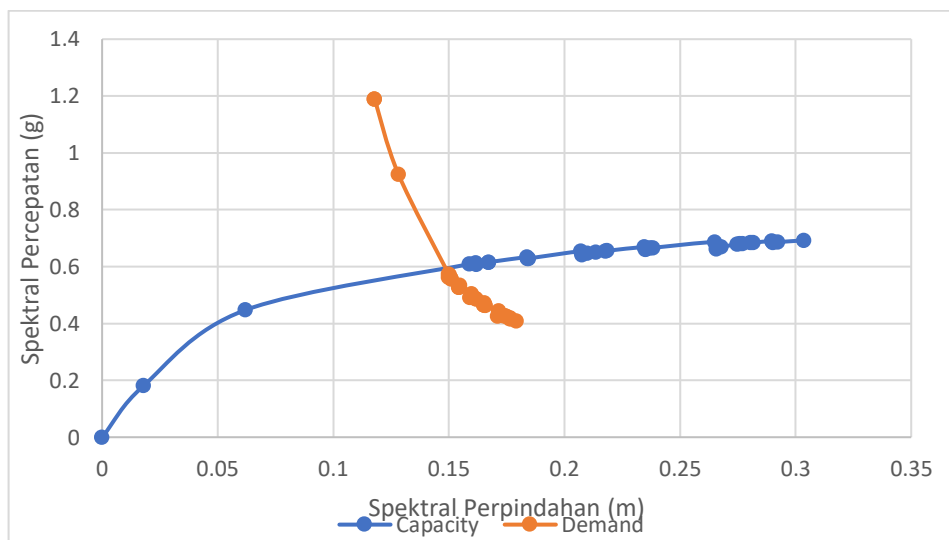
**Tabel 5.7 Output Capacity Spectrum dan Demand Spectrum Arah X**

<i>Steps</i>	<i>Sd (C)</i>	<i>Sa (C)</i>	<i>Sd (D)</i>	<i>Sa (D)</i>
0	0	0	0.117926	1.189
1	0.018006	0.181547	0.117926	1.189
2	0.06193	0.447244	0.12814	0.925402
3	0.158849	0.608882	0.14989	0.574544
4	0.161654	0.612536	0.150448	0.570075
5	0.161848	0.608236	0.149846	0.56313
6	0.167144	0.615453	0.151064	0.556244
7	0.167154	0.615488	0.151068	0.556258
8	0.183908	0.633874	0.154781	0.533484
9	0.184036	0.629251	0.154512	0.528304
10	0.184094	0.627601	0.154422	0.526447
11	0.184658	0.62898	0.154599	0.526593
12	0.207273	0.654132	0.159786	0.504266
13	0.20768	0.641707	0.159221	0.491972
14	0.210014	0.646825	0.159898	0.492472
15	0.21353	0.651313	0.160753	0.490334
16	0.217685	0.655285	0.161691	0.486731
17	0.218523	0.65569	0.161861	0.485673
18	0.23467	0.669328	0.165377	0.47169
19	0.23498	0.660953	0.165086	0.464353
20	0.23544	0.66286	0.165248	0.465241
21	0.237256	0.665582	0.165698	0.464838
22	0.238341	0.666296	0.16593	0.463866
23	0.265124	0.686364	0.17163	0.444322
24	0.26584	0.662417	0.171113	0.426378
25	0.267954	0.668799	0.171687	0.428521
26	0.274812	0.67941	0.173325	0.428506
27	0.275936	0.680157	0.173565	0.427822
28	0.27704	0.68145	0.173815	0.427541
29	0.280584	0.684336	0.174579	0.425794
30	0.281695	0.684396	0.174796	0.424678
31	0.289807	0.690063	0.176501	0.420269
32	0.290143	0.684189	0.176429	0.41604
33	0.292419	0.686357	0.176924	0.415272
34	0.303727	0.692335	0.179254	0.408603

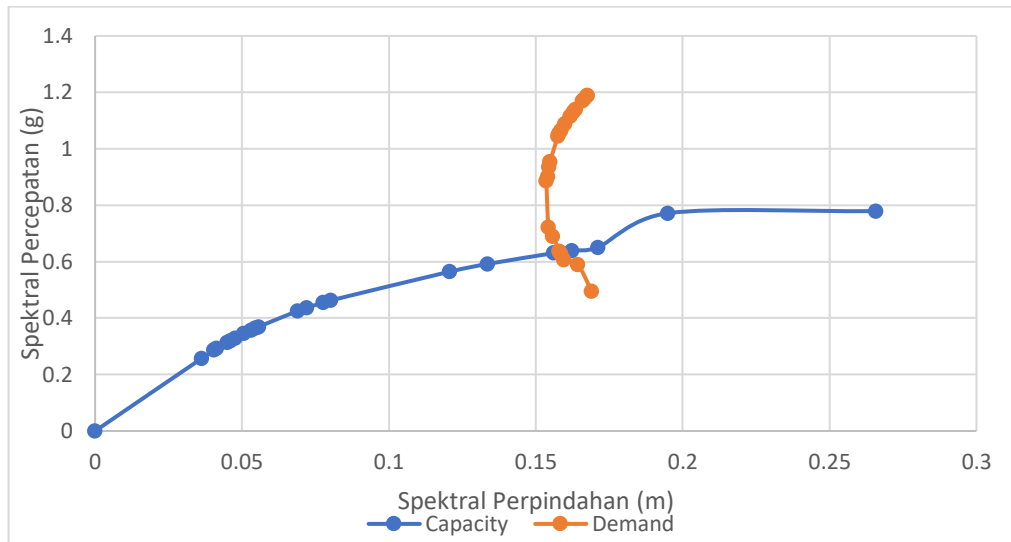
**Tabel 5.8 Output Capacity Spectrum dan Demand Spectrum Arah Y**

Steps	$S_d$ (C)	$S_a$ (C)	$S_d$ (D)	$S_a$ (D)
0	0	0	0.167654	1.189
1	0.036406	0.258191	0.167654	1.189
2	0.040562	0.286714	0.166503	1.176919
3	0.041499	0.292662	0.165941	1.17026
4	0.045099	0.314351	0.163553	1.14001
5	0.046168	0.320535	0.162874	1.13079
6	0.047814	0.329678	0.161778	1.115447
7	0.050722	0.345179	0.160062	1.089263
8	0.053245	0.357789	0.158686	1.066319
9	0.054628	0.364508	0.158051	1.054596
10	0.055725	0.369716	0.15759	1.045553
11	0.069063	0.42595	0.154851	0.955061
12	0.072183	0.437101	0.154546	0.935849
13	0.077807	0.45562	0.154123	0.902507
14	0.080233	0.462902	0.153634	0.886384
15	0.120761	0.564802	0.154319	0.721754
16	0.133612	0.592088	0.15575	0.69019
17	0.156207	0.630627	0.158061	0.638109
18	0.158597	0.634019	0.158279	0.632744
19	0.162322	0.63951	0.158682	0.625172
20	0.17123	0.651141	0.159557	0.606753
21	0.195097	0.772034	0.164285	0.589675
22	0.265909	0.779149	0.169041	0.495312

Dari Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 dapat dilihat parameter  $S_d$  dan  $S_a$  (C) dengan  $S_d$  dan  $S_a$  (D). Dari parameter tersebut dapat di input kedalam grafik dimana grafik  $S_d$  dan  $S_a$  (C) bertemu dengan  $S_d$  dan  $S_a$  (D), dari pertemuan antar kedua grafik tersebut didapatkanlah *performance point*. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 berikut.



**Gambar 5.32 Capacity Spectrum dan Demand Spectrum Arah X**



**Gambar 5.33 Capacity Spectrum dan Demand Spectrum Arah Y**

Dari Gambar 5.7 dapat dilihat untuk hasil *pushover* arah X didapatkan nilai  $\delta t$  sebesar 0,03249 m dan gaya geser target  $V_t = 25074,653 \text{ kN} > V_{static} = 5800,913 \text{ kN}$ , maka dalam metode *capacity spectrum* perilaku struktur arah x pada gempa rencana mengalami kondisi yang plastis.

Kemudian dari Gambar 5.8 dapat dilihat untuk hasil *pushover* arah Y didapatkan nilai  $\delta t$  sebesar 0,03833 m dan gaya geser target  $V_t = 24818,896 \text{ kN} > V_{static} = 5800,913 \text{ kN}$ , maka dalam metode *capacity spectrum* perilaku struktur arah y pada gempa rencana mengalami kondisi yang plastis.

Nilai dari *performance point*, waktu getar alami efektif dan redaman *viscous* efektif yang didasarkan kepada metode ATC-40 dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

**Tabel 5.9 Performance Point Metode ATC-40**

Beban	Base Shear (kN)	Performance Point					
		$V_t$	$\delta t$	$S_a$	$S_d$	$T_{eff}$	$B_{eff}$
<i>Pushover X</i>	5800,913	27594,093	0,175	0,59	0,147	0,992	0,198
<i>Pushover Y</i>	5800,913	29680,384	0,002054	0,634	0,158	1,003	0,172

#### 5.4.3 Tingkat Kinerja Struktur

Tingkatan kinerja struktur pada bangunan dapat ditentukan berdasarkan kriteria *drift* yang didapatkan pada saat titik kinerja tercapai. Berdasarkan pada Tabel 3.10 tentang batasan simpangan pada atap dapat diketahui tingkat kinerja

struktur dengan parameter *maximum total drift ratio* dan *maximum inelastic drift ratio*. Perhitungan tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

1. *Pushover* Arah X

a. *Maximum Total Drift Ratio* :  $\frac{\delta t}{H} = \frac{0,175}{28} = 0,00625$

Berdasarkan ATC-40 Tabel 11-2 nilai *Maximum Total Drift Ratio* < 0,01 masuk kedalam kategori tingkatan kinerja struktur *Immediate Occupancy* (IO). Dalam kategori *Immediate Occupancy* berarti bangunan aman pada saat terjadinya gempa, risiko timbulnya korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan yang berarti dan gedung dapat segera difungsikan kembali.

b. *Maximum Inelastic Ratio* :  $\frac{\delta t - \delta l1}{H} = \frac{0,175 - 0,061626}{28} = 0,00004049$

Berdasarkan ATC-40 Table 11-2 nilai *Maximum Inelastic Ratio* < 0,05 masuk ke dalam kategori tingkatan kinerja struktur *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate Occupancy* berarti bangunan aman pada saat terjadinya gempa, risiko timbulnya korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan yang berarti dan gedung dapat segera difungsikan kembali.

2. *Pushover* Arah Y

a. *Maximum Total Drift Ratio* :  $\frac{\delta t}{H} = \frac{0,002054}{28} = 0,00005464$

Berdasarkan ATC-40 Tabel 11-2 nilai *Maximum Total Drift Ratio* < 0,01 masuk kedalam kategori tingkatan kinerja struktur *Immediate Occupancy* (IO). Dalam kategori *Immediate Occupancy* berarti bangunan aman pada saat terjadinya gempa, risiko timbulnya korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan yang berarti dan gedung dapat segera difungsikan kembali.

b. *Maximum Inelastic Ratio* :  $\frac{\delta t - \delta l1}{H} = \frac{0,002054 - 0,001501}{28} = 0,00001975$

Berdasarkan ATC-40 Table 11-2 nilai *Maximum Inelastic Ratio* < 0,05 masuk ke dalam kategori tingkatan kinerja struktur *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate Occupancy* berarti bangunan aman pada saat terjadinya gempa, risiko timbulnya korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu










berarti, gedung tidak mengalami kerusakan yang berarti dan gedung dapat segera difungsikan kembali.

#### 5.4.4 Skema Sendi Plastis

Struktur akan mulai mengalami sendi plastis yang diakibatkan momen yang terjadi pada struktur lebih besar daripada momen elemen setelah dilakukannya analisis *pushover*. Pada saat beban yang bekerja pada struktur relatif kecil maka momen yang bekerja pada penampang masih dalam keadaan elastis, namun jika beban yang bekerja ditingkatkan secara bertahap maka dapat mengakibatkan besar momen pada salah satu penampang akan mencapai keadaan plastis.

Pada program SAP2000 keadaan sendi plastis pada elemen struktur ditunjukkan dalam bentuk warna, dimana tiap warna menunjukkan kondisi sendi plastis yang berbeda. Keterangan mengenai kondisi sendi plastis sesuai warna dalam program SAP2000 dapat dilihat pada tabel berikut ini.

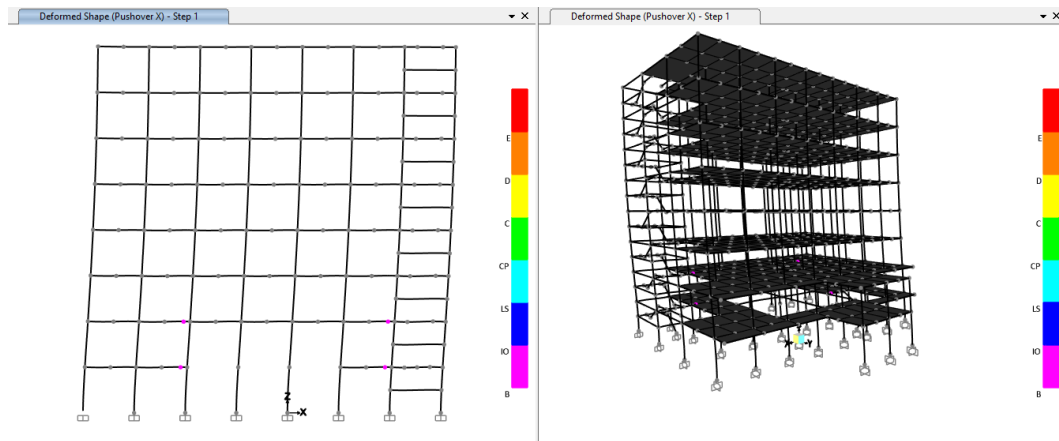
**Tabel 5.10 Keterangan Warna Titik Sendi Plastis**

Keterangan	Simbol	Penjelasan
B		Menunjukkan batasan linier yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur
IO		Terjadi kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada elemen struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadinya gempa
LS		Terjadi kerusakan mulai dari kecil hingga tingkatan sedang. Kekakuan struktur berkurang tetapi struktur masih memiliki ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan
CP		Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuan dari struktur berkurang banyak
C		Batasan maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan oleh struktur gedung
D		Terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir mengalami keruntuhan
E		Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan mengalami keruntuhan atau <i>collapse</i>

#### 1. Sendi Plastis *Pushover* Arah X

##### a. Step awal terjadi sendi plastis

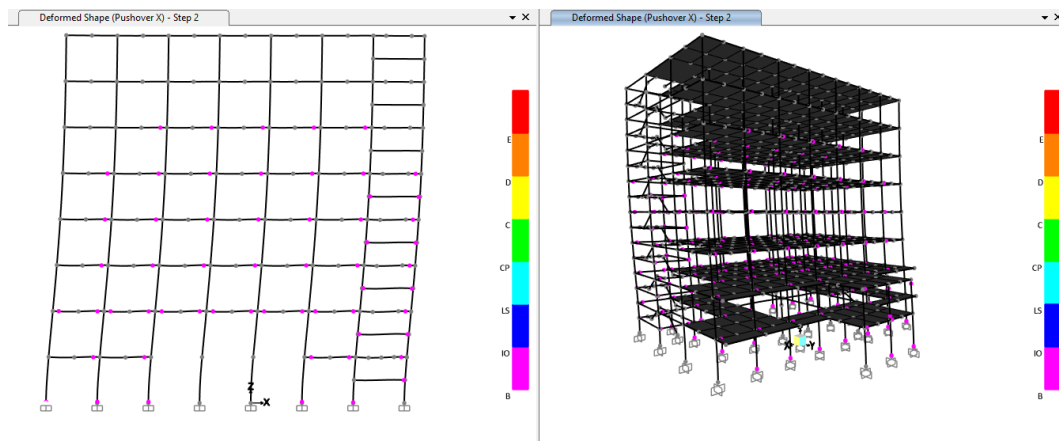
Sendi plastis pada arah X sudah terjadi pada balok pada step-1, dimana telah muncul titik-titik plastis berwarna ungu pada beberapa balok yang berarti sendi plastis berada pada level kinerja B. Langkah sendi plastis yang terjadi dapat dilihat pada berikut ini.



**Gambar 5.34 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah X**

b. Step awal terjadinya sendi plastis pada kolom

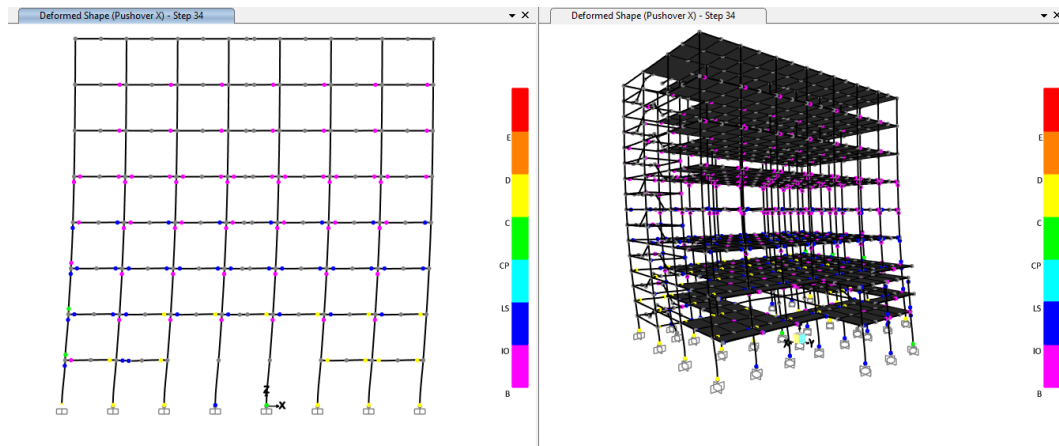
Sendi pada kolom untuk arah X terjadi pada step-2, dimana telah mulai muncul titik-titik plastis berwarna ungu pada kolom lantai pertama. Sendi plastis berada pada level kinerja B dikarenakan memiliki warna ungu. Langkah sendi plastis yang terjadi pada kolom dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 5.35 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis pada Kolom Arah X**

c. Step akhir sendi plastis

Pada step ke-34 program SAP2000 berhenti melakukan iterasi sehingga hanya didapatkan hasil sendi plastis hingga step-34. Sendi plastis pada kolom terjadi pada kolom terjadi dari kolom lantai pertama hingga lantai ke-5. Dimana pada kolom lantai pertama terdapat beberapa kolom yang mencapai level kinerja C. Kemudian untuk balok terdapat balok yang telah mencapai level kinerja C.

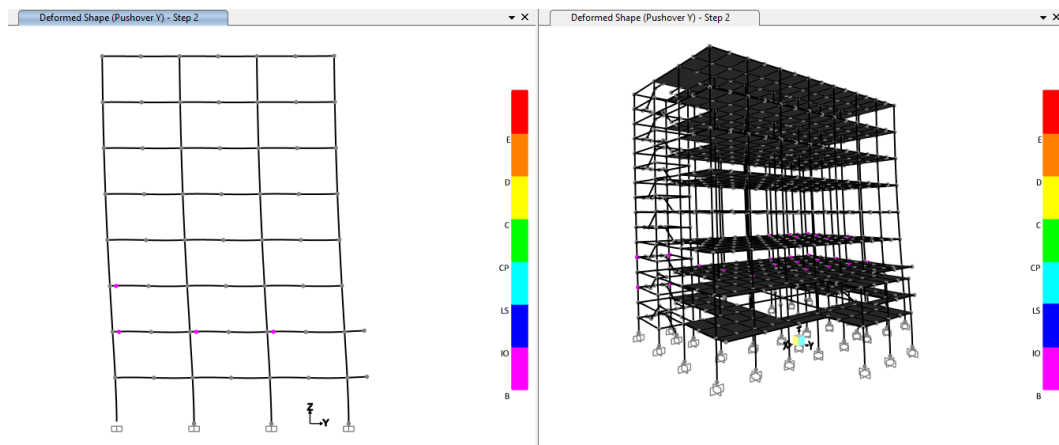


**Gambar 5.36 Step Akhir Sendi Platis Arah X**

## 2. Sendi Plastis *Pushover* Arah Y

### a. Step awal terjadi sendi plastis

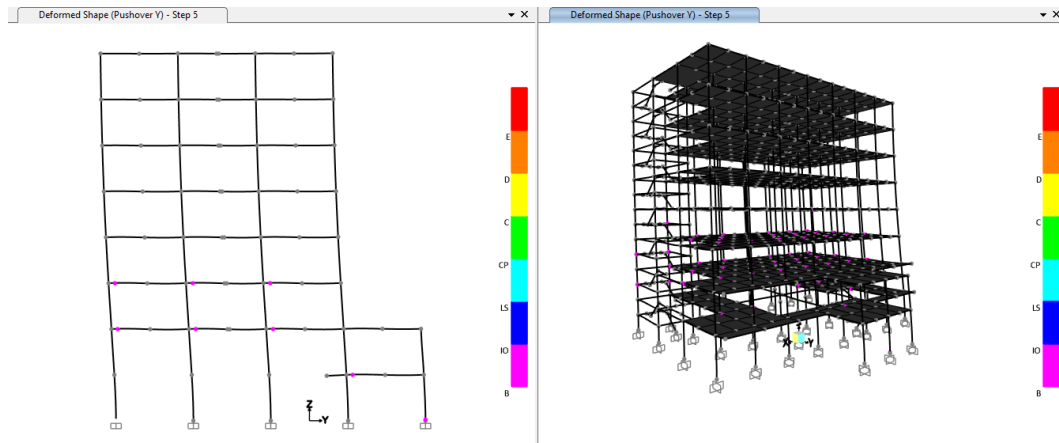
Sendi plastis pada arah Y mulai terjadi pada balok pada step-2, dimana telah muncul titik-titik plastis berwarna ungu pada beberapa balok yang berarti sendi plastis berada pada level kinerja B. Langkah sendi plastis yang terjadi dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 5.37 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Arah Y**

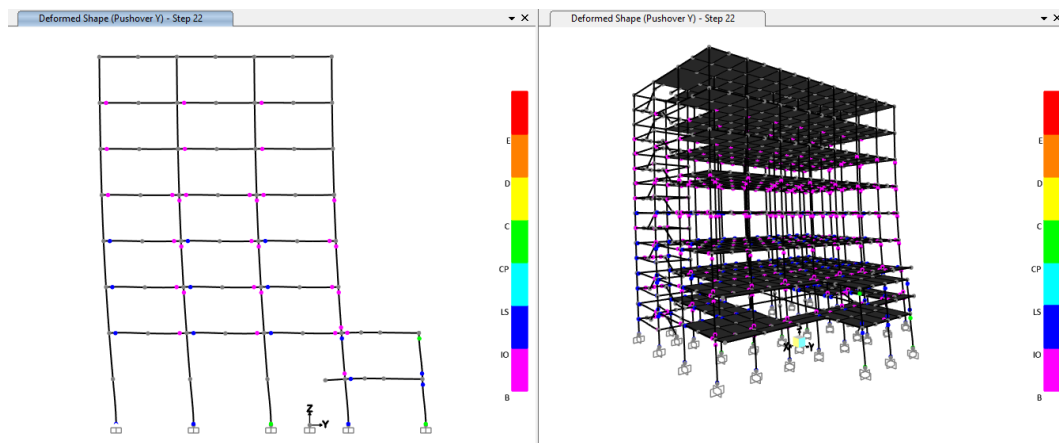
### b. Step awal terjadinya sendi plastis pada kolom

Sendi pada kolom untuk arah Y terjadi pada step-5, dimana telah mulai muncul titik-titik plastis berwarna ungu pada lantai pertama. Sendi plastis berada pada level kinerja B dikarenakan memiliki warna ungu. Langkah sendi plastis yang terjadi pada kolom dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 5.38 Step Awal Terjadinya Sendi Plastis pada Kolom Arah Y**  
c. Step akhir sendi plastis

Pada step ke 22 program SAP2000 berhenti melakukan iterasi sehingga hanya didapatkan skema sendi plastis hingga step-22. Terdapat kolom yang mengalami sendi plastis dengan kondisi CP yang ditandai dengan titik warna hijau pada program SAP2000. Kemudian terdapat kolom dan balok yang mengalami kondisi B seta IO yang ditandai dengan titik warna ungu dan biru pada program SAP2000. Step sendi plastis yang terjadi dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 5.39 Step Akhir Sendi Plastis Arah Y**

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Setelah dilakukannya analisis dan evaluasi terhadap kinerja pada struktur bangunan Gedung Mall Bertingkat Banyak maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

Setelah dilakukannya analisis dan evaluasi terhadap kinerja pada struktur bangunan Gedung Mall Bertingkat Banyak maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan kurva kapasitas yang telah didapatkan terlihat kurva kapasitas X memiliki bentuk yang lebih landai daripada kurva kapasitas Y. Hal tersebut menunjukkan bahwa *base force* yang terjadi pada arah y lebih besar daripada pada arah X. Dengan adanya hal tersebut menunjukkan bahwa arah Y lebih kaku dibandingkan dengan arah X karena perpindahan yang terjadi lebih kecil.
2. Nilai *performance point* yang diperoleh untuk arah X yaitu  $V_t = 27594,093$  kN  $\delta_t = 0,175$  m,  $S_a = 0,59$ ,  $S_d = 0,147$ ,  $T_{eff} = 0,992$ , dan  $B_{eff} = 0,198$ . Kemudian untuk arah Y yaitu  $V_t = 29680,384$  kN,  $\delta_t = 0,002054$  m,  $S_a = 0,634$ ,  $S_d = 0,158$ ,  $T_{eff} = 1,003$ , dan  $B_{eff} = 0,172$ . Dari nilai *performance point* yang diperoleh tersebut didapatkan tingkat kinerja struktur dari gedung adalah *Immediate Occupancy* (IO) dimana kondisi bangunan aman pada saat terjadi gempa, risiko adanya korban jiwa dan terjadinya kegagalan struktur tidak terlalu berarti. Gedung tidak mengalami kerusakan yang berarti dan gedung dapat segera difungsikan kembali.
3. Skema sendi plastis yaitu awal mula terjadinya sendi plastis pada arah X pada step-1 dan arah y pada step ke-2 yang ditandai dengan munculnya titik sendi plastis berwarna ungu dimana struktur berada pada level kinerja B. Kemudian untuk sendi plastis kolom untuk arah X terjadi pada step-2 dan arah Y pada step-5, untuk kolom arah X dan kolom arah Y sendi plastis berada pada level kinerja

B. Sendi plastis berakhir untuk arah X pada step-34 dan untuk arah Y terjadi pada step-22, untuk arah X terdapat kolom dan balok yang mengalami level kinerja C. Untuk arah Y terdapat kolom yang mencapai level kinerja CP serta terdapat balok yang mengalami sendi plastis dengan level kinerja B dan IO. Pada gedung ini terjadi kerusakan yang parah pada struktur pada beberapa elemen strukturnya, dan terdapat elemen struktur yang telah mencapai batasan gaya geser yang masih mampu oleh ditahan oleh struktur tersebut. Namun pada gedung ini tidak mengalami kehancuran total..

## 6.2 Saran

Saran untuk pengembangan lanjutan tentang penelitian analisis *pushover* kedepannya sebagai berikut.

1. Menggunakan komputer dengan spesifikasi yang tinggi agar dapat mempercepat dan memperlancar proses *running* dan juga memperkecil kemungkinan terjadinya kegagalan pada saat melakukan analisis dengan menggunakan program SAP2000.
2. Dapat ditambahkan metode lain seperti dengan FEMA 356 dan FEMA 440 dalam analisis hasil *pushover* sebagai pembanding dengan metode ATC-40.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, N. R. (2010). *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP 2000*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Cipto Utomo, R. I. (2012). *Evaluasi Struktur Dengan Pushover Analysis pada Gedung Kalibata Residence Jakarta*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Dewobroto, W. (2006). *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*. Jakarta: Jurusan Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan.
- Dewobroto, W. (2006). *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*. Jakarta: Jurusan Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan.
- Indrawan, I. E. (2022). *Analisis Perubahan Respons Struktur Gedung Akibat Alih Fungsi Bangunan Studi Kasus Hotel Mutiara Yogyakarta*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Marianda, D. (2016). *Evaluasi Struktur Gedung Asrama Mahasiswi UGM Yogyakarta Menggunakan Analisa Pushover Sesuai Pedoman ATC-40*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Nasional, B. S. (2019). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 03-1726-2019*. Jakarta.
- Nasional, B. S. (2020). *Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 03-1727-2020*. Jakarta.
- Nugraha, H. (2021). *Evaluasi Kinerja Seismik Gedung APSLC UGM Dengan Metode Analisis Pushover Sesuai Peraturan SNI 1726-2019*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Pranata, Y. A. (2006). *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis*. Bandung: Universitas Kristen Maranatha.
- Rifki, M. (2019). *Evaluasi Keruapuhan Seismik Pada Struktur Gedung Kuliah Twin Building UMY Menurut SNI 1726-2012*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Solamat, L. A. (2018). *Studi Komparasi Terhadap Level Kinerja Struktur Pada Kondisi Eksisting dan Kondisi Pasca Perbaikan Perkuatan dengan Analisis*

*Pushover Studi Kasus Gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia.* Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

Tavio, & Wijaya, U. (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja.* Yogyakarta: Andi Offset.

Widodo, P. (2012). *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan.* Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Yunus. (2015). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Apartemen dan Hotel Mataram City.* Tesis.



# LAMPIRAN