



**ANALISIS KINERJA STRUKTUR GEDUNG DP MALL SEMARANG
DENGAN METODE PUSHOVER**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana, pada program
studi S1 Teknik Sipil*

SKRIPSI

**Oleh
R. Ilham Ahsan Nurrasyid
211910301048**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
S1 TEKNIK SIPIL
JEMBER
2025**

PERSEMBAHAN

Dengan penuh syukur dan kerendahan hati, skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT, yang senantiasa memberikan rahmat, petunjuk, dan kekuatan kepada saya untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua tercinta, Ayah dan Ibu, yang selalu memberikan cinta, doa, dukungan, dan semangat tanpa henti. Kalian adalah inspirasi terbesar dalam hidup saya.
3. Keluarga tersayang, yang selalu ada untuk memberikan kehangatan, pengertian, dan dorongan di setiap langkah perjalanan saya.
4. Dosen pembimbing dan pengajar, yang dengan tulus memberikan bimbingan, ilmu, dan arahan hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Sahabat-sahabat terbaik serta teman-teman angkatan 21, yang selalu memberikan motivasi, kebersamaan, dan tawa di saat-saat sulit maupun bahagia.
6. Universitas Jember, sebagai tempat saya menimba ilmu dan mengejar mimpi.

Semoga karya sederhana ini dapat bermanfaat dan menjadi langkah kecil menuju masa depan yang lebih baik.

MOTTO

“Hai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan shalat sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar.”

(QS. Al-Baqarah: 153)

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi pula kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui”

(QS. Al-Baqarah: 216)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : R. Ilham Ahsan Nurrasyid

NIM : 211910301048

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “*Analisis Kinerja Struktur Gedung DP Mall Semarang dengan Metode Pushover*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 13 Januari 2025

Yang menyatakan,

R. Ilham Ahsan Nurrasyid

NIM 211910301048

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul "*Analisis Kinerja Struktur Gedung DP Mall Semarang dengan Metode Pushover*" telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

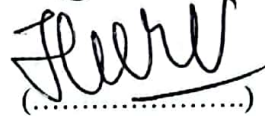
Hari : Rabu
Tanggal : 8 Januari 2025
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing

1. Pembimbing Utama
Nama : Ir. Dwi Nurtanto, S.T., M.T.
NIP : 197310151998021001
2. Pembimbing Anggota
Nama : Dr. Ir. Krisnamurti, M.T.
NIP : 196612281999031002

Tanda Tangan


(.....)


(.....)

Penguji

1. Penguji Utama
Nama : Dr. Erno Widayanto, S.T., M.T.
NIP : 197004191998031002
2. Penguji Anggota 1
Nama : Dr. Ketut Aswatama Wiswamitra, S.T., M.T.
NIP : 197007132000121001


(.....)


(.....)

ABSTRAK

Bangunan tahan gempa menjadi fokus utama dalam perencanaan struktur gedung bertingkat di wilayah rawan gempa seperti Indonesia. Penelitian ini menganalisis kinerja struktur Gedung DP Mall Semarang menggunakan metode pushover untuk mengevaluasi kemampuan struktur terhadap beban gempa. Gedung ini memiliki konfigurasi struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dengan karakteristik yang mencakup ketidakberaturan horizontal dan vertikal. Analisis dilakukan melalui simulasi perangkat lunak berbasis komputer dengan pendekatan ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa displacement maksimum terhadap respons spektrum adalah 220 mm untuk sumbu X dan 223,61 mm untuk sumbu Y, sementara displacement akibat beban pushover mencapai 435,93 mm (X) dan 513,65 mm (Y). Kinerja struktur gedung berada pada tahap Immediate Occupancy (IO), yang berarti bangunan masih aman untuk digunakan dengan kerusakan elemen non-struktural minimal. Analisis juga mengidentifikasi titik kerusakan awal pada balok B1566 dengan momen lentur sebesar 59.326,42 kN. Penelitian ini memberikan panduan penting dalam desain dan evaluasi struktur tahan gempa untuk meningkatkan keamanan bangunan bertingkat

Kata Kunci : Pushover, Perpindahan, Kinerja, FEMA, ATC-40

ABSTRACT

Earthquake-resistant buildings are a primary focus in the structural planning of high-rise buildings in earthquake-prone areas like Indonesia. This study analyzes the structural performance of the DP Mall Semarang building using the pushover method to evaluate its capacity to withstand seismic loads. The building features a special moment-resisting frame (SMRF) structure with characteristics that include both horizontal and vertical irregularities. The analysis was conducted using computer-based software simulations with the ATC-40, FEMA 356, and FEMA 440 approaches.

The results indicate that the maximum displacement under spectral response is 220 mm in the X-axis and 223,61 mm in the Y-axis, while displacement due to pushover loads reaches 435,97 mm (X) and 513,65 mm (Y). The building's structural performance is categorized as Immediate Occupancy (IO), meaning the building remains safe for occupancy with minimal non-structural damage. The analysis also identifies the initial damage point in beam B1566 with a bending moment of 59.326,42 kN. This study provides valuable guidance in designing and evaluating earthquake-resistant structures to enhance the safety of high-rise buildings.

Keywords : Pushover, Displacement, Performance , FEMA, ATC-40

RINGKASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja struktur Gedung DP Mall Semarang terhadap beban gempa menggunakan metode pushover. Gedung ini memiliki konfigurasi Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), yang dirancang untuk memberikan fleksibilitas tinggi dalam menahan gaya lateral akibat gempa. Dengan lokasi di daerah rawan gempa, analisis ini menjadi penting untuk memahami bagaimana gedung ini dapat bertahan dalam kondisi kritis, sekaligus memberikan panduan dalam desain struktur yang aman dan efisien.

Metode yang digunakan melibatkan perangkat lunak berbasis analisis non-linear dengan pendekatan ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440. Penelitian ini mengevaluasi parameter kinerja seperti displacement, gaya geser dasar, serta tingkat kerusakan struktur. Data-data yang dianalisis meliputi informasi struktur gedung, seperti dimensi balok dan kolom, mutu beton, dan distribusi beban, yang diperoleh dari gambar teknis dan hasil uji tanah lokasi.

Hasil analisis menunjukkan bahwa displacement maksimum akibat spektrum respons mencapai 220 mm pada sumbu X dan 223,61 mm pada sumbu Y. Sementara itu, displacement akibat gaya pushover lebih besar, yaitu 435,93 mm pada sumbu X dan 513,65 mm pada sumbu Y. Kinerja struktur gedung dikategorikan pada tahap Immediate Occupancy (IO), yang berarti gedung masih aman untuk dihuni dengan kerusakan elemen non-struktural yang minimal. Kerusakan awal teridentifikasi pada balok B1566 di lantai pertama, dengan momen lentur sebesar 59.326,42 kN. Hal ini menunjukkan bahwa elemen-elemen utama struktur masih mampu menahan beban gempa tanpa mengganggu stabilitas keseluruhan gedung.

Selain displacement, penelitian ini juga mengidentifikasi ketidakberaturan struktur, baik secara horizontal maupun vertikal. Ketidakberaturan horizontal terlihat dari grafik perpindahan yang melebihi rasio batas yang diizinkan, sedangkan ketidakberaturan vertikal terjadi pada kolom miring di lokasi tertentu. Meskipun demikian, struktur gedung tetap dapat memenuhi kriteria keselamatan sesuai dengan standar SNI 1726-2019.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa Gedung DP Mall Semarang mampu menahan beban gempa dengan kinerja struktur yang baik pada tingkat Immediate Occupancy (IO). Gedung ini masih dapat digunakan tanpa perbaikan signifikan pada elemen struktural. Namun, untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan melakukan analisis lebih mendalam terhadap pola keruntuhan struktur dan potensi kerusakan elemen tertentu yang dapat memengaruhi umur layanan gedung. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memahami kinerja struktur gedung bertingkat di wilayah rawan gempa serta menjadi referensi dalam desain dan evaluasi bangunan tahan gempa.

PRAKATA

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Kinerja Struktur Gedung DP Mall Semarang dengan Metode Pushover” ini tepat pada waktunya. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada S1 Teknik Sipil di Universitas Jember.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, saya menyadari bahwa hasil yang dicapai tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik.
2. Dr. Ketut Aswatama Wiswamitra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Jember dan Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Jember.
3. Ir. Dwi Nurtanto, S.T., M.T. dan Dr. Ir. Krisnamurti, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, ilmu, dan arahan selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Tatang Maulana Maliq, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik dan seluruh dosen staf Teknik Sipil di Universitas Jember, atas segala ilmu dan pengalaman berharga selama masa studi.
5. Kedua Orang Tua, Ayahanda Ating Setiawan, S.T. dan Ibunda Rr. Farina Yulaicha Saraswati, S.T. atas cinta, doa, dan dukungan yang tak pernah henti.
6. Kepada teman, sahabat, keluarga saya di jember Hafadz, Daffa, Fery, Iwan, Lutfi, Yogi, Igo serta teman-teman Teknik Sipil angkatan 2021 atas bantuan dalam pengerjaan skripsi ini .
7. Keluarga Daddyka, atas kebersamaan, motivasi, dan bantuan selama masa studi.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, sehingga saya sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun untuk memperbaiki

karya ini. Harapan saya, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi sumbangan kecil untuk pengembangan ilmu pengetahuan.

Akhir kata, saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu atas dukungannya selama proses penyelesaian skripsi ini.

Jember, 13 Januari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO.....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN.....	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vi
RINGKASAN.....	vii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Konsep Dasar Mekanisme Gempa.....	4
2.2. Sistem Stuktur.....	5
2.3. Pembebanan.....	6
2.4. Kombinasi Pembebanan.....	7
2.5. Klasifikasi Situs Untuk Desain Seismik.....	7
2.6. Simpangan Antar Lantai.....	10
2.7. Analisis Pushover.....	11
BAB 3. METODOLOGI.....	13
3.1. Lokasi Penelitian.....	13
3.2. Tahapan Penelitian.....	14

3.3.	Diagram Alir (<i>Flowchart</i>)	15
BAB 4.	PEMBAHASAN	17
4.1.	Konfigurasi dan Data Input Gedung	17
4.2.	Analisis Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	19
4.3.	Kategori Kelas Situs.....	20
4.4.	Desain Seismik.....	21
4.5.	Validasi.....	22
4.6.	Klasifikasi Situs Untuk Desain Seismik	23
4.7.	Kontrol Partisipasi.....	25
4.8.	Kontrol Periode	26
4.9.	Gaya Geser Dasar.....	27
4.10.	Penskalaan Gempa	28
4.11.	Analisis Puhover	29
4.12.	Ketidakteraturan Bangunan.....	34
4.13.	Perpindahan (<i>Displacement</i>)	35
BAB 5.	KESIMPULAN	37
5.1.	Kesimpulan	37
5.2.	Saran.....	37
DAFTAR	PUSTAKA	38
LAMPIRAN	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Spektrum Respons Desain.....	10
Gambar 2. 2 Penentuan simpangan antar lantai	10
Gambar 3. 1 Lokasi DP Mall Semarang	13
Gambar 3. 2 Gambar Site Plan DP Mall Expansion	13
Gambar 4. 1. Pengolahan Data SPT	20
Gambar 4. 2. Respon Spektrum Desain	21
Gambar 4. 3. Validasi Error	23
Gambar 4. 4. Input Relative Distance	29
Gambar 4. 5. Input Load Case Pushover	30
Gambar 4. 6. Hasil Analisis ATC-40.....	31
Gambar 4. 7 Potongan Sebelum Terjadinya Evaluasi Kinerja	32
Gambar 4. 8. Potongan Titik Terjadinya Immediate Occupancy	33
Gambar 4. 9. Hasil Analisis Hinge B1455	33
Gambar 4. 10. Grafik Ketidakberaturan Horizontal.....	34
Gambar 4. 11 Denah Parsial Kolom.....	35
Gambar 4. 12. Displacement Gaya Gempa.....	35
Gambar 4. 13. Grafik Simpangan Antar Tingkat	36
Gambar 4. 14. Grafik Displacement Akibat Pushover.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kuat Geser Nominal Joint.....	6
Tabel 2. 2. Klasifikasi Situs.....	8
Tabel 4. 1. Konfigurasi Tingkat.....	17
Tabel 4. 2 Notasi dan Tebal Pelat.....	17
Tabel 4. 3. Beban Mati Gedung	18
Tabel 4. 4. Beban Mati Tambahan.....	18
Tabel 4. 5. Detail Tulangan Balok.....	19
Tabel 4. 6. Hasil Analisis SPRMK.....	20
Tabel 4. 7. Hasil Kategori Kelas Situs	21
Tabel 4. 8. Parameter Respon Spektrum	22
Tabel 4. 9. Validasi Perhitungan.....	22
Tabel 4. 10 Modal Partisipasi Massa.....	25
Tabel 4. 11. Mass Story	27
Tabel 4. 12. Koefisien ATC-40.....	30
Tabel 4. 13. Perhitungan FEMA Coefficient.....	31
Tabel 4. 14. Kinerja Lever Struktur Gedung.....	32

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Koefisien situs F_a	40
Lampiran 1. 2 Koefisien Situs F_v	40
Lampiran 1. 3 Parameter Percepatan Spektral Desain	41
Lampiran 1. 4 Parameter Gempa	41
Lampiran 1. 5 Kontrol Periode.....	41
Lampiran 1. 6 Gaya Geser Dasar	42
Lampiran 1. 7 Penskalaan Gempa.....	42
Lampiran 1. 8. Input Displacement Control	43
Lampiran 1. 9. Input Jumlah States.....	44
Lampiran 1. 10. Input Beban Load Case Gedung	44
Lampiran 1. 11. Hasil Perhitungan Story Displacement Bangunan.....	45
Lampiran 1. 12 Hasil Base Shear Pushover	45
Lampiran 1. 13 Faktor Keutamaan Gempa	45
Lampiran 1. 14 Koefisien Batas Atas Periode Hitung	46
Lampiran 1. 15 Nilai Parameter C_t dan α	46
Lampiran 1. 16 Simpangan Antar Tingkat Izin	46
Lampiran 1. 17 Gambar Scan Lampiran	46

DAFTAR NOTASI

d_s	= Kedalaman air pada lubang sistem drainase sekunder yang meningkat
d_h	= Tambahan kedalaman air pada atap diatas lubang masuk sistem drainase
S_{s_p}	= Parameter respon spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek.
S_{s_l}	= Parameter respon spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik
S_{DS}	= parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek;
S_{D1}	= parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;
T	= periode getar fundamental struktur.
T_L	= Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 yang nilainya diambil dari Gambar 4.2
δ_{xe}	= simpangan di tingkat-x yang disyaratkan pada pasal ini, yang ditentukan dengan analisis elastik
C_d	= faktor pembesaran simpangan lateral
I_e	= faktor keutamaan gempa
δ_t	= Target perpindahan
T_e	= Waktu getar alami efektif
C_0	= koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spectral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama atau berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA 356.
C_1	= faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastic maksimum dengan perpindahan respons elastik linier. Nilai $C_1 = 1,0$ untuk $T_e > T_s$ dan untuk $T_e < T_s$
C_2	= koefisien untuk memperhitungkan efek "pinching" dari hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan.
C_3	= koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P_{delta} . Untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh bernilai positif maka $C_3 = 1,0$. Sedangkan untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh negatif.
a	= rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastis efektif
R	= rasio "kuat elastis perlu" terhadap "koefisien kuat leleh terhitung".
S_a	= akselerasi respon spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.
V_y	= gaya geser dasar pada saat leleh.
W	= total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi.
C_m	= faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 dari FEMA 356
S_a	= <i>Spectral acceleration</i>
S_d	= <i>Spectral displacement</i>
PF_1	= <i>modal participation</i> untuk modal pertama
a_1	= <i>modal mass coefficient</i> untuk modal pertama
ϕ_1	= <i>amplitude of first</i> untuk level i
V	= gaya deser dasar
W	= beban mati bangunan ditambah beban atap
Δ_{roof}	= <i>roof displacement</i>

w_i/g = masa pada level i

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bangunan perbelanjaan pasti menjadi pusat aktifitas massa pada suatu daerah. Dengan kebutuhan masyarakat yang tinggi, keamanan dan kenyamanan sudah menjadi standart bagi suatu bangunan. Potensi terjadinya keruntuhan pada bangunan menjadi permasalahan yang dapat dikaji. Indonesia sendiri merupakan dataran yang dilalui oleh tiga lempeng tektonik.

Meskipun ada berbagai masalah kompleks terkait gempa bumi dan bentuk bangunan yang tidak simetris, tugas utama para ahli dan praktisi, terutama di bidang teknik sipil, adalah menciptakan tatanan baru dalam desain bangunan tahan gempa yang lebih baik. Tujuannya bukan hanya untuk menciptakan struktur bangunan yang lebih kuat dan tahan gempa, tetapi juga untuk menjamin keamanan dan kenyamanan bagi setiap orang yang berada di dalam bangunan tersebut. Salah satu metode analisis untuk gedung bertingkat dalam menghadapi pengaruh gempa adalah analisis pushover, yang membantu memahami perilaku struktur di bawah tekanan gempa dan meningkatkan ketahanan bangunan. (Manalip et al., 2014).

Bangunan di daerah rawan gempa perlu dirancang agar bisa tahan gempa. Tren perencanaan terbaru adalah performance based seismic design, yang menggunakan teknik analisis non-linier berbasis komputer untuk mempelajari perilaku struktur saat menghadapi berbagai intensitas gempa. Dengan cara ini, kita bisa mengetahui bagaimana kinerja bangunan saat kondisi kritis. (Wiryanto, 2005).

Ada beberapa cara untuk menganalisis gedung tahan gempa dalam perencanaan, salah satunya adalah dengan menggunakan metode analisis pushover. Analisis Pushover adalah analisis nonlinier yang digunakan untuk memahami bagaimana struktur bangunan akan runtuh, mulai dari kondisi elastis, plastis, hingga elemen strukturnya rusak. Analisis ini fokus pada komponen balok dan kolom dengan menunjukkan skema terbentuknya sendi plastis pada balok dan kolom. Hasil analisis ini kemudian digunakan untuk menentukan level kinerja dan perilaku gedung baja tersebut. (Nugraha et al., 2022).

Mengingat lokasi pada proyek ini berada di Kota Semarang, yang merupakan sisi ujung utara dari Kota Yogyakarta. Pada kota tersebut pula tempat bertemunya dua lempeng dunia, atau biasa disebut sebagai palung Jawa. Potensi berbahaya dari palung tersebut patut diwaspadai akan terjadinya gempa dimasa yang datang.

Gedung DP Mall Semarang memiliki karakteristik tertentu yang mengharuskan dilakukannya analisis pushover. Salah satu faktor yang memerlukan perhatian adalah konfigurasi peletakan kolom yang miring dan tidak sejajar dengan kolom lainnya, khususnya pada kolom C6 dari lantai 1 hingga lantai P1 yang sengaja dibuat miring. Kondisi ini penting untuk diperhatikan dalam menilai kinerja struktur gedung tersebut. Oleh karena itu, timbul ide untuk melakukan analisis kinerja terhadap gedung ini. Analisis ini dapat memprediksi hal ini lebih akurat karena mempertimbangkan perilaku inelastis struktur. Hal tersebut dapat membantu mengetahui bagian penting yang mencapai titik kritis selama diberikan beban gempa yang harus menjadi perhatian selama perancangan.

Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726-2019 menjelaskan bahwa analisis pushover merupakan metode analisis statik yang dapat dilakukan dalam dua atau tiga dimensi, baik secara linier maupun non-linier. Metode ini memperlakukan dampak gempa yang direncanakan pada struktur bangunan sebagai serangkaian beban statik. Beban ini diterapkan pada pusat massa setiap lantai bangunan dan nilainya dinaikkan secara bertahap. Proses ini berlanjut hingga melebihi beban yang mengakibatkan terbentuknya sendi plastis pertama dalam struktur, yang menandakan mulainya pelelehan. Dengan penambahan beban yang terus menerus, struktur tersebut akan mengalami deformasi elasto-plastis yang signifikan hingga hampir mencapai titik runtuh.

Evaluasi kinerja juga menjadi hal yang harus diperhatikan. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui target peralihan. Beberapa metode yang dilakukan untuk mengetahui parameter yang digunakan dalam menentukan kriteria kinerja struktur seperti : metode *displacement coefficient* (FEMA 356 dan FEMA 440) persyaratan peralihan dari SNI 1726-2002, metode *capacity spectrum* (ATC-40).

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini yaitu :

1. Berapa nilai simpangan, simpangan antar tingkat, gaya geser pada struktur gedung DP Mall Semarang?
2. Pada step ke-berapa titik kritis terjadi yang terjadi pada struktur gedung DP Mall Semarang?
3. Bagaimana kinerja struktur gedung DP Mall Semarang saat menerima beban pushover?

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada hal hal sebagai berikut :

1. Fungsi bangunan yaitu Mall.
2. Perhitungan dibantu dengan menggunakan alat bantu komputer.
3. Tidak mendesain struktur bawah.
4. Analisis ditinjau dengan 3 dimensi.
5. Penggunaan beban gempa pada wilayah jawa tengah.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui nilai simpangan, simpangan antar tingkat, gaya geser pada struktur gedung DP Mall Semarang.
2. Mengetahui step kerutuhan yang terjadi pada struktur gedung DP Mall Semarang.
3. Mengetahui kinerja struktur gedung DP Mall Semarang saat menerima beban pushover?

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan ataupun usulan alternatif dalam perencanaan struktur gedung bertingkat tahan gempa. Memberikan pengetahuan dalam menerapkan analisis push over dengan bantuan alat hitung komputer.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Dasar Mekanisme Gempa

Gempa bumi terjadi akibat pergerakan lempeng tektonik yang menyebabkan penumpukan tegangan di kerak bumi. Ketika tegangan ini dilepaskan secara tiba-tiba, gelombang seismik terbentuk dan merambat melalui bumi. Terdapat dua jenis utama gelombang seismik: Gelombang Primer (P-wave) yang cepat dan kompresi, serta Gelombang Sekunder (S-wave) yang lebih lambat dan lebih merusak. Selain itu, gelombang permukaan yang bergerak lambat tetapi beramplitudo besar sering menyebabkan kerusakan signifikan pada bangunan.

Bangunan merespons gempa berdasarkan struktur dan desainnya. Jika frekuensi getaran gempa mendekati frekuensi alami bangunan, resonansi dapat terjadi, memperbesar getaran dan meningkatkan risiko kerusakan. Gaya horizontal besar dihasilkan oleh inersia ketika dasar bangunan bergerak sementara bagian atas tetap diam. Oleh karena itu, desain bangunan harus mampu menyerap dan mendisipasi energi seismik untuk mengurangi gaya yang dirasakan.

Untuk membuat bangunan tahan gempa, beberapa teknik desain diterapkan. Desain fleksibel menggunakan bahan dan teknik yang memungkinkan bangunan berayun dan menyerap energi tanpa runtuh. Sistem peredam getaran seperti isolator dasar dan peredam massa bergantung dapat mengurangi getaran yang diterima bangunan. Konstruksi rangka kaku, menggunakan rangka baja atau beton bertulang, dapat menahan gaya horizontal dan vertikal. Dinding geser dan penopang menambah kekakuan horizontal untuk mengurangi perpindahan lateral. Distribusi massa dan kekuatan yang merata penting untuk menghindari ketidakstabilan selama gempa.

Dengan memahami mekanisme gempa dan respons bangunan, serta menerapkan teknik desain tahan gempa, kita dapat meningkatkan keselamatan dan mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh gempa bumi.

Setiap kali terjadi gempa bumi, seismograf akan merekam informasi seismik dalam bentuk gelombang seismik. Data yang terekam ini, yang dikenal sebagai seismogram, kemudian dikumpulkan, diproses, dan dianalisis untuk menentukan parameter gempa bumi. Parameter tersebut termasuk waktu terjadinya gempa, posisi episenter, kedalaman hiposenter, dan magnitudo gempa.

2.2. Sistem Stuktur

Sistem rangka pemikul momen (Moment Resisting Frame) adalah salah satu sistem struktur yang paling umum digunakan untuk membangun gedung yang tahan gempa. Sistem ini terdiri dari rangka baja atau beton bertulang yang dirancang untuk menahan gaya-gaya lateral yang dihasilkan oleh gempa bumi dengan memanfaatkan momen-momen yang terbentuk akibat perpindahan horisontal.

Terdapat 3 jenis rangka pemikul momen (RPM) menurut SNI-03-1726-2019 :

SRPMB : Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa

SRPMM : Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

SRPMK : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Sistem rangka pemikul yang digunakan oleh gedung ini yaitu SRPMK yang didesain agar memiliki daktilitas yang tinggi selama gempa berlangsung dikarenakan karakteristik sistem rangka ini memiliki sifat fleksibilitas yang tinggi. Berdasarkan Tabel 3 dalam SNI 03-1726-2019, nilai pengurangan beban atau R_m yang ditetapkan adalah 8.

Dalam SNI 2847-2019 pasal 18.6 dijelaskan terkait persyaratan balok pada sistem rangka pemikul momen khusus harus memenuhi poin dibawah ini :

- Bentang bersih (l_n) minimal $4d$
- Lebar penampang (B_w) lebih dari nilai $0,3h$
- Lebar minimum penampang 250 mm
- Lebar balok tidak boleh melebihi lebar terkecil kolom (c_2) dan $0,75c_1$ pada masing masing kolom

Dalam pasal 18.8 juga dijelaskan terkait joint harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan tarik lentur yaitu $1,25 f_y$. Kekuatan geser pada nominal joint V_n ditentukan sesuai Tabel 18.8.4.

Tabel 2. 1 Kuat Geser Nominal Joint

Konfigurasi Joint	V_n
Untuk balok terkekang 4 sisinya	$1,7\lambda\sqrt{f'c}A_j$
Untuk balok terkekang pada 2 atau 3 sisi berlawanan	$1,2\lambda\sqrt{f'c}A$
Untuk kasus lain	$1,0\lambda\sqrt{f'c}A_j$

2.3. Pembebanan

Dalam perancangan bangunan diharapkan mampu menahan beban yang bekerja pada struktur tersebut. Beban tersebut harus memenuhi peraturan- peraturan yang berlaku, sebagai dasaran yang digunakan yaitu SNI 1727:2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk gedung dan struktur lain. Beban tersebut terbagi dalam berbagai macam antara lain beban mati, beban hidup, beban gempa.

2.3.1. Beban Mati

Beban mati sendiri merupakan beban yang bersifat tetap atau bagian dari struktur gedung. Dalam SNI 1727:2020 dijelaskan macam macam beban yang termasuk yaitu lantai, atap, dinding, tangga, plafon, dinding partisi tetap, beserta komponen komponen struktur atau arsitektural lainnya.

2.3.2. Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh penghuni gedung atau struktur lain yang tidak termasuk dalam beban konstruksi. Beban ini dihitung berdasarkan fungsi dari bangunan tersebut selama masa layan struktur.

2.3.3. Beban Hujan

Pembeban hujan dirancang agar setiap bagian atap dapat menahan beban dari air hujan yang terakumulasi apabila sistem drainase pada bagian tersebut terhambat. Menurut standar SNI 1727-2020, perhitungan beban air hujan yang menumpu pada atap bangunan dilakukan dengan rumus :

$$R = 0,0098(d_s + d_n) \quad (2.1)$$

2.3.4. Beban Gempa

Beban gempa adalah beban statik ekuivalen yang diterapkan pada gedung atau bagian gedung yang bergerak sesuai dengan arah gerakan tanah akibat gempa bumi. Beban ini penting untuk diperhitungkan dalam perancangan bangunan tahan gempa, karena memungkinkan para insinyur untuk memahami bagaimana bangunan akan bereaksi terhadap getaran tanah. Dengan memperhitungkan beban gempa, struktur bangunan dapat dirancang agar lebih aman dan stabil saat terjadi gempa, mengurangi risiko kerusakan dan menjaga keselamatan penghuni.

2.4. Kombinasi Pembebanan

Menurut SNI 2847-2019 pada halaman 84 kombinasi dasar pembebanan yang digunakan yaitu sebagai berikut :

1. $1,4 D$ (2.2)

2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$ (2.3)

3. $1,2 D + 1,0 E + 1,0 L$ (2.4)

4. $0,9 D + 1,0 E$ (2.5)

2.5. Klasifikasi Situs Untuk Desain Seismik

Klasifikasi suatu situs dilakukan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi yang diperlukan pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs tertentu, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs itu harus diklasifikasikan sesuai dengan tabel yang diberikan pada lampiran, berdasarkan profil tanah lapisan 30 meter paling atas.

Untuk menentukan kelas situs, diperlukan penelitian tanah yang melibatkan pengujian di lapangan dan laboratorium oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat. Penelitian ini harus mencakup paling tidak dua dari tiga parameter tanah. Jika kondisi tanah situs lebih buruk, maka kelas situs yang

sesuai dengan kondisi tersebut harus diterapkan. Jika data tanah spesifik untuk situs hingga kedalaman 30 meter tidak ada, maka karakteristik tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik bersertifikat yang membuat laporan investigasi berdasarkan kondisi geoteknik. Kelas situs SA dan SB tidak boleh diperkenankan jika ada lebih dari 3 meter lapisan tanah di antara dasar fondasi dan permukaan batuan dasar sesuai dengan SNI 1726-2019. Berikut merupakan tabel klasifikasi situs pada pasal 5.3.

Tabel 2. 2. Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

Data borlog yang didapatkan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=0}^n d_i}{\sum_{i=0}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (2.6)$$

2.5.1. Parameter Percepatan Gempa

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi ini mencakup faktor amplifikasi getaran untuk percepatan pada periode pendek (Fa) dan faktor amplifikasi untuk percepatan pada periode 1 detik (Fv). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1), yang disesuaikan dengan klasifikasi situs, harus ditentukan dengan rumus berikut ini :

$$S_{ms} = F_a S_s \quad (2.7)$$

$$S_{m1} = F_v S_1 \quad (2.8)$$

2.5.2. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.9)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.10)$$

2.5.3. Spektrum Respons Desain

Jika spektrum respons desain dibutuhkan oleh prosedur ini dan tidak menggunakan prosedur gerak tanah yang khusus untuk lokasi tertentu, maka kurva spektrum respons desain harus dibuat berdasarkan Gambar 2.1 dan mengikuti aturan di bawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.11)$$

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

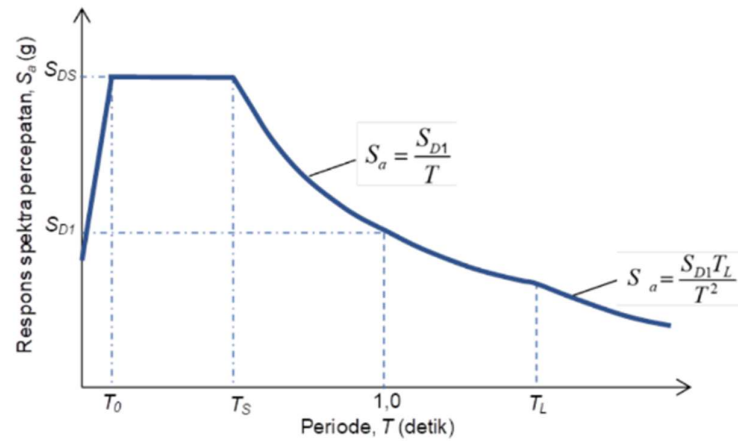
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.12)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.13)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.14)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.15)$$



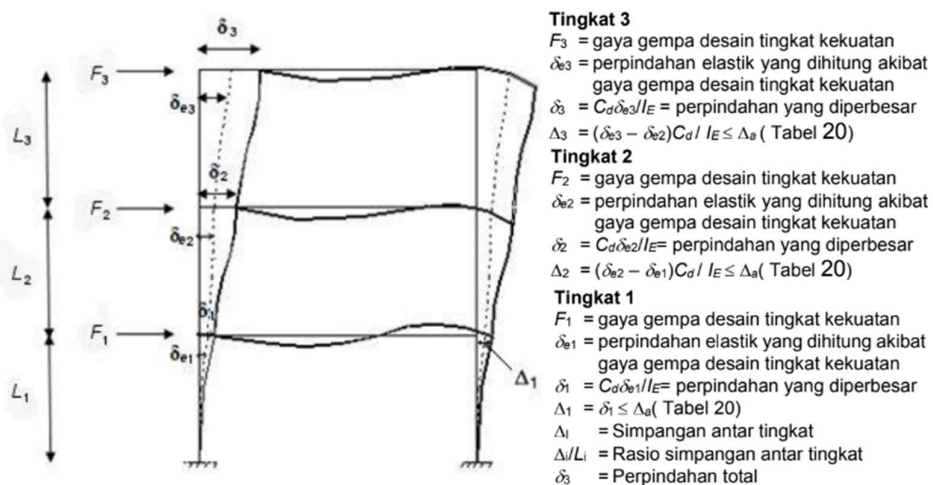
Gambar 2. 1 Spektrum Respons Desain

(Sumber : SNI 1726-2019 hal 36)

2.6. Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai (interstory drift) adalah perbedaan defleksi antara struktur di lantai atas dan bawah yang sedang ditinjau. Defleksi di pusat massa suatu lantai dihitung menggunakan rumus seperti berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.16)$$



Gambar 2. 2 Penentuan simpangan antar lantai

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.7. Analisis Pushover

Analisis pushover adalah analisis statik nonlinier di mana pengaruh gempa rencana pada struktur bangunan dianggap sebagai beban statik yang bekerja pada pusat massa setiap lantai. Nilai beban ini secara bertahap ditingkatkan hingga melebihi beban yang menyebabkan pelelehan (sendi plastis) pertama dalam struktur bangunan. Setelah itu, dengan peningkatan beban lebih lanjut, terjadi perubahan bentuk pasca-elastik yang besar hingga mencapai kondisi plastik..(Pranata & Sipil, 2006)

Tujuan dari analisis gaya lateral adalah untuk mengevaluasi bagaimana struktur bangunan akan bereaksi terhadap beban gempa yang direncanakan. Ini termasuk mendapatkan nilai aktual dari $\mu\Delta$ dan R struktur, menunjukkan kurva kapasitas (capacity curve), dan memperlihatkan skema pelelehan (distribusi sendi plastis) yang terjadi. (Pranata & Sipil, 2006)

2.7.1. Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Pada metode displacement coefficient (FEMA 356), perhitungan dilakukan dengan mengubah respons elastik linier dari sistem struktur SDOF yang setara menggunakan faktor modifikasi C_0 , C_1 , C_2 , dan C_3 . Ini dilakukan agar target peralihannya bisa dihitung, dengan menetapkan waktu getar efektif (T_e) terlebih dahulu untuk mempertimbangkan kondisi inelastik struktur gedung..

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 g \quad (2.17)$$

$$C_3 = 1,0 + \frac{|a|(R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (2.18)$$

2.7.2. Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Metode Spektrum Kapasitas atau Capacity Spectrum Method (CSM) digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur. Dalam analisis statik pushover nonlinier ini, kita mendapatkan kurva kapasitas yang kemudian diolah lebih lanjut dengan metode Spektrum Kapasitas (ATC-40). Metode ini sudah terintegrasi dalam program SAP 2000. Hasil dari analisis statik pushover nonlinier adalah kurva pushover yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (Base Shear) dan

simpangan atap (Roof Displacement). Hubungan ini disebut kurva kapasitas struktur. Metode ini sederhana tetapi sangat berguna karena dapat menggambarkan respons inelastik bangunan. Kurva kapasitas hasil pushover diubah menjadi spektrum kapasitas seperti pada Gambar 2.1 melalui persamaan:

$$S_a = \frac{v}{a_1} \quad (2.19)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF1\phi_{roof,1}} \quad (2.20)$$

$$PF = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \frac{(w_i\phi_{i1})}{g}}{\sum_{i=1}^n \frac{(w_i\phi_{i1}^2)}{g}} \right] \quad (2.21)$$

$$a_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i\phi_{i1})}{g} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{g} \right] \left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i\phi_{i1}^2)}{g} \right]} \quad (2.22)$$

2.7.3. Metode Koefisien Perpindahan yang Diperbaiki (FEMA 440)

Metode Koefisien Perpindahan atau Displacement Coefficient Method (DCM) adalah metode dalam FEMA untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan mengubah respons elastis linier dari sistem SDOF yang setara menggunakan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 , dan C_3 agar target perpindahan (δ_t) dapat dihitung,

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 g \quad (2.23)$$

BAB 3. METODOLOGI

3.1. Lokasi Penelitian

Pengumpulan data yang dilakukan yaitu dilakukan pada lokasi proyek DP Mall Semarang yang berlokasi di Jl Pemuda No. 150, Sekayu, Kec. Semarang Tengah, Kota Semarang, Jawa Tengah. Bangunan yang terdiri dari 16 lantai dengan luas bangunan 74.616 m² dan luas parkir 46.835 m². Lokasi pekerjaan terdapat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Lokasi DP Mall Semarang

Lalu dibawah ini merupakan siteplan ataupun batasan batasan wilayah di sekitar mall sebagai berikut:

- Batas Sisi Utara : Balai Kota Semarang
- Batas Sisi Barat : Permukiman Warga
- Batas Sisi Timur : Gedung BPS Semarang
- Batas Sisi Selatan : Permukiman Warga



Keterangan :

- A : Lokasi Proyek
- B : Existing DP Mall
- C : Gedung Bapeda
- D : Kantor BPS
- E : Ruko
- F : Sungai
- G : Hotel Awan Sewu
- H : Parkiran DP Mall Lama

Gambar 3. 2 Gambar Site Plan DP Mall Expansion
(Sumber: Google Earth)

3.2. Tahapan Penelitian

Proses penelitian yang dilakukan mencakup tahap pengambilan dan pengolahan data yang diperoleh dari perencanaan dari DP Mall. Untuk metode penelitiannya, digunakan teknik analisis pushover yang dijalankan melalui sebuah aplikasi komputer.

3.2.1. Data yang dibutuhkan dalam penelitian

Dalam pengumpulan data ini diperoleh dari data pribadi perusahaan pemilik DP Mall Semarang. Data sekunder ini antara lain :

- a. Gambar denah struktur
- b. Gambar detail dari komponen utama gedung seperti balok, kolom
- c. Mutu beton dan mutu tulangan yang digunakan
- d. Data sondir

3.2.2. Pengolahan Data

Dari data yang telah diperoleh, lalu dilakukan pengolahan berupa identifikasikan data yang didapat dalam bentuk pemodelan selanjutnya.

3.2.3. Preliminary design

Perencanaan ini berupa kolom, balok dan pelat. Perencanaan yang disesuaikan dengan perhitungan SNI 2847-2019 mengenai Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan.

3.2.4. Perhitungan beban

Pada perhitungan beban ini mengacu pada SNI 1727:2020 tentang Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.

3.2.5. Analisa gempa

Analisa gaya gempa, analisa yang digunakan yaitu respon spektrum. Pada analisa ini perlu diketahui terlebih dahulu jenis tanah yang berada pada lokasi, kemudian dicari data respon spektrumnya

3.2.6. Permodelan yang Dibantu Program Bantu Komputer

Permodelan struktur pada bangunan DP mall ini yang menggunakan sistem struktur rangka pemikul momen khusus, lalu permodelan tersebut dimasukkan beban mati, hidup, dan gempa yang telah dicari.

3.2.7. Analisa Kekuatan Struktur

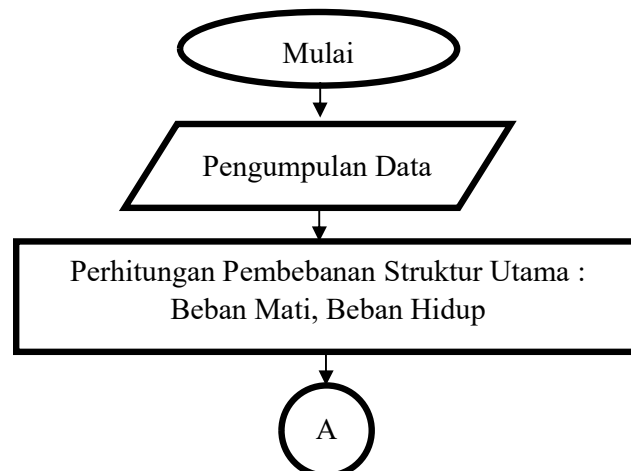
Memasukkan parameter analisa pushover. Pada analisa ini perlu memerhatikan terhadap bidang momen (M), lintang (D), normal (N), dan *displacement* pada struktur portal. Lalu dilanjutkan dengan memasukkan parameter pushover pada komputer.

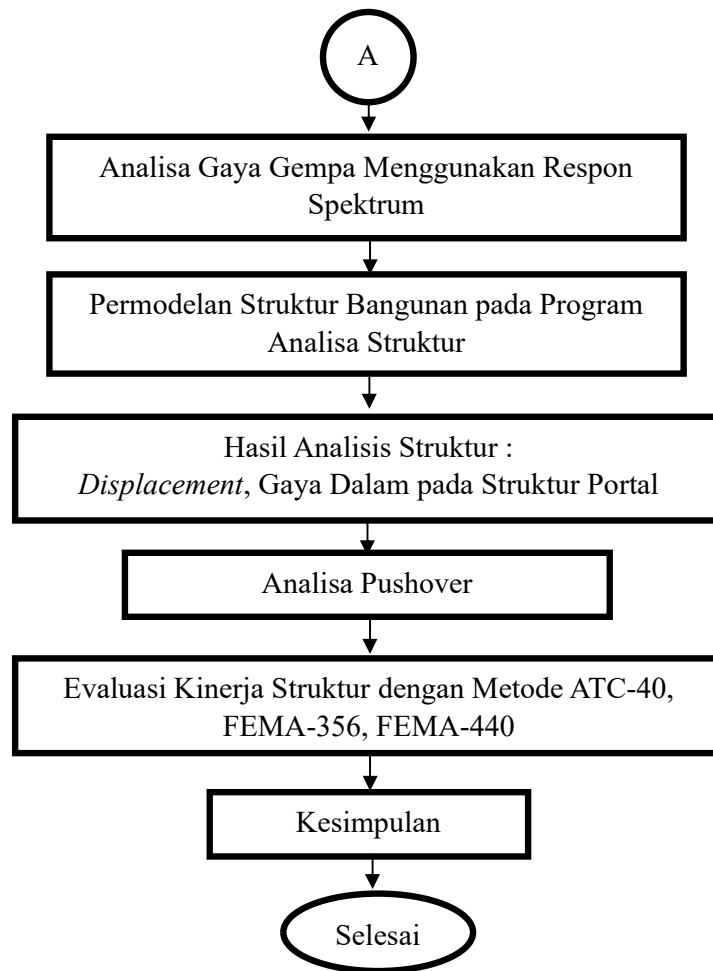
3.2.8. Evaluasi Kinerja Struktur

Pada tahap ini dilakukan evaluasi kinerja struktur berdasarkan metode ATC-40, FEMA-356, FEMA-440. Rumus yang berkaitan dengan evaluasi ini sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 & \text{- ATC-40; } \quad - Sa = \frac{v}{a1}, \quad - Sd = \frac{\Delta_{roof}}{PF1\phi_{roof,1}}, \\
 & \quad \quad \quad - PF = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(wi\phi_{i1})}{g} \right]}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(wi\phi_{i1}^2)}{g} \right]}, \quad - a1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(wi\phi_{i1})}{g} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{wi}{g} \right] \left[\sum_{i=1}^n \frac{(wi\phi_{i1}^2)}{g} \right]} \\
 & \text{- FEMA 356, 440 - } \delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 \quad - C_3 = 1,0 + \frac{|a|(R-1)^{3/2}}{T_e}
 \end{aligned}$$

3.3. Diagram Alir (*Flowchart*)





BAB 4. PEMBAHASAN

4.1. Konfigurasi dan Data Input Gedung

4.1.1. Elevasi Lantai Bangunan

Tabel 4. 1. Konfigurasi Tingkat

No	Nama Lantai	Ketinggian (m)
1	ATAP	55.5
2	P10	52.1
3	P9	48.7
4	P8	45.3
5	P7	41.9
6	P6	38.5
7	P5	35.1
8	P4	31.7
9	P3	28.3
10	P2	24.9
11	P1	21.5
12	LT3	15.5
13	LT2	11
14	LT1	5
15	GF	0

4.1.2. Data Struktur

- Balok

Terdapat 44 ukuran balok yang digunakan pada permodelan gedung ini.

Data diberikan pada lampiran.

- Kolom

Pada gedung ini memiliki 25 notasi pada kolom yang digunakan.

- Pelat

Ukuran pelat yang digunakan ada 4 tipe dengan data seperti berikut

Tabel 4. 2 Notasi dan Tebal Pelat

No.	Notasi	Tebal (mm)
1	S1	140
2	S2	170
3	S3	200
4	S4	150
5	SC	180

4.1.3. Data Pembebanan

- Beban Mati

Beban mati sesuai yang tercantum pada SNI 1727-2020 seperti pada tabel berikut.

Tabel 4. 3. Beban Mati Gedung

Jenis Tingkat	Berat Balok	Berat kolom	Berat Pelat
	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
GF	10810.14	10829.39	0
LT 1	13184.9	12995.26	19986.97
LT2	13184.9	9746.448	19986.97
LT 3	13954.99	9241.076	20692.65
P1	11284.55	5236.61	21414.61
P2	11284.55	5236.61	21414.61
P3	11284.55	5236.61	21414.61
P4	11284.55	5236.61	21414.61
P5	11284.55	4009.279	21414.61
P6	10971.7	4009.279	21414.61
P7	11284.55	4009.279	21414.61
P8	11284.55	4009.279	21414.61
P9	11284.55	4009.279	21414.61
P10	13161.64	0	21414.61

- Beban Hidup

Dalam SNI 1727-2020 terdapat tabel distribusi beban hidup dimana untuk beban 1,92 kN/m² untuk parkir, dan 6 kN/m² seperti pada tabel berikut.

- Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan berupa beban yang diterima oleh struktur gedung selain dari beban hidup dan beban mati dari gedung tersebut. Sesuai SNI 1727-2020 dijelaskan beberapa beban tambahan untuk gedung seperti tabel berikut.

Tabel 4. 4. Beban Mati Tambahan

No	Jenis	Berat	satuan
1	Keramik dan Spesi (Ceramic or quarry tile (19mm) on 25 mm mortar)	112.169	kg/m ²
2	Berat plafond gypsum board 9mm (ceilings)	7.34196	kg/m ²

3	Berat Penggantung (suspended steel channel system)	10.1972	kg/m2
4	Berat Plumbing	20	kg/m2
5	Instalasi MEP	19.3746	kg/m2

4.2. Analisis Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Gedung DP mall menggunakan sistem balok dengan berbagai macam ukuran. Perhitungan ini mengambil 3 sampel pada data dengan ukuran terbesar, terkecil, dan dominan pada data. Perhitungan ini berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6. Data yang diambil terdapat pada tabel berikut :

Tabel 4. 5. Detail Tulangan Balok

Data Balok			
Parameter	Balok 1	Balok 2	Balok 3
Dimensi	350 X700	400 X 700	600 X 1100
Tulangan Atas	3D19	6D25	7D25
Tulangan Bawah	3D19	6D25	7D25
Sengkang	D10-150	D10-200	D13-100

- Perhitungan analisis klasifikasi sistem rangka sebagai berikut :

$$ln \geq 4d$$

Nilai d didapat dari

$$d = h_{balok} - t_{selimut} - \emptyset_{sengkang} - \emptyset \frac{1}{2} \text{lentur}$$

$$d = 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 19$$

$$d = 639$$

Kontrol

$$ln \geq 4 * 639$$

$$8000 \geq 2556 \text{ (OK!)}$$

- Kontrol lebar penampang b_w harus lebih dari 0,3h dan lebih dari 250mm

$$b_w \geq 0,3 * 700$$

$$b_w \geq 210$$

Kontrol

$$b_w \geq 210/250$$

$$350 \geq 210/250$$

- Kontrol lebar balok tidak boleh lebih dari lebar terkecil kolom (c_1) dan $0,75c_2$

$$b_w < c_1 \quad \& \quad b_w < 0,75c_2$$

$$350 < 700 \quad \& \quad 350 < 525$$

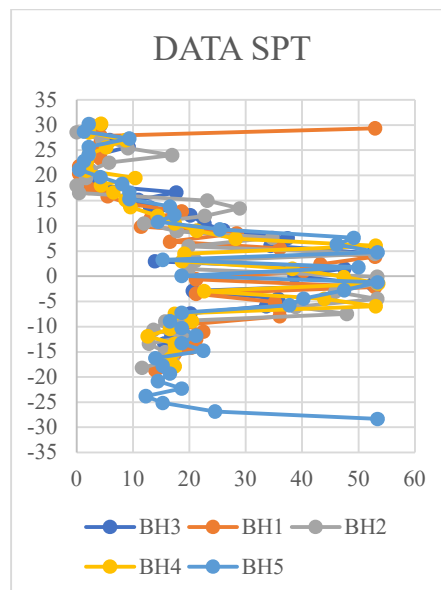
Tabel 4. 6. Hasil Analisis SPRMK

Hasil Analisis				
		350 X 700	400 X 700	600 X 1100
Kontrol bentang balok	=	OK	OK	OK
Kontrol lebar penampang	=	OK	OK	OK
Kontrol balok dari lebar kolom	=	OK	OK	OK

Berdasarkan analisis sistem rangka pemikul momen, maka gedung ini termasuk kedalam kategori sistem rangka pemikul momen khusus.

4.3. Kategori Kelas Situs

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 5.3 untuk menentukan parameter kelas situs dengan menggunakan tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata . Pada Gambar 4.1 adalah hasil dari SPT lokasi Gedung *Dp Mall Expansion* Semarang. Setelah itu, data SPT titik BH-1, BH-2, BH-3 BH-4, dan BH-5 dimasukkan pada rumus berdasarkan SNI 1726-2019.



Gambar 4. 1. Pengolahan Data SPT

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{N_i}}$$

$$\bar{N}_{Bx} = \frac{d1 + d2 + d3 + d4 + d5 + d6 + d7 + d8 + d9 \dots d33}{\frac{d1}{N1} + \frac{d2}{N2} + \frac{d3}{N3} + \frac{d4}{N4} + \frac{d5}{N5} + \frac{d6}{N6} + \frac{d7}{N7} + \frac{d8}{N8} + \frac{d9}{N9} \dots \frac{d33}{N33}}$$

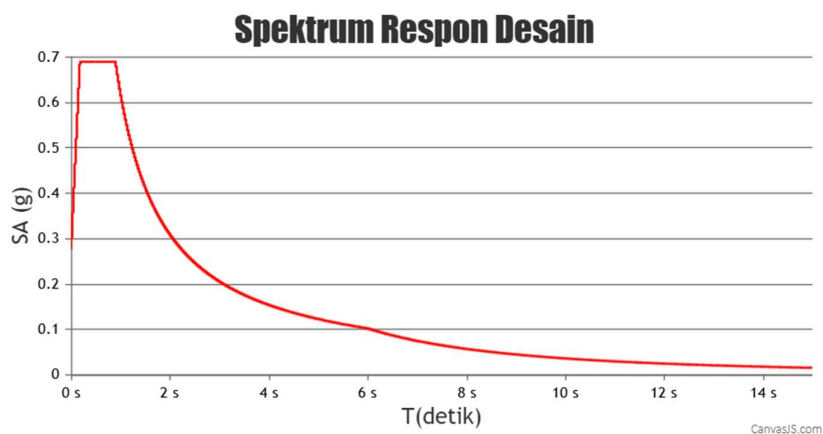
Tabel 4. 7. Hasil Kategori Kelas Situs

N		Nilai
BH-1	=	3,9869
BH-2	=	6,0521
BH-3	=	6,9742
BH-4	=	7,7272
BH-5	=	5,4131

Dari hasil perhitungan nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (\bar{N}) yang paling kecil. Tanah pada proyek Gedung Dp Mall Expansion Semarang termasuk Tanah Lunak (SE).

4.4. Desain Seismik

Data desain seismik ini diambil melalui website ciptakarya yang memunculkan untuk mendapatkan nilai PGA, SS, S1, dan juga periode gempa dengan memasukkan koordinat dari lokasi penelitian atau gedung. Seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 4. 2. Respon Spektrum Desain

Sumber :rsa.ciptakarya.pu.go.id

Tabel 4. 8. Parameter Respon Spektrum

Parameter	Nilai	satuan
PGA	0,3792	g
SS	0,8544	g
S1	0,3718	g
TL	15	detik
T	6	detik
T0	0,18	detik
TS	0,9	detik
SDS	0,69	g
SD1	0,62	g

Sumber :rsa.ciptakarya.pu.go.id

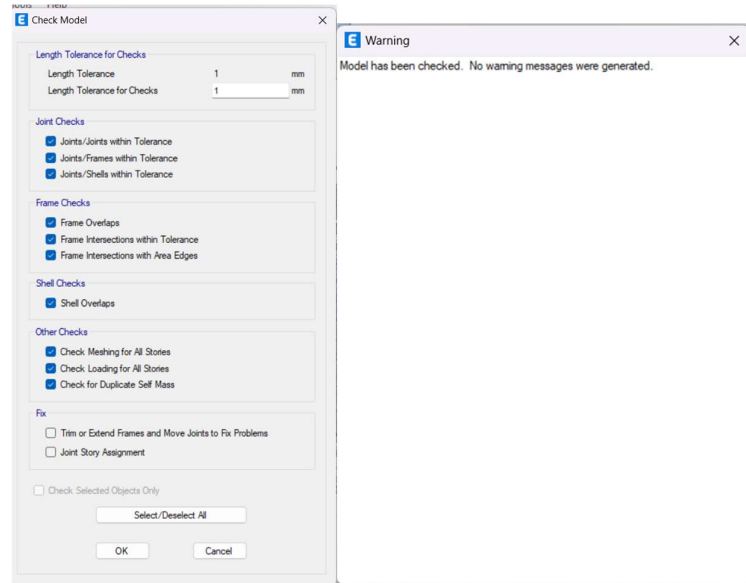
4.5. Validasi

Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi perbedaan perhitungan struktur antara metode analisis menggunakan *software* dan perhitungan manual, dengan fokus pada menentukan besarnya persentase kesalahan (error) yang terjadi di antara kedua metode tersebut. Pengecekan ini ditinjau pada kolom 302.

Tabel 4. 9. Validasi Perhitungan

Jenis beban	P Manual (kg)	P Software (kg)	Validasi
1D + 0,25L + 0,25Lr	1.131.239,69	1.135.357,64	0,36%
1D + 1L + 1Lr	1.081.243,05	1.083.145,24	0,18%
1D + 1L	1.078.437,26	1.080.279,06	0,17%

Setelah dilakukannya validasi, perlu dilakukan pengecekan terhadap measing dari bangunan tersebut. Measing merupakan pengecekan dimana setiap *joint* dari *frame* ataupun *shell* sudah bertemu. Jika measing terjadi maka pada titik atau frame tersebut perlu dicek terlebih dahulu sebelum dilakukannya analisis. Pengecekan seperti dilakukan pada gambar dibawah.



Gambar 4. 3. Validasi Error

4.6. Klasifikasi Situs Untuk Desain Seismik

Klasifikasi ini bertujuan untuk mengetahui gaya geser dasar, periode struktur, simpangan lantai, simpangan antar tingkat, penskalaan gempa. Dalam perhitungan ini diperlukan parameter untuk menghitung desain seismik yang digunakan.

4.6.1. Parameter Percepatan Spektral Desain

Perhitungan ini bertujuan untuk mencari nilai dari SDS, SDF, T0 dan Ts yang dilihat pada tabel berikut.

- Spektral Percepatan Periode Pendek (S_s)

Nilai percepatan spektral untuk periode pendek adalah $S_s = 0,8544g$.

- Spektral Percepatan Periode 1 Detik (S_1)

Nilai percepatan spektral untuk periode 1 detik adalah $S_1 = 0,3718g$.

- Koefisien Situs (F_a)

Koefisien yang bergantung pada jenis tanah untuk periode pendek adalah $F_a = 1,2114$, diambil dari Tabel 6 SNI 1726:2019.

- Koefisien Situs (Fv)

Koefisien yang bergantung pada jenis tanah untuk periode 1 detik adalah $Fv = 2,5014$, diambil dari Tabel 7 SNI 1726:2019.

- Percepatan Desain Periode Pendek (SDS)

Dihitung menggunakan rumus $SDS = \frac{2}{3} \cdot Fa \cdot Ss$ sesuai Pasal 6.2 dan 6.3 SNI 1726:2019. Nilainya adalah $SDS = 0,69 g$.

- Percepatan Desain Periode 1 Detik ($SD1$)

Dihitung menggunakan rumus $SD1 = \frac{2}{3} \cdot Fv \cdot S1$ sesuai Pasal 6.2 dan 6.3 SNI 1726:2019. Nilainya adalah $SD1 = 0,62 g$.

- Periode Pendek ($T0$)

Periode pendek dihitung menggunakan $T0 = 0.2 \cdot SD1 / SDS$, sesuai Pasal 6.4 SNI 1726:2019. Nilainya adalah $T0 = 0,1797 \text{ detik}$.

- Periode Panjang (Ts)

Periode panjang dihitung menggunakan $Ts = SD1 / SDS$, sesuai Pasal 6.4 SNI 1726:2019. Nilainya adalah $Ts = 0,8986 \text{ detik}$.

4.6.2. Parameter Gempa

Parameter gempa ini diambil berdasarkan sistem rangka pemikul dari gedung existing sesuai pengecekan pada sistem rangka. Menghasilkan koefisien yang didapat sebagai berikut

- Faktor Keutamaan Gempa (Ie)

Mengacu pada SNI 1726:2019 Tabel 3 dan Tabel 4, faktor ini menunjukkan tingkat keutamaan struktur terhadap gempa. Nilai $Ie = 1,00$, yang menunjukkan struktur memiliki tingkat keutamaan standar.

- Koefisien Modifikasi Respons (R)

Diperoleh dari Tabel 12 SNI 1726:2019, menunjukkan kapasitas struktur untuk mereduksi respons gempa melalui disipasi energi. Nilai $R = 8$, yang mengindikasikan jenis sistem struktur tertentu.

- Faktor Kuat Lebih Sistem ($\Omega0$)

Dihitung berdasarkan Tabel 12 SNI 1726:2019, menunjukkan faktor keamanan tambahan untuk elemen struktur terhadap gaya lebih. Nilai $\Omega_0 = 3$.

- Faktor Pembesaran Defleksi (Cd)

Faktor ini digunakan untuk menghitung defleksi inelastis dari struktur, sesuai Tabel 12 SNI 1726:2019. Nilai $Cd = 5,5$, yang mengindikasikan kapasitas deformasi struktur.

- Kategori Risiko

Kategori risiko ditentukan sesuai dengan klasifikasi dalam SNI 1726:2019. Nilai kategori risiko adalah II, yang menunjukkan struktur memiliki tingkat risiko sedang, seperti bangunan umum non-kritikal.

4.7. Kontrol Partisipasi

Syarat periode gedung untuk ragam elastik ketika telah mencapai modal partisipasi hingga 90% sesuai dengan SNI 1726-2019. Kasus pada gedung ini mencapai partisipasi massa hingga 90% pada mode ke-15 untuk kedua arah horizontal utama.

Tabel 4. 10 Modal Partisipasi Massa

Mode	SumUX	SumUY
1	0,2096	0,2636
2	0,3828	0,7247
3	0,7503	0,7314
4	0,7503	0,7314
5	0,7504	0,7314
6	0,7945	0,7377
7	0,8007	0,8234
8	0,8435	0,8239
9	0,875	0,8246
10	0,8755	0,8796
11	0,8755	0,8796
12	0,8761	0,8796
13	0,8794	0,8805
14	0,8902	0,9025
15	0,9057	0,914

4.8. Kontrol Periode

Nilai partisipasi massa terjadi untuk masing masing arah horizontal terjadi pada 3,643 dan 2,453 untuk arah y dan x. Data ini kemudian diolah menjadi seperti pada tabel berikut.

- Percepatan Desain Periode 1 Detik ($SD1$)

Nilai percepatan desain untuk periode 1 detik adalah $SD1 = 0,62 g$, mengacu pada Tabel 17 SNI 1726:2019.

- Koefisien untuk Batas Periode (Cu)

Koefisien batas periode dihitung menggunakan $Cu = 1,4$, sesuai dengan Tabel 17 SNI 1726:2019.

- Parameter Periode Pendekatan (Ct)

Parameter pendekatan ini bernilai $Ct = 0,0466$, berdasarkan Tabel 18 SNI 1726:2019.

- Parameter Pangkat (x)

Parameter eksponen pangkat untuk perhitungan periode pendekatan adalah $x = 0,9$, juga mengacu pada Tabel 18 SNI 1726:2019.

- Tinggi Bangunan (h)

Tinggi struktur bangunan (seismik) yang digunakan dalam perhitungan adalah $h = 55 m$.

- Periode Fundamental Pendekatan (Ta)

Periode pendekatan dihitung menggunakan persamaan $Ta = Ct \cdot hx$ dari SNI 1726:2019 Persamaan 36. Nilai $Ta = 1,7168 detik$

- Periode Maksimum ($Tmax$)

Periode maksimum dihitung dengan $Tmax = Cu \cdot Ta$, berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2. Nilai $Tmax = 2,403 detik$.

- Periode Hasil Analisis

Hasil analisis untuk periode arah X adalah $Tx hasil = 2,453 detik$, dan untuk arah Y adalah $Ty hasil = 3,643 detik$.

- Periode yang dipakai

Periode yang digunakan untuk arah X dan Y masing-masing adalah $TX pakai = 2,403 detik$ dan $TY pakai = 2,403 detik$, sesuai batas

maksimum.

4.9. Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar bisa didapatkan dari mencari nilai berat seismik efektif yang diperoleh dari nilai massa setiap lantai pada etabs dikalikan gravitasi atau hal tersebut untuk mencari nilai berat seismik efektif gedung (W). Perhitungan diperlihatkan pada table berikut.

Tabel 4. 11. Mass Story

Lantai	Massa
	(kg)
ATAP	1.149.390,08
P10	6.180.399,77
P9	6.101.834,70
P8	6.100.998,88
P7	6.103.235,62
P6	6.167.554,66
P5	6.178.909,59
P4	6.276.044,78
P3	6.313.226,16
P2	6.409.267,40
P1	6.933.073,13
LT3	8.589.941,68
LT2	9.573.769,10
LT1	9.017.192,01

Parameter gaya geser dasar yang diambil yaitu berdasarkan SNI 1726:2019 dengan menggunakan persamaan 31, 32, 34 dan 35 sehingga memunculkan nilai berat seismik. Perhitungan dilakukan seperti berikut.

- Koefisien Respons Seismik (C_s)

Dihitung menggunakan rumus $C_s = SDS/(R/I_e)$ sesuai SNI 1726:2019 Pasal 31. Nilai yang diperoleh adalah $C_s = 0,0863$.

- Batas Atas Koefisien Respons Seismik (C_{smax})

Mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 32, rumusnya $SD1/[T(R/I_e)]$. Nilainya adalah $C_{s,max} = 0,0322$, C_{smaxX} dan C_{smaxY} .

- Batas Bawah Koefisien Respons Seismik
- Batas bawah pertama (C_{smin1}):
Rumus yang digunakan yaitu $0,044 \cdot SDS \cdot I_e$ (SNI 1726:2019 Pasal 34). Nilai yang diperoleh adalah $C_{smin1} = 0,0304$.
- Batas bawah kedua (C_{smin2}):
Rumusnya $0.5 \cdot S1/(R/I_e)$, digunakan jika $S1 \geq 0,6 g$ (SNI 1726:2019 Pasal 35). Nilainya adalah $C_{smin2} = 0,0232$.
- Koefisien Respons Seismik yang Dipakai (C_s pakai)
Nilai yang digunakan adalah $C_s pakai = 0,0322$, sesuai dengan batas maksimum.
- Berat Seismik Efektif (W)
Berat seismik efektif dihitung sebagai salah satu parameter gaya gempa. Nilai W adalah 893.335 kN.

4.10. Penskalaan Gempa

Penskalaan gempa dibutuhkan jika nilai V_{statik} yang didapatkan lebih kecil daripada $V_{dinamik}$ pada hasil pengujian. Perhitungan ini dikalikan dengan safety faktor dari respon spektrum. Hasil perhitungan sebagai berikut.

- Gaya Geser Statik (Manual)
Menggunakan persamaan $V = C_s \cdot W$. Nilai V_x dan V_y masing-masing adalah 28.806,16 kN.
- Gaya Geser Statik (ETABS)
Dihitung menggunakan software ETABS, menghasilkan nilai V_x dan V_y sebesar 28.563,86 kN.
- Faktor Skala Awal (SF)
Dihitung menggunakan rumus $g/(R/I)$, dengan nilai hasil 1,226 m/s^2 atau 1225,83 mm/s^2 .
- Gaya Geser Respon Spektra Unscaled (VRS)
Nilai komponen VRS_x adalah 14.666,44 kN, dan VRS_y adalah 15.299,75 kN.
- Penskalaan Gaya Gempa

Mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1, faktor penskalaan SF_x adalah 1,964 dan SF_y adalah 1,883.

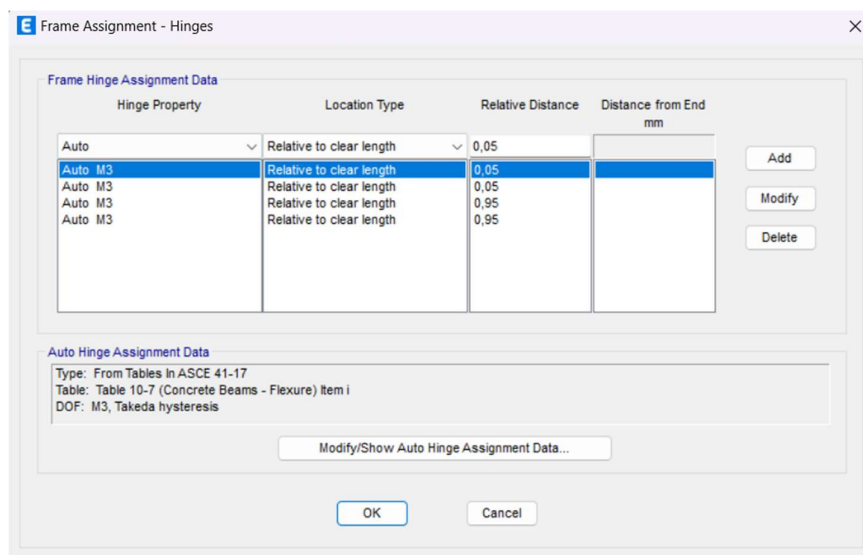
- Faktor Skala Baru

Setelah penskalaan, faktor skala baru adalah $SF_x=2.407,64 \text{ mm/s}^2$ dan $SF_y=2.307,98 \text{ mm/s}^2$.

4.11. Analisis Puhover

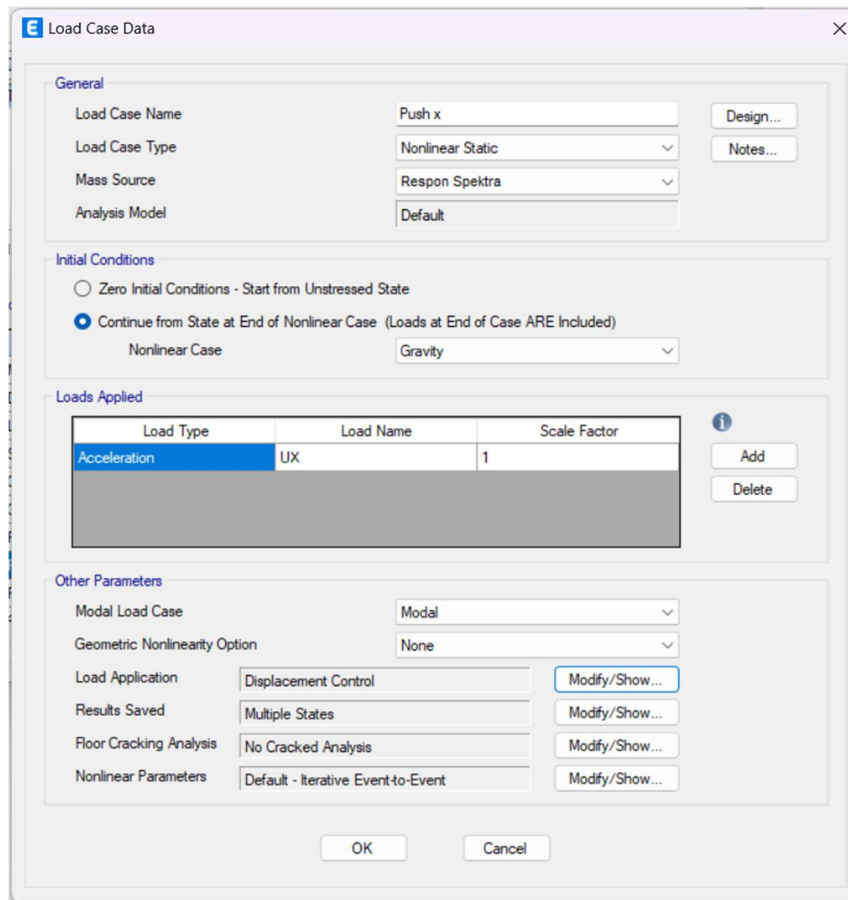
Jika perhitungan skala dan kontrol terpenuhi, maka dilakukannya analisis pushover dengan metode FEMA, dan ATC-40. Analisis ini menggunakan software analisis struktur. Syarat dari perlakuan untuk analisis pushover ini yaitu memberikan *hinge* terlebih dahulu pada setiap balok yang berada pada balok.

Langkah-langkah yang dilakukan untuk memasukkan hinge yaitu, *select > properties > frame section*. Lalu pilih bagian balok yang akan diberikan sendi plastis (*hinge*). Setelah dipilih, lakukan *assign hinge* pada *toolbars assign > frame > hinges*. Lalu masukkan relative distance antara 0,05-0,01 dan 0,95-0,9.



Gambar 4. 4. Input Relative Distance

Ketika langkah langkah telah terpenuhi, masukan beban load case untuk beban push. Beban push ini diberikan dari dua arah horizontal yaitu x dan y. Seperti pada gambar dibawah. Untuk displacement kontrol memasukkan nilaitarget displacemet. Lalu jalankan program dengan run analisis load case push dengan gravitasi nya.



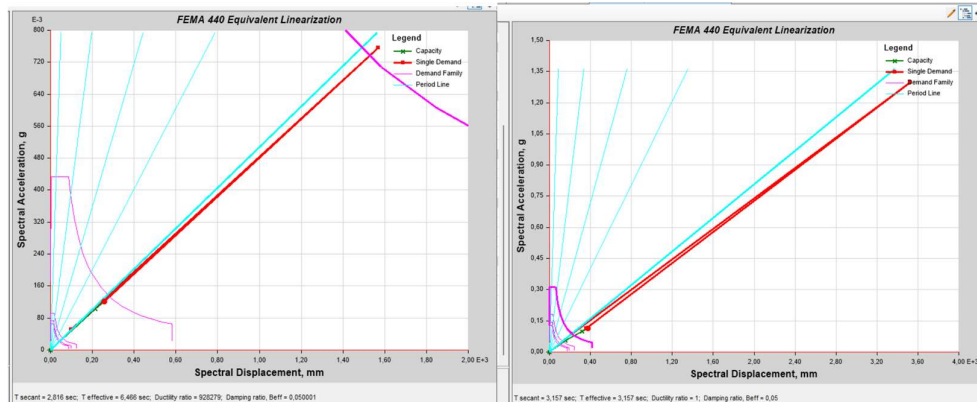
Gambar 4. 5. Input Load Case Pushover

4.11.1. Metode ATC-40

Pada metode fema ini diperlukannya koefisien untuk memenuhi target displacement yang dicari pada grafik fema seperti pada tabel berikut.

Tabel 4. 12. Koefisien ATC-40

Push x		Push y	
Shear (kN)	= 75.420,72	Shear (kN)	= 78.546,68
Displacement	= 231,1790	Displacement	= 458,7430
Sa (g)	= 0,1209	Sa (g)	= 0,1153
Sd (mm)	= 256,3280	Sd (mm)	= 376,8380
T secant	= 2,9210	T secant	= 3,6280
T effective	= 5,6920	T effective	= 5,4190
Ductility Ratio	= 7,9683	Ductility Ratio	= 3,7260
Damping Ratio	= 0,2053	Damping Ratio	= 0,1913
Modification factor	= 3,7969	Modification factor	= 2,2319



Gambar 4. 6. Hasil Analisis ATC-40

Pada grafik dan koefisien yang didapatkan menunjukkan bahwa nilai yang didapat dari kekuatan beban lateral yang diberikan pada masing masing arah horizontal yaitu 75.420,72 dan 78.546,68 kN.

4.11.2. Metode FEMA coefficient

Pada metode ini berfokus pada nilai input dari parameter respon spektrum. Untuk mendapatkan perpindahan kurva perpindahan setiap tingkat atau pada atap.

Tabel 4. 13. Perhitungan FEMA Coefficient

Push x		Push y	
Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
C0	= 0,9019	C0	= 1,2174
C1	= 1	C1	= 1
C2	= 1	C2	= 1
C3	= 1	C3	= 1
Sa	= 0,1251	Sa	= 0,1407
Te	= 2,8629	Te	= 3,2960
Ki	= 356,7918	Ki	= 222,2304
Ke	= 331,3708	Ke	= 203,9696
Ti	= 2,7580	Ti	= 3,157
Alpha	= 0,9003	Alpha	= 0,7185
ustrength	= 1,8108	ustrength	= 3,2766
Dy	= 195,30	Dy	= 197,14
V (kN)	= 64716,7594	V (kN)	= 40210,6112
Weight (kN)	= 936.628,9096	Weight (kN)	= 936.628,9096
Cm	= 1	Cm	= 1
δ_t	= 229,6804	δ_t	= 462,2690

Setelah ditemukannya koefisien yang dicari, dimasukkan nilai tersebut kedalam perhitungan seperti pada berikut.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 g$$

$$\delta_t = 462,27$$

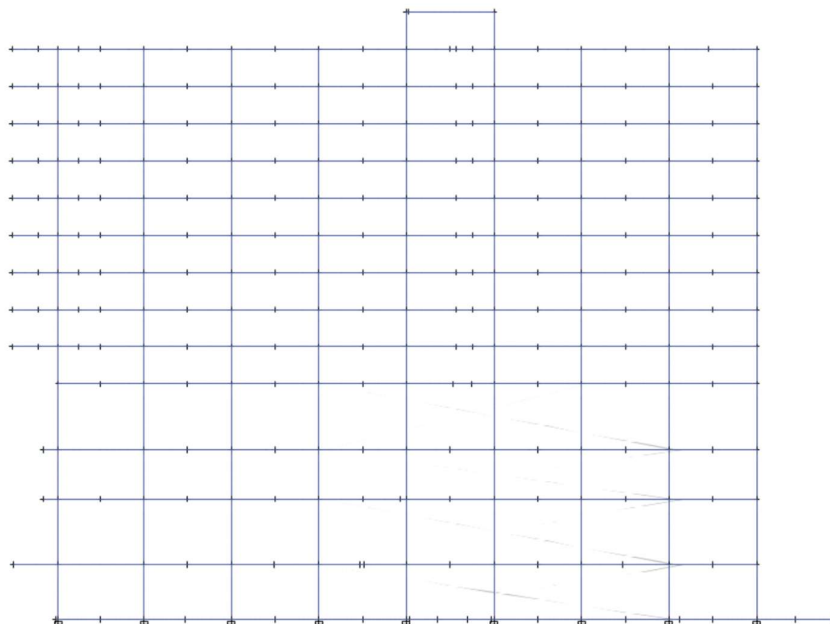
4.11.3. Kinerja Struktur Gedung

Data tabel dibawah merupakan nilai dari kapasitas struktur yang dapat ditampu dari gedung

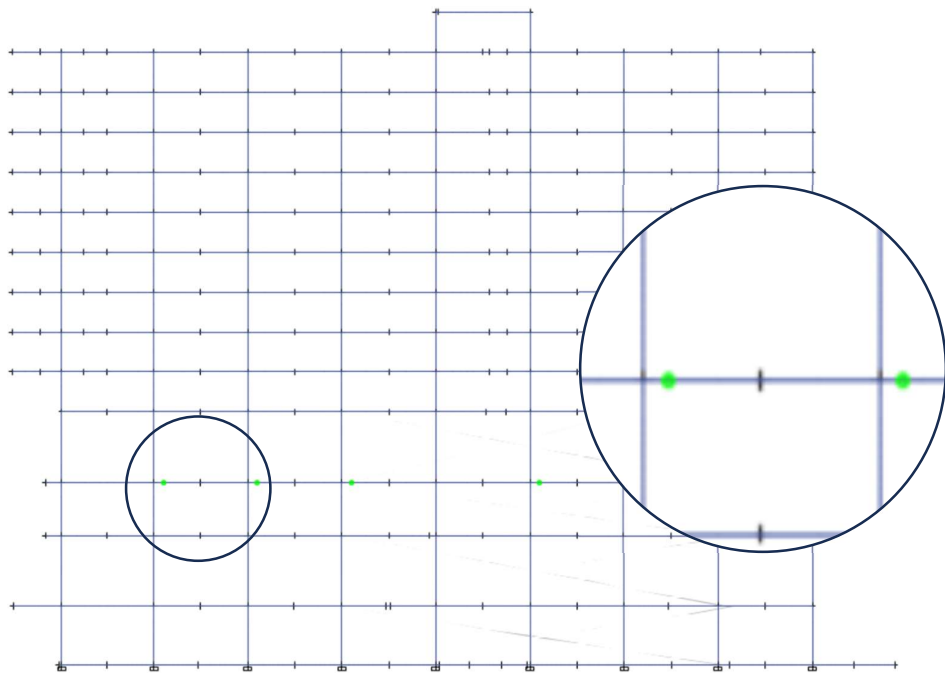
Tabel 4. 14. Kinerja Lever Struktur Gedung

Step	Monitored Displ (mm)	Base force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	31.056	60	0	0	0	31.116	0	0	0	31.116
1	-0,00045	0,0995	31.056	60	0	0	0	31.116	0	0	0	31.116
2	188,81000	38.511,58	29.596	1.520	0	0	0	31.116	0	0	0	31.116
3	386,52900	68.299,84	27.366	3.746	0	2	2	31.110	2	2	2	31.116
4	458,74400	78.546,70	26.790	4.320	2	2	2	31.106	6	2	2	31.116

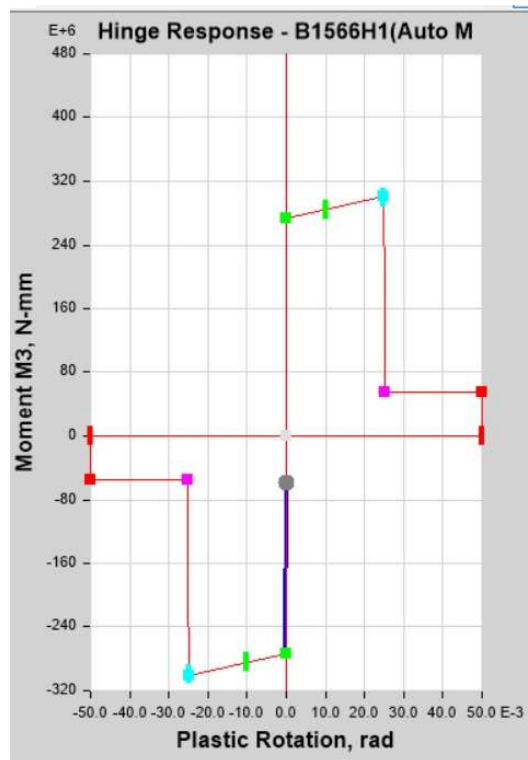
Dari data tersebut menunjukkan nilai kinerja gedung yaitu pada level B, dan kondisi yang tercapai yaitu IO. Bangunan hampir menyentuh LS namun masih dalam tahap awal.



Gambar 4. 7 Potongan Sebelum Terjadinya Evaluasi Kinerja



Gambar 4. 8. Potongan Titik Terjadinya Imediate Occupancy



Gambar 4. 9. Hasil Analisis Hinge B1455

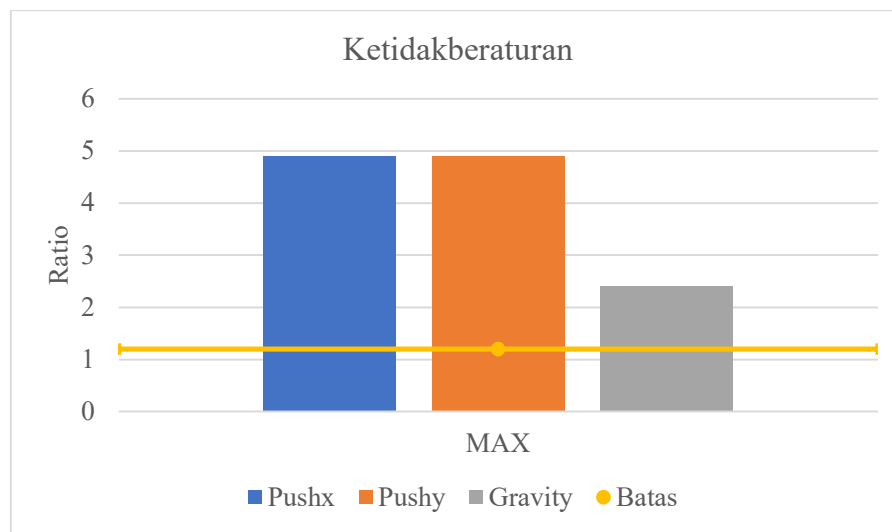
Gambar tersebut merupakan respon hinge struktur terhadap gaya lateral yang terjadi. Balok tersebut diambil pada pertemuan kolom C6 di lantai 1. Balok B1566 mulai mengalami kerusakan pada step ke 2. Dengan mendapatkan momen lentur sebesar 59.326,41 kN.

4.12. Ketidakberaturan Bangunan

Ketidakberaturan pada *existing* gedung ditinjau dalam 1.a 1.b dan 4 sesuai SNI 1726-2019. Perhitungan 1.a, 1.b berguna untuk melihat displacement pada gedung berdasarkan drift diafragma atau max story displacement.

4.12.1. Ketidakberaturan Horizontal

Pada gedung ini diperlukan pengecekan terhadap ketidakberaturan horizontal yang dilihat pada grafik berikut.

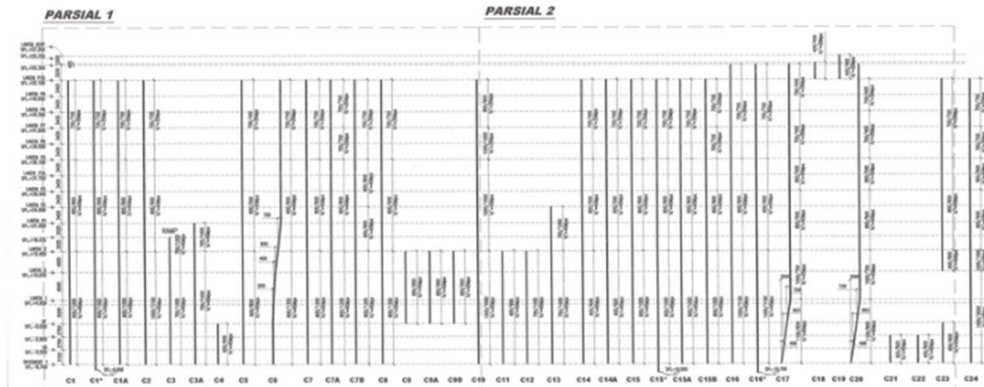


Gambar 4. 10. Grafik Ketidakberaturan Horizontal

Gedung dianggap memiliki ketidakberaturan ketika melebihi dari batas ratio yaitu 1,2. Pada gedung ini memiliki hal tersebut, maka gedung ini memiliki ketidakberaturan horizontal dikarenakan tidak mencukupi ketidakberaturan 1.a dan 1.b

4.12.2. Ketidakberaturan Vertikal

Menurut SNI 1726-2020 ketidakberaturan vertikal dilihat dari denah parsial kolom yang memiliki kemiringan pada kolom tersebut.



Gambar 4. 11 Denah Parsial Kolom

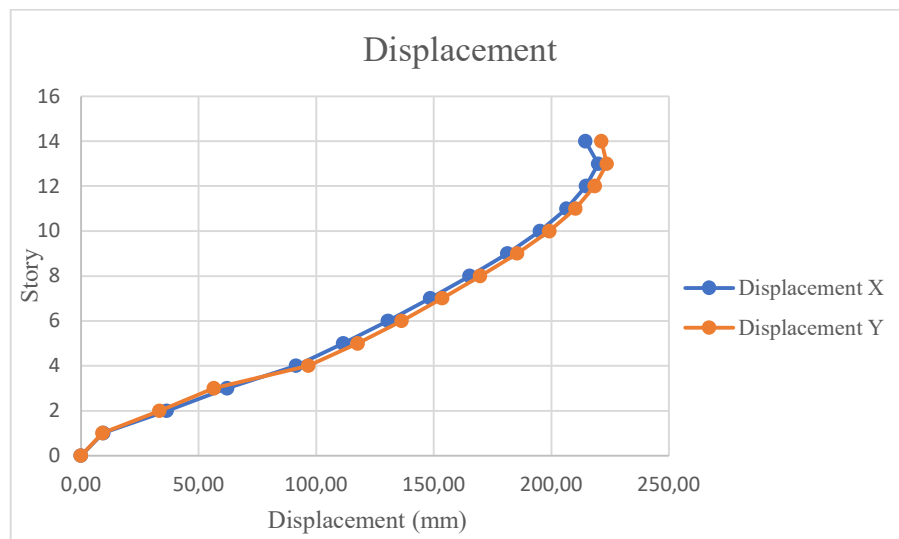
Dapat dilihat pada kolom C6 memiliki kemiringan pada komponen struktur. Oleh karena itu, gedung ini memiliki ketidakberaturan terhadap arah vertikal

4.13. Perpindahan (*Displacement*)

Displacement yaitu perpindahan tiap tingkat yang terjadi akibat gaya lateral.

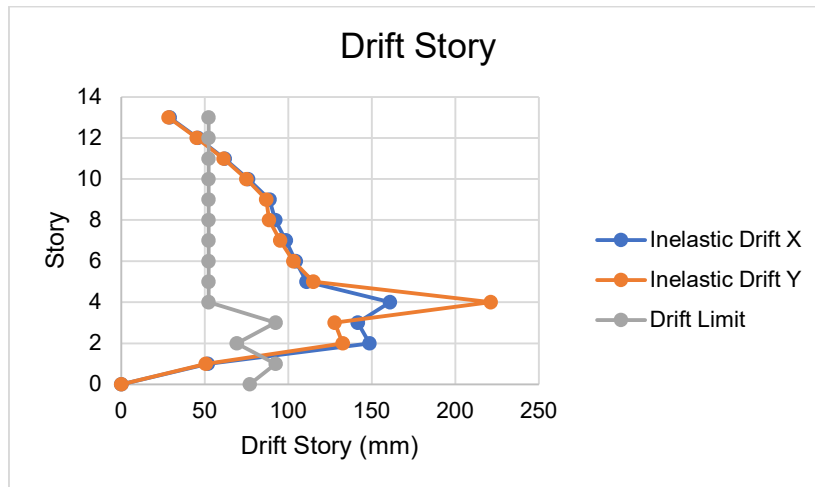
4.13.1. Akibat Gaya Gempa

Berikut merupakan grafik displacement dari data yang didapatkan.



Gambar 4. 12. Displacement Gaya Gempa

Dari grafik displacement yang didapatkan dari software analisis diolah hingga gaya lateral diperbesar, dan menemukan *drift story*.

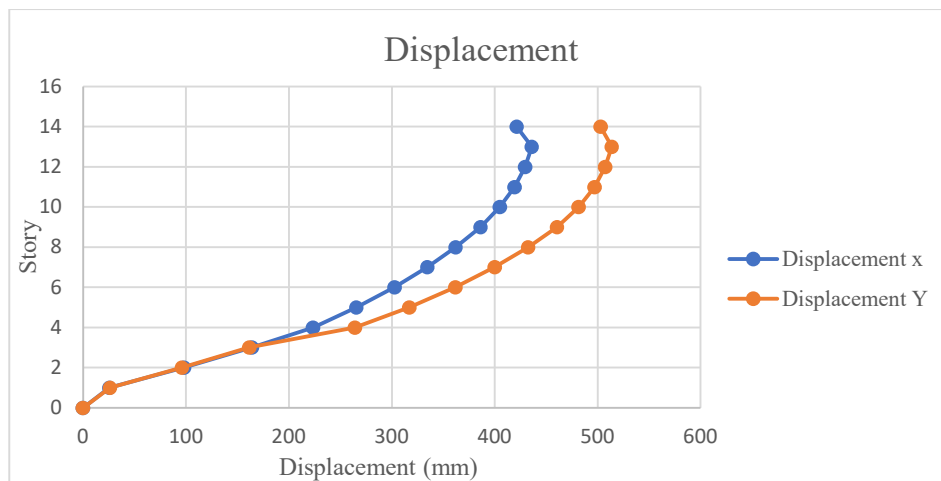


Gambar 4. 13. Grafik Simpangan Antar Tingkat

Displacement yang terjadi pada respon struktur yaitu 220 mm untuk arah x dan 223,61 mm untuk arah y.

4.13.2. Akibat Gaya Pushover

Berikut merupakan gaya yang terjadi pada existing gedung



Gambar 4. 14. Grafik Displacement Akibat Pushover

Hasil yang didapatkan pada arah sumbu x mendapatkan displacement sebesar 435,926 mm. dengan besar gaya lateral yang terjadi yaitu 75.420,72 kN. Sedangkan untuk displacement dari arah sumbu y sebesar 513,647 mm, dengan gaya lateral yang terjadi yaitu 78.546,68 kN.

BAB 5. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Displacement yang terjadi pada existing gedung terhadap respon spektrum yaitu sebesar 220 mm untuk arah x dan 223,61 mm untuk arah y. Lalu Displacement yang terhadap gaya lateral pushover sebesar 435,93 mm untuk arah x dan 513,65 mm untuk arah y. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa gedung dapat menerima gaya lateral dengan dibatasi oleh drift limit.
2. Pada sistem balok keruntuhan terjadi pada step-3. Balok yang runtuh terdapat pada lantai P1 balok B1502H13. Namun, untuk balok yang berada pada kolom C6, tidak mengalami keruntuhan. Hal ini menunjukkan bahwa kolom C6 berfungsi sebagai kolom struktur yang menahan beban, bukan sebagai kolom arsitektural semata. Balok B1566 mengalami kerusakan biasa dengan momen 59.326,4168 kN.
3. Kinerja struktur gedung mencapai pada tahap *Immediate Occupancy*. Hal tersebut menjelaskan bahwa gedung tersebut mengalami kerusakan pada elemen non struktural terhadap respon gaya lateral. Sehingga gedung masih aman untuk dihuni dan gedung tidak mengalami kerusakan yang signifikan yang memengaruhi stabilitas gedung itu sendiri.

5.2. Saran

Berikut beberapa saran yang dapat diberikan:

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisis pushover lagi untuk mencari tahu seberapa kuat gedung tersebut hingga mencapai batas layan
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisa terhadap pola keruntuhan yang terjadi pada gedung.

DAFTAR PUSTAKA

- César A. Rodríguez, Á. M. (2024). Comparative Analysis and Evaluation of Seismic Response in Structures: Perspectives from Non-Linear Dynamic Analysis to Pushover Analysis. *applied science*, 1-15. doi:<https://doi.org/10.3390/app14062504>
- Deddy Kurniawan, A. N. (2024). Evaluasi Struktur Gedung Fakultas Hukum. *Rang Teknik Journal*, 7(1), 184-192. doi:<https://doi.org/10.31869/rtj.v7i1.4985>
- Dermawan Zebua, K. (2022). Performance Evaluation of Highrise Building Structure Based on Pushover Analysis With ATC-40 Method. *Applied Research on Civil Engineering and Environment (ARCEE)*, 03(02), 54-63. doi:<https://doi.org/10.32722/arcee.v3i02.4334>
- Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa. *Jurusan Teknik Sipil - Universitas Pelita Harapan*, 1-28.
- Fajar Agung Nugraha, D. P. (2022). Kinerja Struktur Gedung Baja Tahan Gempa Menggunakan Analisis. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan X* (pp. 022 | 1-17). Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama.
- Naqash, T. (2020). Pushover Response of Multi Degree of Freedom Steel Frames. *Civil Engineering Journal*, 6, 86-97. doi:[https://doi.org/10.28991/cej-2020-SP\(EMCE\)-08](https://doi.org/10.28991/cej-2020-SP(EMCE)-08)
- Performance Analysis of Steel Portal Structures with Braces Designed Based on Allowable Interstory Drift Limits. (2019). *Simetrikal: Journal of Engineering and Technology*, 1(2), 87-102. doi:<https://doi.org/10.32734/jet.v1i2.979>
- Pranata, Y. A. (2006). Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440). *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), 41-52.
- SNI 1726:2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. (2019). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1727:2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. (2020). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1727:2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. (2020). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional

- SNI 2847:2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.* (2019). 2019: Badan Standarisasi Nasional.
- Sudarman H. Manalip, R. S. (2014). Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4), 201-213.
- Timothy J. Sullivan, D. S.-R. (2018). Simplified Pushover Analysis of Moment Resisting Frame Structures. *Journal of Earthquake Engineering*, 25(4), 621-648.
doi:<https://doi.org/10.1080/13632469.2018.1528911>
- Yulina Andriyani, I. K. (2021). Analisa Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah Terhadap Karakteristik Kelas Situs Batuan Keras (SA), Batuan (SB) dan Batuan Lunak (SC) Berbasis Respon Spectrum. *Jurusan Teknik Sipil*, 188-198.

LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Koefisien situs Fa

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode T=0,2 detik, S _s					
	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	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

(Sumber : SNI 1726-2019)

Lampiran 1. 2 Koefisien Situs Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode 1 detik, S _t					
	S _t 0,1	S _t 0,2	S _t 0,3	S _t 0,4	S _t 0,5	S _t 0,6
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

(Sumber : SNI 1726-2019)

Lampiran 1. 3 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter	Koefisien	Nilai	Satuan
Spektral Percepatan Periode Pendek	S_s	= 0,8544	g
Spektral Percepatan Periode 1 Detik	S_l	= 0,3718	g
Koefisien Situs	F_a	= 1,2114	
<i>SNI 1726:2019 tabel 6</i>			
Koefisien Situs	F_v	= 2,5014	
<i>SNI 1726:2019 tabel 7</i>			
Percepatan Desain Periode Pendek	S_{DS}	= $2/3 * F_a * S_s$	
<i>SNI 1726:2019 pasal 6.2 dan 6.3</i>		= 0,6900	g
Percepatan Desain Periode 1 Detik	S_{Dl}	= $2/3 * F_v * S_l$	
<i>SNI 1726:2019 pasal 6.2 dan 6.3</i>		= 0,6200	g
	T_0	= $0.2 * S_{Dl} / S_{DS}$	
<i>SNI 1726:2019 pasal 6.4</i>		= 0,1797	detik
	T_s	= S_{Dl} / S_{DS}	
<i>SNI 1726:2019 pasal 6.4</i>		= 0,8986	detik

Lampiran 1. 4 Parameter Gempa

Parameter	Koefisien	Nilai
Faktor Keutamaan Gempa	I_e	= 1.00
<i>SNI 1726:2019 tabel 3 dan 4</i>		
Koefisien Modifikasi Respons	R	= 8
<i>SNI 1726:2019 tabel 12</i>		
Faktor Kuat Lebih Sistem	Ω_0	= 3
<i>SNI 1726:2019 tabel 12</i>		
Faktor Pembesaran Defleksi	C_d	= 5.5
<i>SNI 1726:2019 tabel 12</i>		
Kategori Resiko		= II

Lampiran 1. 5 Kontrol Periode

Parameter	Koefisien	Nilai	Satuan
Percepatan Desain Periode 1 Detik	S_{D1}	= 0,6200	g
Koefisien untuk Batas Periode	C_u	= 1,4	
<i>SNI 1726:2019 tabel 17</i>			
Parameter Periode Pendekatan	C_t	= 0,0466	
<i>SNI 1726:2019 tabel 18</i>			

Parameter Periode Pendekatan	x	=	0,9
<i>SNI 1726:2019 tabel 18</i>			
Tinggi Bangunan (Seismik)	h	=	55 m
Periode Fundamental Pendekatan	T_a	=	$C_t * h^x$
<i>SNI 1726:2019 persamaan 36</i>		=	1,7168 detik
Periode Maksimum	T_{max}	=	$C_u * T_a$
<i>SNI 1726:2019 pasal 7.8.2</i>		=	2,403 detik
Periode Hasil Analisis Arah X	$T_{c,X}$	=	2,453 detik
Periode Hasil Analisis Arah Y	$T_{c,Y}$	=	3,643 detik
Periode Pakai Arah X	T_X	=	2,403 detik
Periode Pakai Arah Y	T_Y	=	2,403 detik

Lampiran 1. 6 Gaya Geser Dasar

Parameter	Koefisien	Nilai
Koefisien Respons Seismik	C_s	= $S_{DS} / (R/I_e)$
<i>SNI 1726:2019 persamaan 31</i>		= 0,0863
Batas Atas	$C_{s,max}$	= $S_{D1} / [T * (R/I_e)]$
<i>SNI 1726:2019 persamaan 32</i>		$C_{s,max,X}$ = 0,0322
	$C_{s,max,Y}$	= 0,0322
Batas Bawah	$C_{s,min,1}$	= $0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01$
<i>SNI 1726:2019 persamaan 34</i>		= 0,0304
Batas Bawah (dipakai jika $S_I \geq 0,6$ g)	$C_{s,min,2}$	= $0.5 S_I / (R/I_e)$
<i>SNI 1726:2019 persamaan 35</i>		= 0,0232
Koefisien Respons Seismik Pakai	$C_{s,pakai,X}$	= 0,0322
	$C_{s,pakai,Y}$	= 0,0322
Berat Seismik Efektif	W	= 893335 kN

Lampiran 1. 7 Penskalaan Gempa

Parameter	Koefisien	Nilai
Gaya Geser Statik (Manual)	V	= $C_s * W$
<i>SNI 1726:2019 persamaan 30</i>		V_X = 28806,16 kN
	V_Y	= 28806,16 kN
Gaya Geser Statik (ETABS)	V_X	= 28563,86 kN
<i>(hanya untuk pembanding)</i>	V_Y	= 28564,14 kN
Faktor Skala Awal	SF	= $g / (R / I)$

<i>SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.2</i>		=	1,226	m/s ²
		=	1225,83	mm/s ²
Gaya Geser Respon Spektra Unscaled	$V_{i,X}$	=	14666,44	kN
	$V_{i,Y}$	=	15299,75	kN
Penskalaan Gaya Gempa	f_x	=	1,964	
	f_y	=	1,883	
Faktor Skala Baru	SF_X	=	2407,64	mm/s ²
	SF_Y	=	2307,98	mm/s ²

Lampiran 1. 8. Input Displacement Control

E Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

Full Load
 Displacement Control
 Quasi-Static (run as time history)

Control Displacement

Use Conjugate Displacement
 Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of mm

Monitored Displacement

DOF/Joint
 Generalized Displacement

Additional Controlled Displacements

Quasi-static Parameters

Time History Type

Output Time Step Size sec

Mass Proportional Damping 1/sec

Hilber-Hughes-Taylor Time Integration Parameter, Alpha

Lampiran 1. 9. Input Jumlah States

E Results Saved for Nonlinear Static Case

Results Saved

Final State Only Multiple States

For Each Stage

Minimum Number of Saved States: 10

Maximum Number of Saved States: 100

Save positive Displacement Increments Only

OK Cancel

Lampiran 1. 10. Input Beban Load Case Gedung

E Load Case Data

General

Load Case Name: Gravity Design...

Load Case Type: Nonlinear Static Notes...

Mass Source: Respon Spektra

Analysis Model: Default

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: _____

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	SuperDead	1
Load Pattern	Live	0,25
Load Pattern	Rain	0,25
Load Pattern	Dead	1

Add Delete

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: None

Load Application: Full Load Modify/Show...

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

Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis Modify/Show...

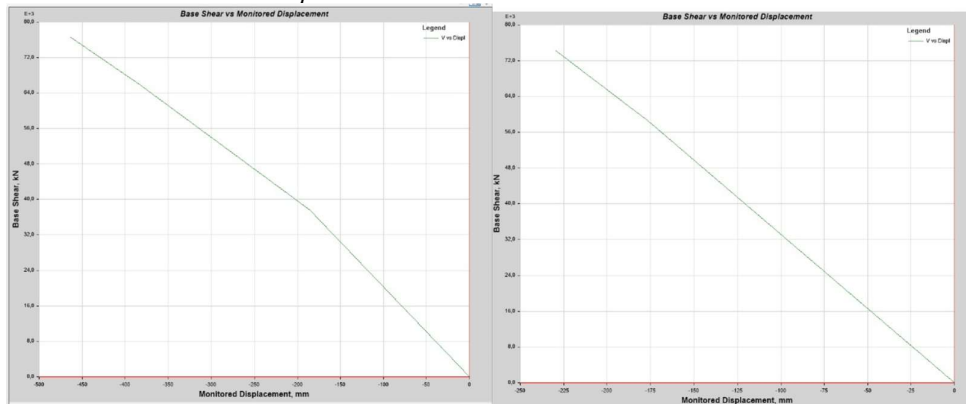
Nonlinear Parameters: Default - Iterative Event-to-Event Modify/Show...

OK Cancel

Lampiran 1. 11. Hasil Perhitungan Story Displacement Bangunan

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
14	214,55	221,26	-5,449	-2,344	3400	-29,970	-12,892	52,308	OK
13	220,00	223,61	5,257	5,128	3400	28,914	28,204	52,308	OK
12	214,74	218,48	8,321	8,225	3400	45,766	45,238	52,308	OK
11	206,42	210,25	11,260	11,131	3400	61,930	61,221	52,308	NOT OK
10	195,16	199,12	13,778	13,624	3400	75,779	74,932	52,308	NOT OK
9	181,38	185,50	16,155	15,789	3400	88,853	86,840	52,308	NOT OK
8	165,23	169,71	16,765	16,082	3400	92,207	88,451	52,308	NOT OK
7	148,46	153,63	17,919	17,297	3400	98,555	95,134	52,308	NOT OK
6	130,54	136,33	18,980	18,715	3400	104,390	102,933	52,308	NOT OK
5	111,56	117,61	20,156	20,898	3400	110,858	114,939	52,308	NOT OK
4	91,41	96,72	29,249	40,199	6000	160,870	221,095	92,308	NOT OK
3	62,16	56,52	25,739	23,200	4500	141,565	127,600	69,231	NOT OK
2	36,42	33,32	27,007	24,101	6000	148,539	132,556	92,308	NOT OK
1	9,41	9,22	9,410	9,216	5000	51,755	50,688	76,923	OK
0	0,00	0,00	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000	OK

Lampiran 1. 12 Hasil Base Shear Pushover



Lampiran 1. 13 Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 4 – Faktor keutamaan gempa

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

Lampiran 1. 14 Koefisien Batas Atas Periode Hitung

Tabel 17 – Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Lampiran 1. 15 Nilai Parameter C_t dan x

Tabel 18 – Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilindungi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Lampiran 1. 16 Simpangan Antar Tingkat Izin

Tabel 20 – Simpangan antar tingkat izin, $\Delta_a^{a,b}$

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

Lampiran 1. 17 Gambar Scan Lampiran

