

TUGAS AKHIR

ASESSMENT GEDUNG BERTINGKAT EKSISTING (STUDI KASUS GEDUNG KEUANGAN NEGARA II KOTA SEMARANG)

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

Tri Muliawan.

Yudha Taufikkurahman.

NIM : 30201800183

NIM : 30201800189

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2022

LEMBAR PENGESAHAN

ASESSMENT GEDUNG BERTINGKAT EKSISTING (STUDI KASUS GEDUNG KEUANGAN NEGARA II KOTA SEMARANG)



Tri Muliawan.
NIM : 30201800183



Yudha Taufikkurahman.
NIM : 30201800189

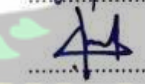
Telah disetujui dan disahkan di Semarang tanggal 12 Agustus 2022

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Prof. Dr. Ir. Antonius, MT**
NIDN: 060546703
2. **Lisa Fitriyana, ST., M.Eng**
NIDN: 0605016802
3. **M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng**
NIDN: 0625059102


.....

.....

.....



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

USULAN PENELITIAN TUGAS AKHIR

**"ASESSMENT GEDUNG BERTINGKAT EKSISTING
(STUDI KASUS GEDUNG KEUANGAN NEGARA II KOTA
SEMARANG)"**

Yang diajukan oleh :

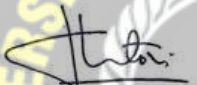
Tri Muliawan.
NIM : 30201800183

Yudha Taufikkurahman.
NIM : 30201800189

Yang disetujui oleh :

Jumat, 12 Agustus 2022
Pembimbing Utama

Jumat, 12 Agustus 2022
Pembimbing Pendamping


Prof. Dr. Ir. Antonius, MT
NIDN: 060546703


Lisa Fitriyana, ST., M.Eng
NIDN: 0605016802

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nomor : 11 / A.2 / SA-T / VII / 2022

Pada hari ini, Jumat tanggal 12 Agustus 2022 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping :

1. Nama : Prof. Dr. Ir. Antonius, MT
Jabatan Akademik : Guru Besar
Peran : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng
Jabatan Akademik : Lektor
Peran : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir :

Tri Muliawan,

Yudha Taufikkurahman.

NIM : 30201800183

NIM : 30201800189

Judul : ASESSMENT GEDUNG BERTINGKAT EKSISTING (STUDI KASUS GEDUNG KEUANGAN NEGARA II KOTA SEMARANG)

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	20 Februari 2022	-
2	Seminar Proposal	29 Maret 2022	ACC
3	Pengumpulan data	22 Februari 2022	-
4	Analisis data	April 2022	-
5	Penyusunan laporan	Mei 2022	-
6	Selesai laporan	12 Agustus 2022	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Tri Muliawan

NIM : 30201800183

NAMA : Yudha Taufikkurahman

NIM : 30201800189

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

"ASESSMENT GEDUNG BERTINGKAT EKSISTING (STUDI KASUS GEDUNG KEUANGAN NEGARA II KOTA SEMARANG)"

Benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 12 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Tri Muliawan.

NIM : 30201800183



Yudha Taufikkurahman.

NIM : 30201800189

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Tri Muliawan
NIM : 30201800183
NAMA : Yudha Taufikkurahman
NIM : 30201800189
JUDUL TUGAS AKHIR : Asessment Gedung Bertingkat Eksisting (Studi Kasus Gedung Keuangan Negara II Kota Semarang)

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan – bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 12 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Tri Muliawan.

NIM : 30201800183



Yudha Taufikkurahman.

NIM : 30201800189

MOTTO

“Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik.”

-Q.S Ali Imron: 110-

“Dunia ini ibarat bayangan. Kalau kamu berusaha menangkapnya, ia akan lari. Namun kalo kamu membelakanginya, maka ia tak punya pilihan lain selain mengikutimu”

-Ali bin Abi Thalib-

“Barang siapa yang melepaskan satu kesusahan seorang mukmin, pasti Allah akan melepaskan darinya satu kesusahan pada hari kiamat. Barang siapa yang menjadikan mudah urusan orang lain, pasti Allah akan memudahkannya di dunia dan di akhirat”

-HR. Muslim-

“Belajar dari masa lalu, hidup untuk hari ini, dan berharap untuk hari esok. Hal yang terpenting adalah jangan berhenti bertanya”

-Albert Einstein-

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak H. Ngarimin dan Ibu Hj.Kasminah yang senantiasa selalu memberikan do'a, kasih sayang, dorongan motivasi, semangat dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
2. Kakak saya tercinta, Jumadi, SE dan Nur Hidayah, A.Md.Keb yang senantiasa selalu memberikan do'a, semangat dan dukungan secara moral maupun materiil.
3. Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT., dan Ibu Lisa Fitriyana, ST, M.Eng., yang telah membimbing kami sepenuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sangat bermanfaat dan sangat berguna selama saya menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA.
5. Saudara Yudha Taufikkurahman rekan Tugas Akhir, teman seperjuangan, dan saudara seiman.
6. Teman-teman kos The hanis yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan moral.
7. Saudari Bunga Ayu Muzdalifah yang senantiasa memberikan do'a , semangat dan dukungan moral.
8. Teman-teman Angkatan 2018 Fakultas Teknik Unissula yang telah memberikan dukungan.

Semarang, 12 Agustus 2022

Tri Muliawan

NIM : 30201800183

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Ngirpan dan Ibu Suhartatik yang senantiasa selalu memberikan do'a, kasih sayang, dorongan motivasi, semangat dan dukungan secara moral maupun secara materiil.
2. Kakak saya tercinta, Febi Mahindra Sakti, ST yang senantiasa selalu memberikan do'a, semangat dan dukungan secara moral maupun materiil.
3. Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT., dan Ibu Lisa Fitriyana, ST, M.Eng., yang telah membimbing kami sepenuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sangat bermanfaat dan sangat berguna selama saya menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA.
5. Saudara Tri Muliawan rekan Tugas Akhir, teman seperjuangan, dan saudara seiman.
6. Saudari Ameilia Dwi Anisa yang senantiasa memberikan do'a , semangat dan dukungan moral.
7. Teman-teman Angkatan 2018 Fakultas Teknik Unissula yang telah memberikan dukungan.

Semarang, 12 Agustus 2022

Yudha Taufikkurahman

NIM : 30201800189

KATA PENGANTAR

Assalamualikum Wr. Wb.

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “ASESSMENT GEDUNG BERTINGKAT EKSISTING (STUDI KASUS GEDUNG KEUANGAN NEGARA II KOTA SEMARANG)” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Yth. Bapak Ir. H Rachmat Mudiyo, MT, Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Yth. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Yth. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi.
4. Yth. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi.
5. Orang tua, keluarga, serta sahabat – sahabat dari kedua penulis atas dukungan dan serta bantuan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Semarang, 12 Agustus 2022

Tri Muliawan

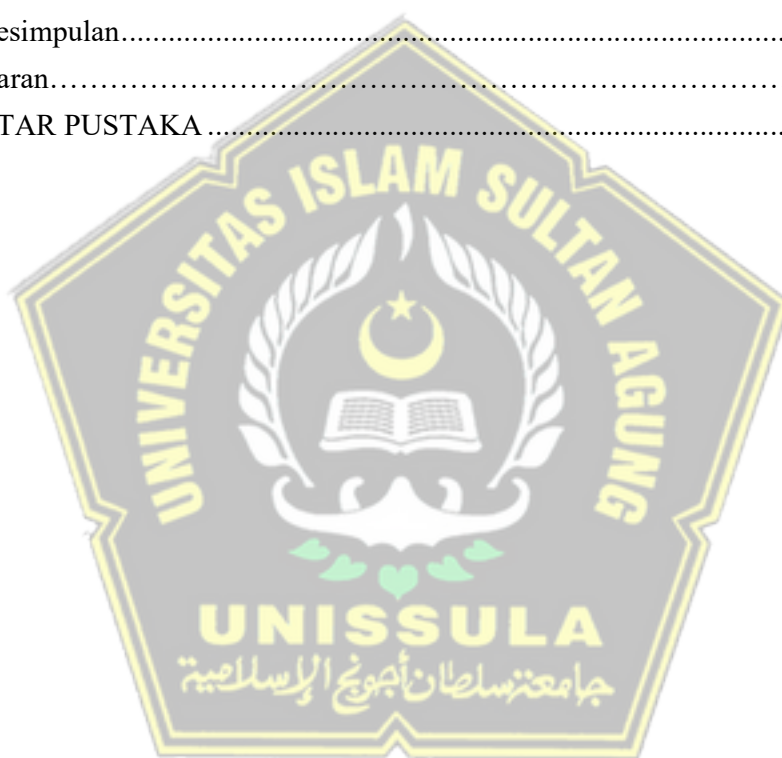
Yudha Taufikkurahman

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
USULAN PENELITIAN TUGAS AKHIR	iii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
PERNYATAAN KEASLIAN	vi
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN.....	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR NOTASI.....	xviii
Abstrak.....	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Objek Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Batasan Masalah.....	3
1.7. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Tinjauan Umum	5
2.2. Landasan Teori.....	5
2.2.1. Jenis Kerusakan Bangunan	5
2.2.2. Penyebab Kerusakan Bangunan.....	6
2.2.3. Jenis-Jenis Beban pada Struktur Bangunan.....	7
2.3. Sistem Struktur Tahan Gempa.....	8
2.3.1. Sistem Rangka Pemikul Momen.....	8
2.3.2. Desain Kapasitas	9
2.4. Prosedur Penilaian pada Struktur Beton Eksisting	10

2.5. Metode Pengujian <i>Non destructive (Schmidt Rebound Hammer)</i>	11
2.6. Pembebanan	12
2.6.1. Beban Mati.....	12
2.6.2. Beban Hidup	13
2.6.3. Beban Gempa.....	13
2.7. Analisa Struktur	20
2.7.1. Gempa Rencana	20
2.7.2. Kategori Resiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa	21
2.7.3. Klasifikasi Situs	21
2.7.4. Kategori Desain Seismik	22
2.7.5. Faktor Penahan Gaya Gempa.....	23
2.7.6. Kriteria Pemodelan.....	23
2.7.7. Penentuan Periode	23
2.7.8. Prosedur Analisa Dinamik Respon Spektrum	24
2.7.9. Analisa Program ETABS.....	25
2.7.10. Analisa <i>Pushover</i>	26
2.8. Penelitian Terdahulu	27
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1. Lokasi Penelitian.....	29
3.2. Pengumpulan Data	30
3.2.1. Data primer	30
3.2.2. Data Sekunder.....	30
3.3. Alur Penelitian	30
3.4. Peralatan Penelitian.....	31
3.4.1. Pengujian Lapangan	31
3.5. Diagram Alur Penelitian.....	40
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Tinjauan Umum	41
4.2. Hasil Investigasi Lapangan.....	41
4.2.1. Pengamatan Visual.....	41
4.2.2. Data Geometrik Bangunan.....	52
4.2.3. Hasil Penyelidikan Tanah.....	53
4.2.4. Data Hasil Hammer Test	54
4.3. Pemodelan Struktur Berdasarkan Kondisi Eksisting	56
4.4. Analisa Struktur	56
4.4.1. Pembebanan Gravitasi.....	56

4.4.2. Pembebanan Gempa pada Struktur	58
4.4.3. Kombinasi Pembebanan	66
4.4.4. Hasil Analisa Struktur	67
4.4.5. Konsekuensi Ketidakberaturan Struktur.....	89
4.4.6. Kapasitas Penampang Struktur	95
4.5. Analisis Kinerja Struktur Berdasarkan Hasil Pushover	98
4.5.1. Beban Gaya Gravitasi.....	98
4.5.2. Hasil Analisis Statik Non Linear (<i>Pushover</i>)	99
4.5.3. Hasil dan pembahasan Analisis Arah X	99
BAB V PENUTUP	104
5.1 Kesimpulan.....	104
5.2 Saran.....	104
DAFTAR PUSTAKA	106



DAFTAR TABEL

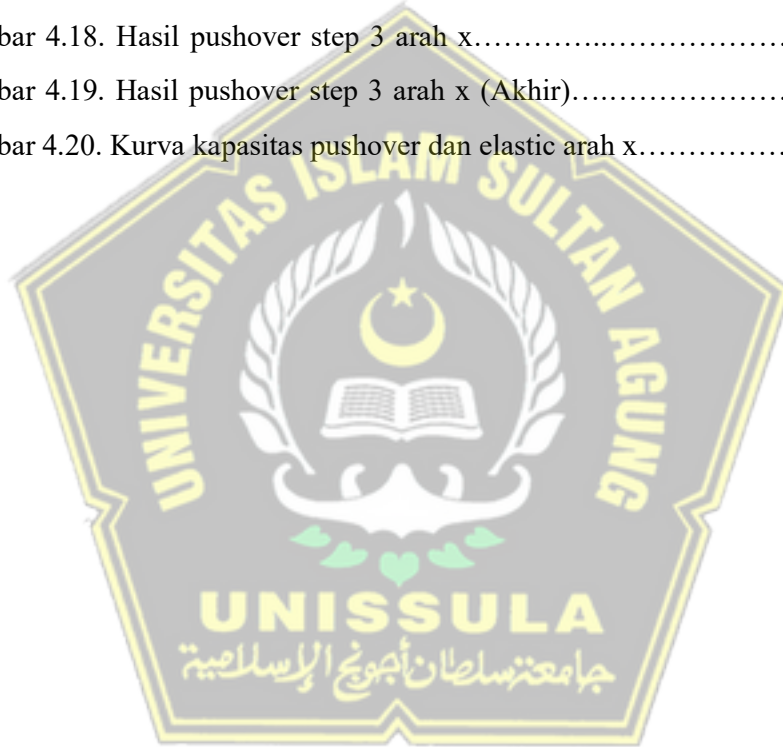
Tabel 2.1. Jenis pembebanan untuk beban mati	12
Tabel 2.2. Jenis pembebanan untuk beban hidup.....	13
Tabel 2.3. Koefisien situs, F_a	14
Tabel 2.4. Koefisien situs, F_v	14
Tabel 2.5. Ketidakberaturan horizontal	18
Tabel 2.6. Ketidakberaturan vertikal	19
Tabel 2.7. Kombinasi pembebanan	20
Tabel 2.8. Kategori bangunan risiko untuk gempa	21
Tabel 2.9. Faktor keutamaan gempa... ..	21
Tabel 2.10. Klasifikasi situs	22
Tabel 2.11. Kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan periode.	22
Tabel 2.12. Kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan periode.	22
Tabel 2.13. Faktor penahan gaya lateral.....	23
Tabel 2.14. Koefisien pembatas periode getar struktur.....	24
Tabel 2.15. Koefisien pembatas periode getar struktur.....	24
Tabel 2.16. Penelitian terdahulu.....	27
Tabel 3.1. Form pengolahan hammer test.....	34
Tabel 4.1. Hasil pengamatan visual gedung A.....	43
Tabel 4.2. Hasil pengamatan visual gedung B.....	45
Tabel 4.3. Hasil pengamatan visual gedung C.....	48
Tabel 4.4. Data geometrik bangunan.....	52
Tabel 4.5. Data hasil booring tanah.....	53
Tabel 4.6. Nilai N-SPT dan N rata-rata.....	59
Tabel 4.7. Data spektrum respon gempa rencana.....	62
Tabel 4.8. Berat struktur setiap lantai.....	73
Tabel 4.9. Distribusi vertikal gaya gempa pada tiap lantai.....	75
Tabel 4.10. Distribusi horizontal gaya gempa pada tiap lantai.....	75
Tabel 4.11. Gaya geser statik dan dinamik tiap lantai.....	76

Tabel 4.12. Relasi gaya gempa statik-dinamik.....	76
Tabel 4.13. Gaya geser dinamik terkoreksi.....	77
Tabel 4.14. Gaya geser rencana tiap lantai.....	78
Tabel 4.15. Gaya gempa lateral rencana	79
Tabel 4.16. Simpangan antar lantai izin x - Dir	80
Tabel 4.17. Simpangan antar lantai izin y - Dir	80
Tabel 4.18. Beban P(Gravity) kumulatif	82
Tabel 4.19. Cek kestabilan (P-Delta) akibat gempa x.....	82
Tabel 4.20. Cek kestabilan (P-Delta) akibat gempa y.....	83
Tabel 4.21. Cek ketidakberaturan torsi arah x.....	84
Tabel 4.22. Cek ketidakberaturan torsi arah y.....	85
Tabel 4.23. Ketidakberaturan 1A arah x dan y.....	87
Tabel 4.24. Cek ketidakberaturan massa tingkat	87
Tabel 4.25. Cek ketidakberaturan tingkat lemah 5A dan 5B.....	88
Tabel 4.26. Rekapitulasi cek ketidakberaturan horizontal.....	89
Tabel 4.27. Rekapitulasi cek ketidakberaturan vertikal.....	89
Tabel 4.28. Konsekuensi pasal 7.8.4.3 arah x.....	92
Tabel 4.29. Konsekuensi pasal 7.8.4.3 arah y.....	92
Tabel 4.30. Simpangan antar tingkat izin.....	93
Tabel 4.31. Konsekuensi simpangan antar tingkat izin.....	93
Tabel 4.32. Prosedur analisis yang diizinkan.....	94
Tabel 4.33. Cek penampang kolom.....	96
Tabel 4.34. Cek penampang balok 50x90 cm (15m)	96
Tabel 4.35. Cek penampang balok 50x90 cm (6m)	97
Tabel 4.36. Cek penampang balok 50x90 cm (3m)	97
Tabel 4.37. Cek penampang balok 50x90 cm (4m)	98
Tabel 4.38. Gaya geser antar lantai yang digunakan sebagai beban dorong.....	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Lokasi sendi plastis struktur gedung pada tahap beban pushover...	10
Gambar 2.2. Faktor pembesaran torsi.....	17
Gambar 2.3. Bangunan gedung keuangan negara II	25
Gambar 2.4. Pemodelan gedung menggunakan Etabs	26
Gambar 2.5. Titik peforma.....	26
Gambar 3.1. Peta lokasi penelitian.....	29
Gambar 3.2. Bangunan gedung keuangan negara II.....	29
Gambar 3.3. Gambar hammer test.....	32
Gambar 3.4. Spesifikasi hammer test	32
Gambar 3.5. Posisi pengujian rebound hammer	33
Gambar 3.6. Contoh pengujian reboun hammer.....	33
Gambar 3.7. Form pengujian hammer test dilapangan.....	34
Gambar 3.8. Form pengujian hammer test.....	35
Gambar 3.9. Alat waterpass manual	36
Gambar 3.10. Pengujian waterpass menggunakan selang berisi air.....	37
Gambar 3.11. Skate hasil pengujian.....	37
Gambar 3.12. Skate hasil pengujian.....	38
Gambar 3.13. Skate hasil pengujian.....	38
Gambar 3.14. Pengujian rebar detector	39
Gambar 3.15. Bagan alur penelitian.....	40
Gambar 4.1. Tampak bangunan.....	42
Gambar 4.2. Denah struktur lantai 1 sampai dengan lantai 7.....	42
Gambar 4.3. Denah struktut lantai 8.....	43
Gambar 4.4. Pengujian rebound hammer	55
Gambar 4.5. Hasil pengujian hammer test.....	55
Gambar 4.6. Model tiga dimensi struktur.....	56
Gambar 4.7. Spektrum gempa rencana gedung keuangan negara II.....	63
Gambar 4.8. Distribusi gaya geser gempa arah x.....	78

Gambar 4.9. Distribusi gaya geser gempa arah y.....	78
Gambar 4.10. Simpangan antar lantai arah x	81
Gambar 4.11. Simpangan antar lantai arah y	81
Gambar 4.12. Cek kestabilan P-Delta arah x.....	83
Gambar 4.13. Cek kestabilan P-Delta arah y	83
Gambar 4.14. Skate gambar denah lokasi.....	86
Gambar 4.15. Kondisi awal struktur akibat gravitasi.....	99
Gambar 4.16. Hasil pushover step 1 arah x.....	99
Gambar 4.17. Hasil pushover step 2 arah x.....	100
Gambar 4.18. Hasil pushover step 3 arah x.....	100
Gambar 4.19. Hasil pushover step 3 arah x (Akhir).....	101
Gambar 4.20. Kurva kapasitas pushover dan elastic arah x.....	101



DAFTAR NOTASI

F_y	= Kuat leleh minimum yang nilainya tergantung dari mutu baja (MPa)
S_e	= Jarak antara tepi kolom ekivalen dengan tepi drop panel (mm)
A	= Luas dimensi kolom (mm ²)
W	= Berat beban total yang diterima kolom (kN)
F_c'	= Kuat tekan beton karakteristik (MPa)
SMS	= Parameter percepatan respon spectra pada periode pendek yang sudah menyesuaikan dengan pengaruh kelas situs
$SM1$	= Parameter percepatan respon spectra gempa periode 1 detik yang sudah menyesuaikan dengan pengaruh kelas situs
SDS	= Parameter percepatan respon spectra gempa periode pendek dengan redaman 5 persen
$SD1$	= Parameter percepatan respon spectra gempa periode 1 detik dengan redaman 5 persen
SS	= Parameter percepatan respon spectra gempa periode pendek yang ditinjau pada peta
$S1$	= Parameter percepatan respon spectra gempa periode 1 detik yang ditinjau pada peta
CS	= Koefisien respon seismic yang ditentukan
C_u	= Koefisien batasan atas periode yang dihitung
R	= Koefisien modifikasi respon
T	= Periode fundamental
T_a	= Periode fundamental pendekatan
δ_x	= Defleksi pada lantai ke-x
δ_{max}	= Defleksi maximum
δ_{avg}	= Defleksi rata-rata
C_d	= Faktor pembesaran simpangan lateral
I_e	= Faktor keutamaan gempa
τ	= Tegangan geser

V	= Gaya geser yang bekerja pada kolom akibat
A	= Luas penampang
DL	= Beban mati
LL	= Beban hidup
Mu	= Momen ultimate akibat bebann terfaktor
Mpr	= Momen maksimum dari setiap ujung komponen struktur yang bertemu diantara hubungan balok kolom yang bersangkutan
Rn	= Koefisien tahanan/koefisien kapasitas penampang
Pu	= Beban rencana (kN)
hn	= Ketinggian struktur (m)
CVX	= Faktor distribusi vertical
V	= Gaya lateral desain total atau geser didasar struktur (kN)
w _i /w _x	= Bagian berat gempa efektif total struktur (W)
k	= Eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai
F _i	= Bagian dari geser gempa (V) pada tingkat ke-I (kN)
V _t	= Gaya geser dasar hasil analisis ragam
P-Delta	= Simpangan lateral akibat beban gempa
CM	= Pusat massa
CR	= Pusat rotasi
e	= Eksentrisitas
SRPMK	= Sistem rangka pemikul momen khusus
Pu	= Beban aksial terfaktor hasil analisa struktur(kN)
Ag	= Luasan penampang kolom (mm ²)
Pn	= Beban aksial kolom (kN)
Vu	= Gaya geser terfaktor pada penampang
Vn	= Kuat geser nominal (kN)
SF	= Safety factor
P	= Beban terpusat (kN)
E	= Modulus elastisitas
J	= Konstanta torsi

ASESSMENT GEDUNG BERTINGKAT EKSISTING (Studi Kasus Gedung Keuangan Negara II, Kota Semarang)

Abstrak

Tri Muliawan¹⁾, Yudha Taufikkurahman¹⁾
Prof. Dr. Ir. Antonius, MT²⁾, Lisa Fitriyana, ST., M.Eng²⁾

Pembangunan gedung di Indonesia yang semakin berkembang pesat menyebabkan adanya pembaruan peraturan-peraturan terbaru sehingga perlu adanya analisa struktur gedung yang sudah lama berdiri. Gedung Keuangan Negara II, Kecamatan Semarang Utara, Kota Semarang merupakan gedung yang dibangun pada tahun 1984 yang mengalami berbagai kerusakan. Kerusakan yang paling terlihat adalah keretakan dinding, keretakan dan kemiringan lantai keramik, keretakan bagian kolom di lantai 1 – 3 dan pondasi diduga mengalami penurunan. Kondisi ini menjadi perhatian khusus bagi peneliti karena mengingat pihak terkait menginginkan gedung tersebut dapat terus beroperasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem struktur berdasarkan inspeksi sederhana secara visual, kondisi material eksisting dengan *Rebound Hammer* dan kemampuan layan struktur berdasarkan hasil pengujian dengan program ETABS V. 18.1.1.

Sumber data dalam penelitian ini berupa data primer dan sekunder. Sedangkan metode pengujian yang digunakan meliputi pengamatan visual, pemeriksaan gambar kerja atau *As Build Drawing*, pengujian homogenitas beton dengan *Schmidt Rebound Hammer Test*, pengujian elevasi dengan alat *water pass*, pemodelan struktur dan analisa struktur menggunakan program ETABS V. 18.1.1.

Berdasarkan hasil analisis data yaitu non-linear statik (*Pushover*) diperoleh arah X level untuk kinerja struktur yang berada pada level *Immediate Occupancy* yang artinya bangunan masih aman ketika terjadi gempa

Kata Kunci : Beton, Gedung, Gempa, Kelayakan, Struktur

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Sipil Unissula

²⁾Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Unissula

ASSESSMENT OF EXISTING HIGH-RISE BUILDINGS (Case Study of State Finance Building II, Semarang City)

Abstrak

Tri Muliawan¹⁾, Yudha Taufikkurahman¹⁾
Prof. Dr. Ir. Antonius, MT²⁾, Lisa Fitriyana, ST., M.Eng²⁾

Building construction in Indonesia, which is growing rapidly, has resulted in the renewal of the latest regulations, so it is necessary to analyze the structure of buildings that have been around for a long time. State Finance Building II, North Semarang District, Semarang City is a building built in 1984 which suffered various damages. The most visible damage is wall cracks, cracks and slope of the ceramic floor, cracks in the columns on floors 1 – 3 and the foundation is suspected to have decreased. This condition is a special concern for researchers because the relevant parties want the building to continue to operate. This study aims to analyze the structural system based on a simple visual inspection, the condition of the existing material with a rebound hammer and the serviceability of the structure based on the test results using the ETABS V. 18.1.1 program.

This study uses data sources, namely primary data and secondary data. The test methods used include visual observation, inspection of working drawings or As Build Drawing, testing of concrete homogeneity with the Schimdt Rebound Hammer Test, elevation testing with a water pass, structural modeling and structural analysis using the ETABS V. 18.1.1 program.

Based on the results of non-linear static analysis (Pushover) for the X direction, the performance level of the structure is at the Immediate Occupancy , which means the building is still safe when an earthquake occurs.

Keywords : Concrete, Building, Earthquake, Feasibility, Structure

¹⁾Student of Faculty of Engineering, Civil Engineering Study Program, UNISSULA

²⁾ Lecturer of Faculty of Engineering, Civil Engineering Study Program, UNISSULA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Era pembangunan yang berada di Indonesia yang semakin berkembang dan pesat dengan seiringnya pertumbuhan jumlah penduduk dan kemajuan teknologi. Bangunan gedung merupakan salah satu hasil pekerjaan konstruksi yang digunakan sebagai tempat kegiatan manusia baik sebagai hunian, fasilitas kesehatan, fasilitas pendidikan, fasilitas umum publik maupun perkantoran. Proses pembangunan konstruksi gedung melalui berbagai tahapan pekerjaan mulai dari kegiatan perencanaan, pelaksanaan, hingga pengawasan. Standar dan ketentuan perencanaan gedung yaitu SNI Beton 2847-2019, persyaratan dalam rancangan beton struktural untuk kategori bangunan gedung yaitu SNI gempa 1726-2019. Standar tersebut tidak hanya berlaku untuk perencanaan gedung baru saja, namun juga berlaku untuk bangunan gedung yang sudah lama. Umumnya gedung yang sudah terbangun telah melalui berbagai proses mulai dari studi kelayakan, desain rekayasa detail dan pelaksanaan pekerjaan konstruksi, terutama berdasarkan segi desain struktur gedung tersebut.

Mengingat Indonesia termasuk negara yang sangat rawan terjadi gempa bumi yang diakibatkan oleh pertemuan 3 jalur lempengan tektonik. Lempeng tersebut adalah lempeng lempeng Eurasia, Indo-Australia dan lempeng Pasifik. Perkembangan teknologi yang semakin maju dalam menganalisis struktur bangunan guna meminimalisir risiko terhadap kemungkinan-kemungkinan yang dapat terjadi. Bangunan gedung yang sudah berdiri pada umunya telah direncanakan terhadap beban gempa bumi. Seiring berkembangnya waktu, terdapat pembaharuan peraturan-peraturan sehingga terdapat bangunan yang sudah berdiri sebelum peraturan terbaru berlaku.

Gedung Keuangan Negara II yang berlokasi Jl. Imam Bonjol No. 1D, Dadapsari, Kecamatan Semarang Utara, Kota Semarang dibangun pada tahun 1980-an. Seiring berjalannya waktu gedung mengalami kerusakan baik kerusakan arsitektural maupun kerusakan struktural. Kerusakan arsitektural berupa keretakan

di bagian dinding dan lantai keramik, sedangkan untuk kerusakan struktural yaitu keretakan pada bagian kolom yang dapat ditemukan di lantai 1-3, selain itu diduga pondasi mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena kondisi tanah yang lunak sehingga rawan terjadi kerusakan gedung apabila desain pondasi yang digunakan tidak tepat. Adanya permasalahan tersebut maka perlu untuk dilakukan penelitian terhadap penilaian tingkat kelayakan struktur gedung, mengingat pihak terkait menginginkan gedung tersebut dapat terus beroperasi. Bangunan tersebut akan dievaluasi menggunakan metode pengamatan visual, pemetaan struktur dan *Rebound Harmer* serta menggunakan program analisis struktur *ETABS V.18.1.1*. Hasil yang diharapkan adalah dapat mengetahui kelayakan gedung.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang terdapat pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana analisis material eksisting berdasarkan pengamatan visual?
2. Bagaimana analisis kondisi material struktur bangunan eksisting berdasarkan pengujian *Rebound Harmer*
3. Apakah hasil desain berdasarkan standar yang lama pada pembangunan gedung tahun 1980-an masih aman jika menggunakan standar SNI 1726-2019, 2847-2019, SNI 1727-2020 yang berlaku saat ini?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis sistem struktur berdasarkan inspeksi sederhana secara visual
2. Menganalisis kondisi material eksisting dengan *Rebound Harmer*
3. Menganalisis kemampuan layan struktur berdasarkan hasil pengujian dengan program analisa struktur *ETABS V.18.1.1*.

1.4. Objek Penelitian

Objek yang digunakan dalam penelitian ini merupakan Gedung Keuangan Negara yang berlokasi di Jl. Imam Bonjol No. 1D, Dadapsari,

Kecamatan Semarang Utara, Kota Semarang. Objek penelitian adalah sasaran ilmiah yang mejadi target untuk mendapatkan data baik itu data primer maupun sekunder yang bertujuan untuk menentukan hal yang bersifat objektif, kemudian validitas dan realiabilitas tentang suatu variable tertentu.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang akan diharapkan adalah :

1. Diharapkan mampu menjadi suatu pengembangan dari disiplin keilmuan Teknik Sipil terkait kelayakan struktur bangunan yang berbentuk gedung.
2. Diharapkan mampu mengembangkan prosedur evaluasi kekuatan struktur bangunan gedung dengan cara pengambilan sampel–sampel dilapangan sebagai dasar evaluasi kelayakan struktur.
3. Diharapkan mampu menjadi prosedur evaluasi kekuatan struktur bangunan gedung dengan cara : pengolahan data lapangan, analisis pembebanan, dan analisa struktur untuk mengetahui keamanan sebuah gedung.
4. Diharapkan mampu mengedukasi terkait informasi mengenai kondisi struktur bangunan eksisting pada penggunaanya jika akan dilakukan pengalihan fungsi ruang.

1.6. Batasan Masalah

1. Studi kasus pada Gedung Keuangan Negara berlokasi Jl. Imam Bonjol No. 1D, Dadapsari, Kecamatan Semarang Utara, Kota Semarang.
2. Analisis terhadap kondisi struktur eksisting di lapangan.
3. Analisis hanya pada aspek structural tidak membahas aspek arsitektural dan mekanikal elektrik.
4. Pengujian bangunan eksisting dengan menggunakan *Rebound Rammer*.
5. Standar peraturan yang digunakan dalam penelitian yaitu Standar Nasional Indonesia untuk bangunan gedung terbaru meliputi SNI 1727-2020, SNI 2847-2019, dan SNI 1726-2019.

1.7. Sistematika Penulisan

Rincian penyusunan dalam laporan Proposal Tugas Akhir penelitian ini adalah :

BAB I PENDAHULUAN

Bab pendahuluan membahas terkait latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, objek penelitian, manfaat penelitian, batasan dalam penelitian serta sistematika dalam penulisan laporan Proposal Tugas Akhir

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan terkait sumber referensi dan regulasi yang diterapkan untuk menganalisis struktur dalam bangunan

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas terkait prosedur metode yang digunakan dalam penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab hasil dan pembahasan membahas terkait hasil yang diperoleh dalam penelitian serta dibahas melalui hasil penghitungan menggunakan teknik *output* analisis program struktur yang diaplikasikan melalui ETABS

BAB V PENUTUP

Bab penutup membahas terkait kesimpulan berdasarkan hasil analisis serta saran yang diberikan dari penulis laporan Proposal Tugas Akhir

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Uji kelayakan struktur dalam bangunan gedung berfungsi untuk menjaga keamanan bangunan gedung dari pondasi maupun material agar mampu menahan beban bangunan dan meminimalisir resiko yang dapat merugikan. Analisa kelayakan struktur gedung umumnya dilakukan pada bangunan yang mengalami kerusakan baik akibat penggunaan maupun umur bangunan. Bangunan yang sudah lama berdiri umumnya mengalami kerusakan seperti terjadinya penurunan mutu material. Semakin lama usia bangunan, maka kerusakan yang terjadi pada bangunan akan semakin banyak (Purwanto, *et.al.*, 2021). Terjadinya penurunan mutu material berpengaruh terhadap kemampuan layan khususnya ketika terjadi gempa bumi sehingga diperlukan kajian terhadap teknis aspek struktural. Kelayakan struktur dalam bangunan sangat ditentukan berdasarkan parameter kualitas material sebuah gedung dan parameter dari respon struktur terhadap suatu beban gempa (Ribowo *et. al.*, 2020).

Terdapat kondisi dimana batas yang mampu digunakan menjadi sebuah pedoman dalam evaluasi kelayakan struktur khususnya beton bertulang (Antonius, 2020) yaitu :

1. Kondisi batas ultimit yang disebabkan karena hilangnya sebuah keseimbangan global atau lokal, *repture*, yaitu hilangnya sebuah ketahanan lentur beserta geser elemen dari struktur
2. Kondisi batas pada kemampuan layanan yaitu menyangkut terkait berkurangnya fungsi dalam struktur
3. Kondisi batas khusus terkait keruntuhan atau kerusakan yang diakibatkan oleh beban yang abnormal.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Jenis Kerusakan Bangunan

Kerusakan struktur bangunan dapat dikelompokkan menjadi dua adalah kerusakan bersifat struktural maupun non struktural. Kerusakan struktur bangunan merupakan kerusakan struktur bangunan yang berpengaruh langsung ataupun tidak

langsung terhadap struktur sebuah bangunan, sedangkan non struktural adalah kerusakan bangunan yang tidak berdampak pada struktur bangunan. Kategori kerusakan bangunan struktural dan non struktural adalah (Purwanto *et.al.*, 2021) :

a. Kerusakan bangunan struktural

Kategori kerusakan bangunan struktural terdiri dari:

1. Kerusakan pondasi bangunan mengakibatkan penurunan bangunan
2. Kerusakan struktur kolom atau balok mengakibatkan keretakan pada area sekitar
3. Kerusakan struktur plat lantai mengakibatkan kerusakan area lantai bangunan
4. Kerusakan struktur atap mengakibatkan kebocoran atau rembesan lainnya

b. Kerusakan bangunan non struktural

Kategori kerusakan bangunan non struktural sebagai berikut:

1. Keramik pada lantai maupun dinding yang pecah atau rusak
2. Cat dinding mengelupas atau memudar
3. Kebocoran saluran air
4. Kerusakan jalur listrik yang mengakibatkan lampu mati dan saklar tidak menyala
5. Kerusakan pintu ataupun aksesoris opening bangunan lainnya
6. Kerusakan sanitasi kamar mandi

2.2.2. Penyebab Kerusakan Bangunan

Umumnya penyebab kerusakan bangunan terdiri atas faktor dari manusia, selain itu faktor usia dan material serta faktor manajemen juga berpengaruh. Menurut Rohmat (2020) kerusakan bangunan gedung disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya:

a. Faktor usia bangunan

Seiring bertambahnya usia sebuah bangunan hal ini terjadi penurunan dari kualitas serta kemampuan untuk dapat menahan suatu beban apabila tidak dilakukan pemeliharaan secara teratur sehingga kerusakan bangunan tergantung pada waktu (*time dependant*).

b. Faktor kondisi tanah dan air tanah

Kondisi tanah terhadap bangunan berpengaruh besar terhadap stabilitasnya, dimana jika dalam memilih pondasi bangunan belum sesuai dengan keadaan kondisi tanah maka akan berakibat penurunan pada sebuah bangunan. Air tanah juga berpengaruh karena dapat menyebabkan lumutan dan perembesan dalam komponen sebuah bangunan.

c. Faktor angin

Mutu beton yang tidak memenuhi akan syarat, dimensi terlalu kecil, metode pelaksanaan dan pengaplikasian besi yang tidak benar dapat berakibat jika dihantam kekuatan angin. Akibat yang ditimbulkan pada bangunan yaitu atap bangunan menjadi naik terangkat, pondasinya bergeser bahkan roboh.

d. Faktor gempa

Untuk meminimalisir dampak dari bencana gempa, maka sebuah bangunan harus direncanakan serta dirancang untuk dapat tahan terhadap guncangan gempa sesuai dengan standar yang berlaku. Bangunan yang menggunakan standar tahan gempa lama maka harus dikaji dengan standar baru.

e. Faktor kualitas bahan

Pemilihan kualitas bahan yang digunakan pada struktur bangunan harus sesuai dengan tujuan penggunaan, apabila tidak sesuai maka bahan material tidak bertahan lama atau mudah rusak.

f. Faktor kualitas perencanaan

Kesalahan perencanaan akan mempengaruhi umur bangunan dan menyebabkan kerusakan baik saat pelaksanaan maupun masa penggunaan bangunan.

2.2.3. Jenis-Jenis Beban pada Struktur Bangunan

Berdasarkan arah kerja beban dibagi menjadi dua. Beban yang pertama adalah beban horizontal. Beban yang kedua adalah beban vertikal. Beban vertikal adalah beban statis yang memiliki perubahan intensitas pada beban terhadap sebuah waktu yang konstan. Beban statis memiliki penggolongan yaitu beban hidup dan beban mati. Beban horizontal adalah beban dinamis yang memiliki perubahan intensitas pada beban yang bervariasi terhadap suatu waktu yang cepat. Beban

dinamis digolongkan menjadi beban angin dan beban gempa. Struktur bangunan terdiri dari beberapa jenis beban yang terjadi yaitu:

a. Beban Mati

Beban mati yaitu berat dari keseluruhan bahan dari konstruksi bangunan suatu gedung yang terpasang, meliputi dinding, atap, lantai, plafon, dinding partisi tetap, finishing, tangga, dan komponen berupa arsitektural maupun struktural yang berisi peralatan layanan termasuk alat berat derek serta alat pengangkut material.

b. Beban Hidup

Beban yang dapat diakibatkan melalui penghuni bangunan atau pengguna bangunan.

c. Beban Gempa

Beban gempa diakibatkan oleh getaran gempa bumi. Beban gempa yang terdapat pada standar SNI 1726 2019 telah ditetapkan besarnya yaitu selama umur sebuah struktur bangunan adalah 50 tahun sebesar 2%.

d. Beban Angin

Beban angin adalah beban pada struktur di lintasan angin yang dapat menyebabkan aliran angin dapat berbelok atau mungkin dapat terhenti. Angin dapat menimbulkan sebuah tekanan maupun hisapan pada suatu struktur bangunan.

2.3. Sistem Struktur Tahan Gempa

2.3.1. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen merupakan sistem rangka yang dimana komponen yang terdapat pada struktur dan joinan yang menahan gaya yang bekerja. Sistem ini terbagi atas 3 bagian yaitu (Karisoh *et.al.*, 2018) :

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), memiliki tingkat dektilitas yang terbatas serta hanya cocok apabila digunakan pada daerah dengan tingkat resiko sebuah kejadian gempa yang masih rendah, kelebihan dari sistem ini adalah arsitekturalnya yang sederhana dan biaya yang terjangkau, sedangkan kekurangan dari sistem ini adalah struktur sangat beresiko jika sewaktu-waktu terjadi perubahan alam dan mempengaruhi kondisi tanah yang ada.

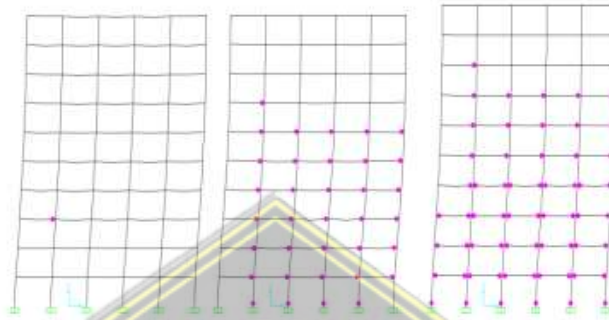
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), memiliki tingkat dektilitas yang sedang serta cocok diterapkan pada daerah yang tingkat resiko gempanya tergolong sedang, kelebihan dari SRPMM ini adalah arsitektural yang sederhana dan tidak memerlukan banyak perkuatan, sedangkan kekurangan dari sistem ini adalah struktur sangat beresiko jika sewaktu-waktu terjadi perubahan alam dan mempengaruhi kondisi tanah yang ada.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), memiliki tingkat dektilitas yang tinggi serta cocok diterapkan pada daerah yang resiko gempanya tinggi. Kelebihan dari sistem ini adalah dari arsitekturalnya yang sederhana, sedangkan kekurangannya yaitu pendetailan yang kompleks sehingga dapat mempersulit pekerjaan.

2.3.2. Desain Kapasitas

Ketahanan struktur terhadap gempa bumi merupakan hal yang sangat penting dengan tujuan yaitu untuk mencegah struktur mengalami keruntuhan bangunan yang dapat menimbulkan terjadinya korban jiwa. Struktur wajib dirancang dengan mempertimbangkan pengaruh yang disebabkan dari gaya lateral (gempa bumi) tersebut. Sehingga digunakan kombinasi parameter struktur sebagai satu kesatuan yang disebut sistem rangka pemikul momen. Hierarki keruntuhan yang semestinya diperhatikan adalah :

1. Hierarki keruntuhan diantara bahan yang terdapat di dalam struktur beton yang bertulang.
Baja merupakan bahan yang sangat dektail daripada bahan yang terbuat dari beton. Sehingga diharapkan baja tersebut mengalami keruntuhan terlebih dahulu sebelum kolom
2. Hierarki keruntuhan diantara mekanisme gaya yang terdapat pada suatu elemen struktur.
Keruntuhan pada suatu elemen struktur akibat lentur wajib terjadi terlebih dahulu sebelum keruntuhan akibat geser sehingga didapatkan keruntuhan yang lebih dektail.

3. Hierarki keruntuhan diantara elemen yang dapat membentuk sebuah struktur.
Kerusakan dalam kolom biasanya akan sulit diperbaiki sehingga kerusakan yang terjadi pada kolom wajib dihindari sehingga struktur kolom telah dirancang lebih kuat daripada balok karena dikhawatirkan jika terdapat keruntuhan pada balok, bangunan tetap bersifat dektail dan lebih terkontrol



Gambar 2.1. Lokasi pada sendi plastis struktur sebuah gedung pada tahap beban *push-over*

2.4. Prosedur Penilaian pada Struktur Beton Eksisting

Prosedur pada penilaian struktur bertujuan agar memperoleh visualitas mengenai kondisi sebuah struktur. Prosedur pada penilaian struktur meliputi kapasitas pembebanan, kemampuan layan dan durabilitas atau keawetan beton yang menerima beban. Prosedur penilaian struktur dilaksanakan sesuai kebutuhan pada sebuah pekerjaan yang dilakukan. Terdapat tahap-tahap penting untuk prosedur penilaian pada struktur beton eksisting yaitu:

a. Pemeriksaan atau Pengujian Struktur Eksisting

Pemeriksaan dalam struktur eksisting bertujuan agar mengetahui info secara detail mengenai keadaan material pada bangunan. Berikut merupakan hal yang perlu diperhatikan:

1. Mengidentifikasi semua kerusakan pada bangunan
2. Mendiagnosa sebab dari kerusakan pada bangunan
3. Mengevaluasi kerusakan yang telah diidentifikasi

Bentuk metode pengujian yang dapat dilakukan yaitu metode bersifat setengah merusak atau merusak total maupun metode bersifat tidak merusak. Info yang

didapatkan dari pemeriksaan pada struktur eksisting dapat diterapkan untuk menentukan sebuah tindakan dalam perbaikan.

b. Tahapan Pemeriksaan atau Pengujian Struktur Eksisting

Umumnya terdapat tiga tahapan dalam pemeriksaan atau pengujian struktur eksisting yaitu:

1. Perencanaan

Tahap perencanaan mencakup identifikasi masalah, pemilihan metode pengujian, penentuan jumlah benda uji dan pemilihan lokasi pengujian. Tahapan-tahapan yang dilakukan pada tahap perencanaan yaitu:

- Penyelidikan visual digunakan untuk mendefinisikan masalah
- Pemilihan jenis pengujian yang memperhatikan beberapa hal seperti tingkat kerusakan struktur, waktu dalam pengerjaan, anggaran, tingkat keandalan dan peralatan.
- Jumlah serta lokasi pengujian ditentukan berdasarkan tingkat akurasi, biaya serta tingkat kerusakan

2. Pelaksanaan

Perlu diperhatikan pada tahapan pelaksanaan yaitu tingkat kesulitan mencapai lokasi pengujian dan pengaruh dalam gangguan yang kemungkinan terjadi oleh pengujian terhadap lingkungan.

3. Interpretasi

Tahap interpretasi terdiri dari tiga tahapan yaitu kalibrasi untuk memverifikasi bahwa akurasi alat ukur sesuai dengan rancangan, peninjauan variasi hasil pengukuran dan analisa perhitungan.

2.5. Metode Pengujian *Non destructive (Schmidt Rebound Hammer)*

Metode pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kerusakan beton pada bangunan yang diuji. Metode pengujian umumnya terdiri dari metode secara langsung maupun metode secara tidak langsung. Pada metode secara langsung terdapat pengamatan visual, analisis dan pengujian beban, sedangkan metode tidak langsung seperti pengukuran pada parameter yang dikaitkan dengan kekuatan serta kondisi pada kerusakan material. Berdasarkan tingkat kerusakan struktur, metode

pengujian terdiri dari pengujian *non-destructive* (tidak merusak), *semi-destructive* (setengah merusak) dan *destructive* (merusak). Metode pengujian *non-destructive* merupakan metode pengujian yang tidak merusak struktur yang ditinjau. Alat yang umumnya digunakan pada jenis pengujian tersebut adalah *Schmidt Rebound Hammer*.

Schmidt rebound hammer merupakan alat yang digunakan dalam pengujian kekerasan permukaan yang bertujuan untuk mengetahui keseragaman material beton dalam struktur, memperoleh perkiraan nilai yang kuat beton dan memperoleh info terkait ketahanan sebuah beton terhadap hempasan abrasi laut. Pengujian menggunakan alat ini dapat dilakukan secara cepat yang dimungkinkan dalam waktu singkat dapat menjangkau area yang luas. Kelebihan dari *Schmidt rebound hammer* yaitu harga terjangkau, pengukuran cepat, tidak merusak struktur dan praktis serta mudah digunakan. Kekurangan dari alat ukur ini yaitu tingkat keandalan rendah, hasil pengujian dipengaruhi oleh kerataan atau kehalusan permukaan, hanya memberikan informasi mengenai karakteristik dan sulit mengkalibrasi hasil pengukuran.

2.6. Pembebanan

2.6.1. Beban Mati

Pada suatu struktur terdapat beban mati meliputi berat semua bahan konstruksi dan komponen arsitektur dan struktural lainnya serta peralatan layanan yang terpasang termasuk alat berat, alat derak derek serta sistem pengangkut material (SNI 1727-2020). Beban yang bekerja pada bangunan atas didasarkan pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) tahun 1987.

Tabel 2.1 Jenis-jenis pembebanan untuk beban mati

Jenis	Beban		Besar Beban
Beban Mati	1.	Berat pada volume beton bertulang	2400 kg/m ³
	2.	Penutup pada lantai ubin per cm tebal	24 kg/m ²
	3.	Plafon asbes (eternit tebal maks 4 mm dengan rancangan rangka penggantung dari kayu	21 kg/m ²
	4.	ME	30 kg/m ₂
	5.	Pasangan dinding 1/2 bata	200 kg/m ²

2.6.2. Beban Hidup

Pada suatu struktur terdapat beban hidup yaitu beban yang ditimbulkan oleh pengguna bangunan (SNI 1727-2020). Adapun beban hidup yang diperhatikan dalam perencanaan pemodelan Gedung Keuangan Negara II ini :

Tabel 2.2 Jenis terkait pembebanan untuk beban hidup

Jenis	Beban		Besar Beban
Beban Hidup	1.	Beban hidup pada gedung perkantoran	2,4 kN/m ²

2.6.3. Beban Gempa

Sesuai SNI 1726-2019, untuk tahap awal harus dibuat dulu desain spektrum respon gempa rencana. Memperoleh data percepatan bantuan dasar S_s dan S_1 dari program Pushkim Indonesia, sehingga dapat dilakukan secara bertahap untuk membuat desain spektrum gempa rencana, untuk tahapan pembuatan dan perhitungannya dapat dilakukan sebagai berikut :

2.6.3.1. Perhitungan Koefisien Situs dan Parameter Respon Gempa

Menurut SNI 1726-2019 pasal 6 tercantum dalam tabel 6 dan tabel 7, digunakan untuk penentu respon spektral percepatan seismik maksimum.

Sehingga diperoleh nilai S_s , S_1 , F_a , F_v

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (2.1)$$

$$S_{MS} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (2.2)$$

Tabel 2.3 Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spectral percepatan gempa Maksimum yang di pertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpatakan 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	0,9
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	$SS^{(a)}$					

Beberapa parameter digunakan untuk menentukan koefisien F_v antara lain tercantum dalam tabel 2.3 terdapat nilai S_1 serta dalam tabel 2.4 terdapat nilai kelas situs diklasifikasikan berdasarkan jenis tanah.

Tabel 2.4 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spectral percepatan gempa Maksimum yang di pertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpatakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$	$S_s \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,9	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,4	2,0
SF						

2.6.3.2. Penentuan Nilai S_{DS} dan S_{D1}

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2.4)$$

2.6.3.3. Penentuan nilai T_0 dan T_s

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \dots\dots\dots (2.6)$$

2.6.3.4. Penentuan Nilai S_a

- a. Pada periode yang nilainya $<$ dari T_0 , *spectrum respons* percepatan sebuah desain, nilai S_a hendaknya diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \dots\dots\dots (2.7)$$

- b. Pada periode yang nilainya $>$ dari atau sama dengan T_0 dan $\geq$ dengan T_s , *spectrum respons* desain S_a , sama dengan S_{DS} .

- c. Pada periode yang nilainya $>$ dari T_s , *spectrum respons* percepatan sebuah desain, nilai S_a hendaknya diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{SD1}{T} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.6.3.5. Kontrol Gaya Geser Dasar

Pada beban geser terdapat dasar nominal statik ekuivalen yaitu :

$$V = C_s \times W_t \dots\dots\dots (2.9)$$

Penentuan nilai C_s :

- a. C_s maksimum

$$C_{smaksimum} = \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}} \dots\dots\dots (2.10)$$

- b. C_s hitungan

$$C_{shitungan} = \frac{SDS}{T \frac{R}{I_e}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan T sebagai waktu getar berdasarkan program bantu.

- c. C_s minimum

$$C_{sminimum} = 0,044 S_{DS} \cdot 1 \geq 0,01 \dots\dots\dots (2.12)$$

C_s minimum tambahan didasarkan S_1 jika $>$ dari 0,6 g

$$C_{S_{\text{minimum tambahan}}} = \frac{S1}{\frac{R}{I_e}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Penentuan nilai C_s pada kontrol gaya geser dasar yang diterapkan merupakan nilai C_s yang terdapat pada *interval* diantara nilai C_s minimum dan nilai maksimum.

Periode fundamental (T)

$$T_{a \text{ minimum}} = C_r \cdot h_n^x \dots\dots\dots (2.14)$$

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u \cdot T_{a \text{ minimum}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dari program ETABS V 18.1.1 diperoleh nilai pada periode fundamental (T) yang terdapat pada *interval* antara T_a pada nilai minimum dan T_a pada nilai maksimum.

2.6.3.6. Kontrol Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Berdasarkan SNI 1726-2019 dapat ditentukan kontrol simpangan antar lantai (*drift*) melalui persamaan sebagai berikut :

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

Keterangan :

δ_x = defleksi pada lantai bangunan ke-x

C_d = faktor pada pembesaran simpangan lateral pada tabel 12 SNI 1726-2019

I_e = faktor keutamaan gempa

Untuk kontrol simpangan antar lantai (*drift*) yang digunakan pada struktur sebuah sistem rangka pemikul dalam momen khusus yang dibatasi sebesar : $\Delta = 0,02 h_{sx}$

2.6.3.7. Eksentrisitas dan Torsi

Terjadinya torsi pada struktur dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis dari torsi adalah torsi bawaan serta torsi yang tak terduga, yang didasarkan pada SNI 1726-2019.

Suatu struktur memiliki defleksi ($\delta_{\max}$) dan defleksi yang rata-rata (δ_{avg}) yang dapat digunakan untuk menentukan ada atau tidaknya ketidakberaturan torsi pada struktur, gambaran defleksi pada suatu struktur dijelaskan dalam gambar 2.2. Ketidakberaturan pada torsi yang telah ditentukan oleh defleksi maksimum ($\delta_{\max}$) dan defleksi rata-rata (δ_{avg}) memiliki beberapa jenis yaitu sebagai berikut :

- a.) $\delta_{\max} < 1,2 \delta_{\text{avg}}$: Tanpa adanya ketidakberaturan pada torsi
- b.) $1,2 \delta_{\max} \leq \delta_{\max} \leq 1,4 \delta_{\text{avg}}$: Adanya ketidakberaturan pada torsi 1a
- c.) $\delta_{\max} > 1,4 \delta_{\text{avg}}$: Adanya ketidakberaturan pada torsi 1b

Faktor pada pembesaran torsi (A_x) dijelaskan dalam gambar 2.2 dan ditetapkan dengan persamaan sebagai berikut :

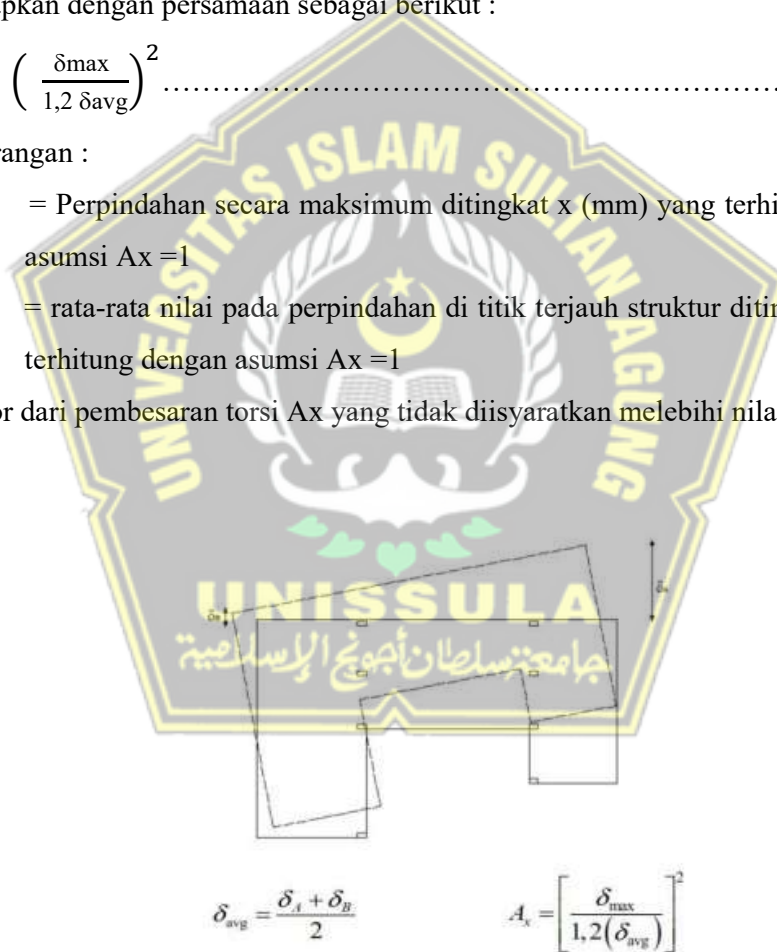
$$A_x = \left(\frac{\delta_{\max}}{1,2 \delta_{\text{avg}}} \right)^2 \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan :

$\delta_{\max}$ = Perpindahan secara maksimum ditingkat x (mm) yang terhitung dengan asumsi $A_x = 1$

δ_{avg} = rata-rata nilai pada perpindahan di titik terjauh struktur ditingkat x yang terhitung dengan asumsi $A_x = 1$

Faktor dari pembesaran torsi A_x yang tidak diisyaratkan melebihi nilai 3



$$\delta_{\text{avg}} = \frac{\delta_A + \delta_B}{2} \qquad A_x = \left[\frac{\delta_{\max}}{1,2 (\delta_{\text{avg}})} \right]^2$$

Gambar 2.2 Faktor pembesaran torsi

Tabel 2.5 Ketidakberaturan yang horizontal

No	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan KDS
1a	Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b	Ketidakteraturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persamaan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2. 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2	Ketidaksamaan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15^0 dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya. diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4	Ketidakteraturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	B, C, D, E, dan F D, e, dan F B, C, D, E, dan F D, E dan F B, C, D, E, dan F
5	Ketidakteraturan sistem nonparallel didefinisikan ad ajika elemen vertical pemikul gaya lateral tidak parallel terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan f

Tabel 2.6 Ketidakberaturan yang vertical

No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal reverensi	Penerapan KD
1a	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya	Tabel 16	D, E dan F
1b	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16 Pasal 7, 3, 3, 1	D, E dan F E dan F
2	Ketidakteraturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di seberang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau	Tabel 16	D, E dan F
3	Ketidakteraturan Geometri Vertikal Didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismic di seberang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismic tingkat di dekatnya.	Tabel 16	D, E dan F
4	Ketidakteraturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Gaya Lateral Didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya	Pasal 7, 3, 3, 3 Pasal 7, 3, 3, 4	B, C, D dan F D, E dan F D, E dan F
5a	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat Didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80% kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismic yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	Pasal 7, 3, 3, 1 Tabel 16	E dan F D, E dan F
5b	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat Didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismic yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	Pasal 7, 3, 3, 1 Pasal 7, 3, 3, 1 Tabel 16	D, E dan F B dan C D, E dan F

2.6.3.8. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan sesuai dengan SNI 2847-2019 Pasal 5.3.1

Tabel 2.7 Kombinasi pembebanan

Kombinasi beban	Beban utama
$U = 1,4 D$	D
$U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$	L
$U = 1,2D + 1,6L (L_r \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5W)$	L_r atau R
$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$	W
$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$	E
$U = 0,9D + 1,0W$	W
$U = 0,9D + 1,0E$	E

Keterangan :

U = Beban ultimate

D = Beban mati

L = Beban hidup

E = Beban gempa

2.7. Analisa Struktur

Menurut SNI 2847-2019 pasal 19.2 pada tabel 19.2.1.1 untuk beton normal, dimana kuat tekan beton (f_c') minimum 17 MPa, sedangkan pada sistem rangka pada pemikul momen yang khusus serta dinding structural yang khusus yaitu 21 MPa dan tegangan leleh baja ulir (f_y) untuk tulangan utama minimum 400 MPa. Penggunaan tulangan yang polos hanya dapat diterangkan untuk tulangan berbentuk spiral, sedangkan yang lainnya harus menggunakan tulangan ulir.

2.7.1. Gempa Rencana

Menurut SNI 1726-2019 Pasal 4.1.1 tabel 3 bahwa gempa yang rencana di tetapkan sebagai gempa yang kemungkinan terlampaui besarannya apabila umur struktur bangunan adalah 50 tahun sebesar 2%.

2.7.2. Kategori Resiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori resiko dari struktur bangunan gedung yang sesuai dengan SNI 1726-2019 yang dijelaskan pada tabel 2.8 dan faktor yang utama dalam gempa terdapat dalam tabel 2.9 sebagai berikut :

Tabel 2.8 Kategori risiko bangunan gedung untuk kejadian gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

Tabel 2.9 Faktor utama gempa

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

2.7.3. Klasifikasi Situs

Penetapan pada kelas situs yang didapatkan melalui penyelidikan dalam tanah di saat berada pada lapangan maupun di laboratotium yang dilakukan oleh pihak yang berwenang yaitu ahli bidang geoteknik yang bersertifikat. Profil tanah hasil dari penyelidikan geoteknik adalah minimum 30 meter, jika tidak tersedia sifat tanah yang memadai maka kelas pada situs SE harusnya sesuai dengan kategori persyaratan . Kelas pada situs SA serta SB tidak diperkenankan apabila terdapat > 3 m lapisan kontur tanah antara tanah dasar atau rakitan pondasi serta permukaan batuan dasar. Klasifikasi pada kelas situs diantaranya yaitu

Tabel 2.10 Klasifikasi pada situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau N_{ch}	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan yang keras)	>1500	n/a	n/a
SB (batu-batuan)	750–1500	n/a	n/a
SC (tanah)	350–750	15–50	≥ 100
SD (tanah yang sedang)	175–350	<15	50–100
SE (tanah yang lunak)	<175		<50
	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)	- Rawan berpotensi untuk gagal atau runtuh akibat gempa.		

2.7.4. Kategori Desain Seismik

Struktur bangunan ditetapkan mempunyai kategori desain seismik yang didasarkan pada kategori resiko bangunan yaitu:

Tabel 2.11 Kategori desain seismik yang didasarkan pada parameter percepatan dalam periode pendek

Nilai S_{Ds}	Kategori resiko	
	I atau II Atau III	IV
$S_{Ds} < 0,167$	a	a
$0,167 \leq S_{Ds} < 0,33$	b	c
$0,33 \leq S_{Ds} < 0,5$	c	d
$0,5 \leq S_{Ds}$	d	d

Tabel 2.12 Kategori desain seismik yang didasarkan pada parameter percepatan dalam periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori resiko	
	I atau II Atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	a	a
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	b	c
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	c	d
$0,2 \leq S_{D1}$	d	d

2.7.5. Faktor Penahan Gaya Gempa

Berdasarkan analisis kategori pada desain seismik menurut pasal 7.2.2 SNI 1726 2019 tercantum dalam Tabel 12 tentang faktor R, Cd dan Ω pada sistem pemikul dengan gaya seismik.

Tabel 2.13 Faktor penahan gaya lateral

Sistem dengan penahan gaya gempa	Koefisien modifikasi dalam Respon R	Faktor kuat	Faktor pembesaran pada defleksi	Batasan pada sistem struktur serta batasan tinggi hn (m)				
				Kategori pada desain seismik				
				B	C	D	E	F
1. Rangka beton yang bertulang pemikul dengan momen khusus	8	3	$5 \frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka beton yang bertulang pemikul dengan momen menengah	5	3	$4 \frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
3. Rangka beton yang bertulang pemikul dengan momen biasa	3	3	$2 \frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI

2.7.6. Kriteria Pemodelan

Prosedur analisis yang dapat dilakukan adalah sesuai pada kategori desain seismik serta spesifikasi bangunan dalam tabel 16 Pasal 7.7 SNI 1726 2019. Jika pemodelan 3D dilakukan minimal 3 derajat kebebasan terpenuhi yang terdiri dari dua arah translasi dan rotasi dapat terjadi dalam mode ke tiga menurut pasal 7.7.3

2.7.7. Penentuan Periode

Sesuai jenis sistem struktur periode desain tidak boleh kurang dari periode minimum dan melebihi periode maksimum struktur, percepatan periode 1 detik S_{DI} dan ketinggian bangunan sesuai Pasal 7.8.2 SNI 1726 2019.

Tabel 2.14 Koefisien pembatas pada periode getar struktur

Tipe struktur	Ct	X
Rangka baja dengan pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton dengan pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka beton bressing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja bressing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem dan struktur lainnya	0,0488	0,75

Tabel 2.15 Koefisien pembatas pada periode getar struktur

Parameter percepatan respon spectra desain pada 1 detik S_{dt}	Koefisien Pembatas (C_u)
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

2.7.8. Prosedur Analisa Dinamik Respon Spektrum

1. Jumlah ragam

Analisa harus mencakup jumlah varian untuk mendapatkan partisipasi setidaknya 90% dari massa struktur.

2. Skala Nilai Desain Apabila Digunakan Analisa Respon Spektrum

Jika periode fundamental yang dapat terhitung melebihi $C_u.T_a$ maka $C_u.T_a$ dapat digunakan sebagai pengganti T . Kombinasi pada respon untuk geseran basis varian (V_t) adalah $85\% < \text{basis geseran terhitung } (V)$ menggunakan sebuah prosedur dengan gaya lateral yang ekivalen kemudian dikalikan dengan $0,85.(V/V_t)$.

3. Berdasarkan SNI 1726 2019 untuk setiap kali analisis gerakan tanah, parameter respon individu dikalikan dengan skala :

- Parameter respon gaya dikali dengan (I/R) , dimana I merupakan faktor prioritas bangunan dan R merupakan koefisien dengan modifikasi respons.

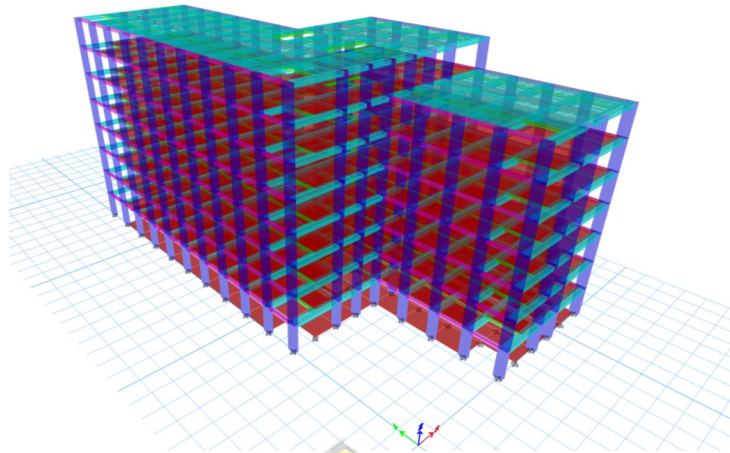
- Besarnya simpangan dikali dengan (Cd/I), dimana Cd merupakan faktor pembesar dalam defleksi dan I adalah faktor keutamaan bangunan.

2.7.9. Analisa Program ETABS

Program ETABS adalah alat bantu yang diperbantukan dalam menganalisa struktur bangunan yang dikembangkan oleh perusahaan *software Computer and Structure Incorporated* di Berkeley, California Amerika Serikat. Fitur-fitur pada ETABS tergolong simpel dan sangat cepat dioperasikan dibandingkan dengan *software* lainnya. *Software* ini diaplikasikan pada lima rancangan perencanaan struktur yaitu analisa frame beton, analisa dinding geser frame baja, analisa balok komposit dan analisa baja rangka beton. Analisa struktur yang digunakan berdasarkan SNI terbaru yang merujuk pada peraturan bangunan Amerika Serikat yaitu ACI 318 14 untuk beton, ASCE 7-16 untuk beban gempa bumi dan AISC 360-10 untuk struktur baja.



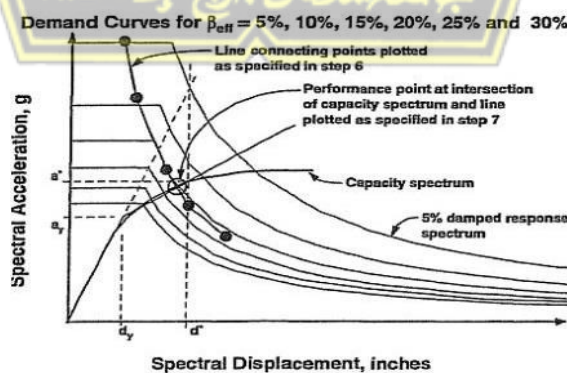
Gambar 2.3. Bangunan gedung keuangan negara II



Gambar 2.4. Pemodelan gedung menggunakan etabs

2.7.10. Analisa *Pushover*

Analisa pushover adalah analisa non linear yang digunakan untuk mengetahui bentuk pola keruntuhan dari sebuah struktur rangka bangunan. Hasil yang didapatkan dari analisa tersebut adalah gaya geser simpangan (*displacement*) dan geser dasar (*base shear*). Nilai-nilai ini kemudian divisualisasikan ke dalam kurva kapasitas untuk dapat memberikan gambaran dari perilaku struktur. Hasil dari analisis ini dapat mengkategorikan tingkat kinerja struktur berdasarkan pada titik performa (*performance point*) yang diperoleh dari titik temu antara kurva *reduce demand* dan *spectrum capacity*, selain itu juga dapat menunjukkan elemen struktur mana yang mengalami kerusakan.



Gambar 2.5. Titik performa

2.8. Penelitian Terdahulu

Kajian dalam penelitian terdahulu yang relevan bertujuan untuk mendukung dan menjadi bahan acuan bagi penelitian yang peneliti kaji, seperti terkait gambaran penelitian dengan topik yang sama yang sudah dilaksanakan oleh peneliti yang terdahulu. Kajian penelitian terdahulu dalam penelitian ini disajikan pada tabel 2.16

Tabel 2.16 Penelitian terdahulu

No	Penulis (tahun)	Judul	Metode	Hasil
1	Yuyun Yuliani dan Fathur Rohman (2018)	Analisa Kelayakan Struktur Gedung	Kuantitatif	Hasil analisis struktur menggunakan ETABS diperoleh bahwa bangunan 6 lantai berfungsi sebagai rumah sakit dengan luas 16500m ² . Struktur tersebut dinyatakan aman dan layak digunakan dengan tolok ukur standar dalam perencanaan yang telah diberlakukan
2	Mulyo Haris Pradono (2019)	Kajian pada Penerapan Standar Tahan Gempa Ditinjau dari Pemeriksaan Struktur Gedung Terbangun	Kuantitatif	Periode getar fundamental melebihi periode ijin sehingga perlu diperkuat kekakuan struktur. Struktur belum memenuhi kaidah. Desain hubungan balok serta kolom tidak sesuai standar. Rekomendasi peningkatan kekakuan struktur dengan Rangka <i>Bressing</i>
3	Lintang Enggartiaso (2020)	Studi Kelayakan pada Struktur Bangunan Lama Ditinjau dari Standar Bangunan Gedung Terbaru yang Berlaku di Indonesia	Kuantitatif	Berdasarkan pengamatan visual diperoleh bahwa struktur kolom dan balok dalam kondisi baik.

4	Lukman Nulhakim (2021)	Evaluasi pada Kelayakan Struktur Gedung Rumah Sakit Melati Sungai Penuh	Kuantitatif	Hasil analisis evaluasi struktur pada Gedung Rumah Sakit Melati Sungai Penuh didapatkan hasil mutu beton dalam elemen balok dan kolom rendah, kapasitas struktur bangunan tidak cukup kuat dan pemberian perkuatan pada dinding sangat direkomendasikan.
---	------------------------	---	-------------	--

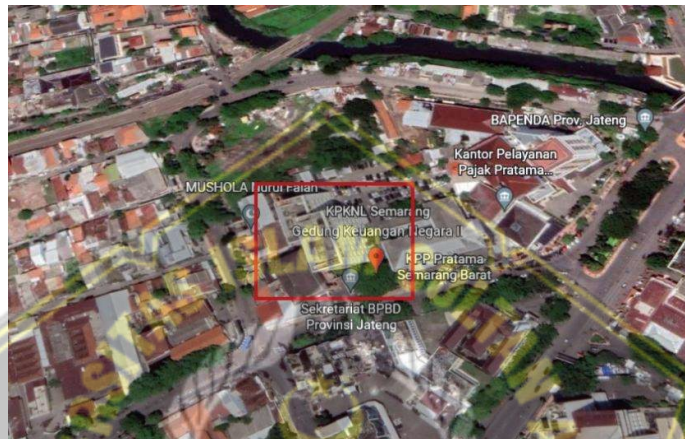


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Gedung Keuangan Negara II yang terletak di Jl. Imam Bonjol No. 1D, Dadapsari. Lokasi tepatnya berada di Kota Semarang.



Gambar 3.1. Peta lokasi penelitian



Gambar 3.2. Bangunan gedung keuangan negara II kota Semarang

3.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah pengumpulan sumber data primer dan sekunder yaitu :

3.2.1. Data primer

Data primer merupakan data yang diperoleh berdasarkan studi literasi dan data asli subjek yang diteliti. Sumber data primer meliputi :

1. Pengamatan visual
2. Pengujian *Rebound Hammer*
3. Pengujian *Water Pass*
4. *Rebar detector*

3.2.2. Data Sekunder

Data yang berjenis sekunder adalah data yang berupa literature, jurnal penelitian dan sumber lainnya yang relevan. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi :

1. Gambar *As Build Drawing*
2. SNI 2847 2019
3. SNI 1726 2019
4. SNI 1727 2020

3.3. Alur Penelitian

Pada alur penelitian ini penulis melakukan beberapa jenis pengujian meliputi pengujian lapangan dan analisa struktur menggunakan data-data hasil pengujian lapangan yang semua mengikuti sumber regulasi di Indonesia.

Pelaksanaan studi kelayakan pada struktur bangunan Gedung Keuangan Negara II kota Semarang Jawa Tengah ini dilaksanakan tahap-tahap pengujian yang meliputi :

1. Pengamatan secara visual baik secara langsung maupun dengan kamera untuk memeriksa kondisi struktur eksisting. Objek yang diamati meliputi deformasi struktur seperti lendutan pada balok dan pelat lantai, keretakan pada kolom dan cacat struktur seperti beton yang keropos. Hasil dari pengamatan visual berupa foto-foto elemen struktur baik yang sudah rusak maupun yang masih dalam kondisi baik
2. Pemeriksaan gambar kerja atau *As Build Drawing* yang digunakan untuk memeriksa apakah ukuran, tinggi dan panjang bentang sudah sesuai dengan kondisi eksisting atau tidak, gambar kerja ini juga digunakan pada proses analisa struktur untuk input data material eksisting terhadap beban-beban yang sesuai dengan standar peraturan terbaru
3. Pengujian homogenitas mutu permukaan beton dengan *Rebound Hammer* yang mengacu pada standar SNI 03 4430 – 1997
4. Pengujian *Rebar Detector* untuk mengetahui posisi penulangan pada kolom, balok serta untuk mengetahui tebal selimut beton
5. Pengujian elevasi dengan menggunakan alat *water pass* untuk mengetahui kemiringan balok, kolom dan plat lantai
6. Pemodelan struktur dan analisa struktur untuk mengetahui tingkat keamanan bangunan

3.4. Peralatan Penelitian

3.4.1. Pengujian Lapangan

Berdasarkan alur penelitian ini, pengujian yang dilakukan meliputi :

1. Pengamatan Visual

Pengamatan secara visual ini dilakukan untuk melihat kondisi struktur eksisting untuk mengindikasikan adanya kerusakan yang terjadi pada struktur. Pada tahap ini dilakukan pengamatan kondisi fisik hanya pada struktur struktur atas bangunan.

a. Struktur atas

Dimaksud struktur atas merupakan elemen bangunan yang terdapat di atas dasar permukaan tanah. Pengujian struktur atas yang dilaksanakan

meliputi pada elemen kolom, balok dan pelat lantai atau elemen portal (*frame*). Pengujian ini fokus terhadap elemen yang ada pada struktur atas karena mempunyai peran langsung memikul daya beban yang bekerja pada bangunan.

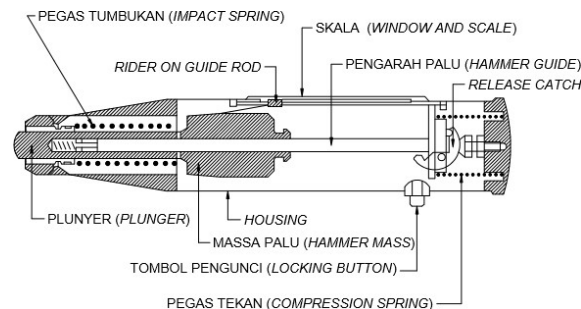
2. *Schmidt Rebound Hammer Test*

Schmidt Rebound Hammer merupakan alat yang digunakan untuk menguji homogenitas beton (Sembiring dkk., 2019). Berikut adalah contoh alat *Rebound Hammer Test* disajikan dalam Gambar 3.3 :



Gambar 3.3 Alat *hammer test*

Alat tersebut bisa digunakan secara horizontal, vertikal atau posisi vertikal ke bawah serta di setiap sudut menengah dengan cara palu tegak lurus dengan permukaan yang diuji. Aturan untuk penggunaan alat ini berdasarkan SNI 6680-2016 atau ASTM C 805. SNI 6880-2016 menjelaskan pasal tentang pengujian nondestruktif untuk keseragaman beton pada elemen struktur yaitu menggunakan palu beton (*hammer test*) sesuai dengan ASTM 805. Alat *hammer test* sangat berguna untuk melakukan pemeriksaan pada mutu beton yang tanpa merusak struktur beton, selain itu juga mendapatkan cukup banyak data secara efisien dari segi biaya. Spesifikasi alat *hammer test* tercantum pada Gambar 3.4 :



Gambar 3.4 Spesifikasi *hammer test*

Posisi pengujian *Rebound Hammer* tidak sama satu dengan yang lain karena kemungkinan struktur yang ditinjau letaknya sulit untuk dijangkau. Posisi pengujian sangat berpengaruh terhadap pengolahan data hasil pengujian, sehingga posisi pengujian perlu diperhatikan dengan baik. Berikut merupakan posisi pengujian yang disajikan dalam gambar 3.5 dan contoh pengujian dalam gambar 3.6 dan form pengujian disajikan dalam gambar 3.7 yaitu :



Gambar 3.5 Posisi pengujian *rebound hammer*



Gambar 3.6. Contoh pengujian rebound hammer

PROYEK :
LOKASI :
AREA :
TANGGAL :

Keterangan :

Pendamping Survey



Selanjutnya data diolah berdasarkan perhitungan SNI 03-4430-1997 untuk memperoleh perkiraan nilai beton eksisting. Berikut merupakan contoh tabel pengolahan data *Hammer Test* yang disajikan pada tabel 3.1 dan form pengujian data *Hammer Test* pada gambar 3.8 sebagai berikut :

[illegible]



Gambar 3.9 Alat waterpass manual

4. Pengukuran kemiringan bangunan

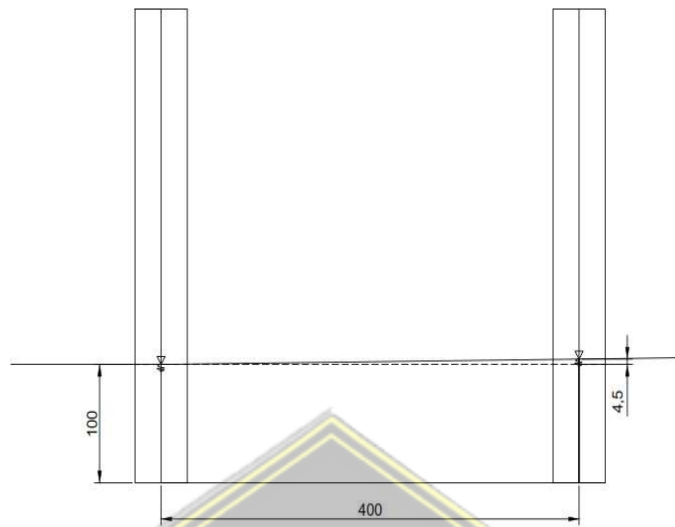
Metode pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *waterpass* manual dikarenakan pada Gedung Keuangan Negara II pada bagian struktur utama sudah dilapisi oleh *Aluminium Composite Panel* (ACP) sehingga jika menggunakan alat *waterpass* digital hasil yang diperoleh tidak memenuhi. Cara menggunakan alat *waterpass* manual ini yaitu menggunakan selang yang diisi dengan air, selang diletakkan sejajar di atas objek atau bidang kemudian diambil 2 kolom yang berdekatan misalnya kolom A dan B. Kedua kolom diukur hingga 1m ke arah vertikal dan ambil salah satu kolom untuk di jadikan acuan, misalkan yang diambil adalah kolom A sebagai acuan. Isi selang tersebut dengan air sesuai kebutuhan panjang selang tersebut untuk melakukan pengukuran, bantangkan selang tersebut ke kedua kolom. Jika setelah melakukan pengujian terjadi beda level ketinggian permukaan air dan dari ketinggian yang telah ditentukan 1m dari arah vertikal, maka bisa dipastikan bahwa gedung tersebut mengalami kemiringan. Berikut adalah contoh pengujian *waterpass* secara manual menggunakan selang berisi air pada gambar 3.10, dan skate hasil pengukuran dalam gambar 3.11, 3.12, 3.13 :



Gambar 3.10. Pengujian *waterpass* menggunakan selang berisi air



Gambar 3.11. Skate hasil pengujian



SKETSA GAMBAR WATERPASS SELANG
SKALA 1:10

Gambar 3.12. Skate hasil pengujian



SKETSA GAMBAR PERGUNG LANTAI 1-2
SKALA 1:40

Gambar 3.13. Skate hasil pengujian

5. *Rebar Detector*

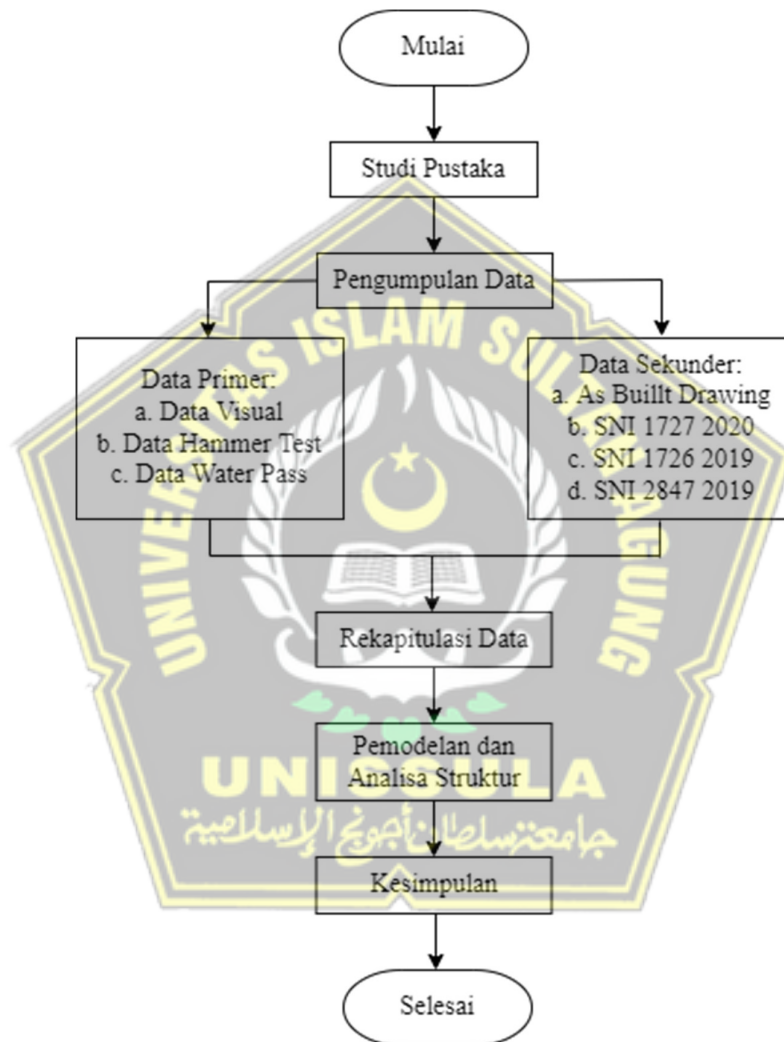
Berdasarkan keperluan untuk verifikasi dimensi serta penulangan elemen dari struktur balok dan kolom dari struktur sebuah Gedung Keuangan Negara II, kota Semarang diperlukan pengujian *rebar detector*. Tujuan pengujian ini adalah mencari letak tulangan pada elemen struktur yaitu bagian balok serta kolom. Berikut adalah contoh pengujian *rebar detector* yang disajikan dalam gambar 3.14.:



Gambar 3.14 : Pengujian *rebar detector*

3.5. Diagram Alur Penelitian

Untuk mempermudah dalam melakukan penelitian, maka dibuatlah diagram alur penelitian, dengan data primer didapat dari lokasi Gedung Keuangan Negara II, Kota Semarang yaitu sebagai berikut :



Gambar 3.15 Bagan alur penelitian

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Penilaian Struktur Eksisting ini dilakukan berdasarkan kebutuhan jangka panjang guna mengetahui tingkat kelayakan struktur. Gedung ini berdiri sekitar tahun 1980-an yang dikategorikan sebagai bangunan lama, maka dari itu penilaian terhadap struktur eksisting gedung ini dirasa perlu untuk dilakukan. Penilaian Struktur Eksisting ini perlu dilakukan untuk mengetahui bahwa bangunan sudah sesuai pada rencana awal atau belum, dan untuk mengetahui kekuatan untuk tahun – tahun selanjutnya terdapat beberapa aspek perubahan struktur atau tidak pada saat ini. Perubahan struktur yang dimaksud dapat berupa pelapukan elemen struktur yang terjadi akibat perubahan cuaca ekstrim. Berdasarkan hasil penyelidikan kondisi di lapangan pada bangunan Gedung Keuangan Negara II kota Semarang maka didapatkan data sebagai berikut :

1. Bangunan bertingkat 7 lantai pada gedung C dan 8 lantai pada gedung A dan B.
2. Elemen struktur menggunakan konstruksi beton bertulang.
3. Fungsi bangunan sebagai kantor.

4.2. Hasil Investigasi Lapangan

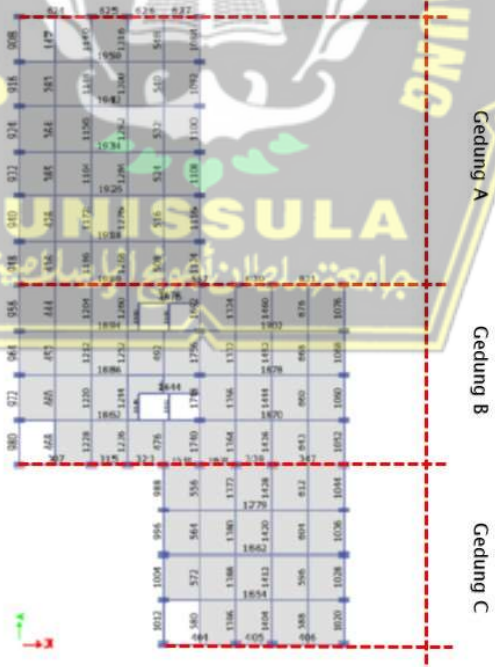
Investigasi di lapangan yang dilakukan meliputi pengamatan visual, data geometrik bangunan, data hasil pengujian *schmidt hammer*, dan hasil *rebar detector*.

4.2.1. Pengamatan Visual

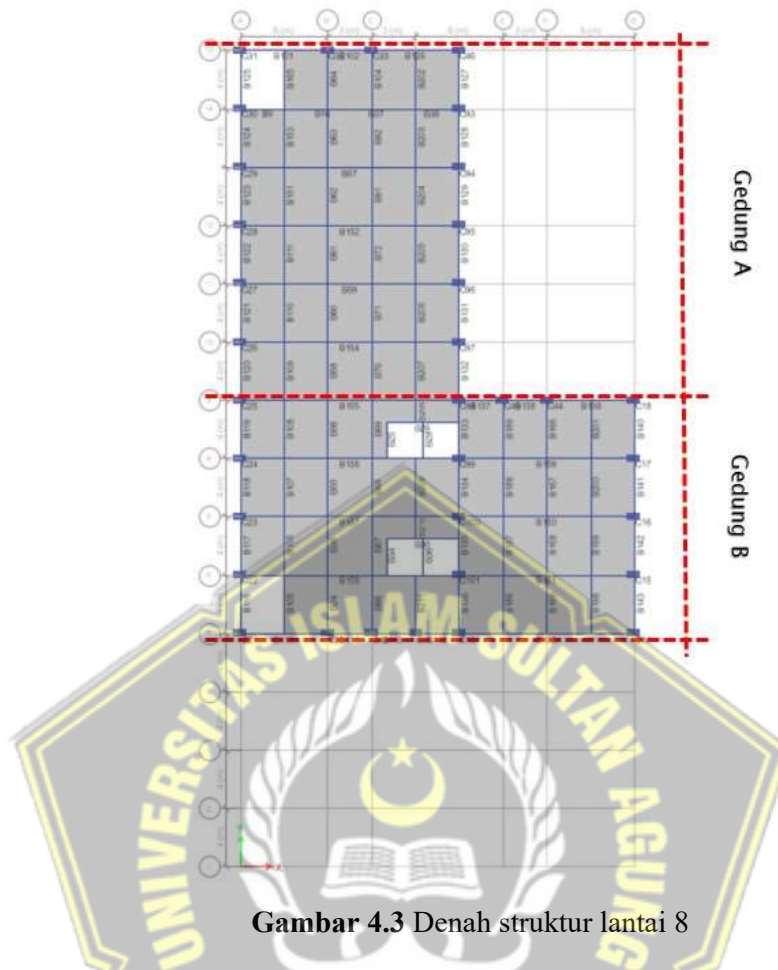
Pengamatan visual pada struktur dilakukan untuk mengidentifikasi kerusakan pada struktur utama bangunan yang meliputi kolom, balok, dan pelat lantai. Bangunan yang ditinjau dapat dilihat pada gambar 4.1 dan temuan – temuan pada sruktur beserta ulasanya diperlihatkan pada Tabel 4.1, 4.2, 4.3 Hasil Pengamatan Visual Gedung Keuangan Negara 2 kota Semarang.



Gambar 4.1 Tampak bangunan



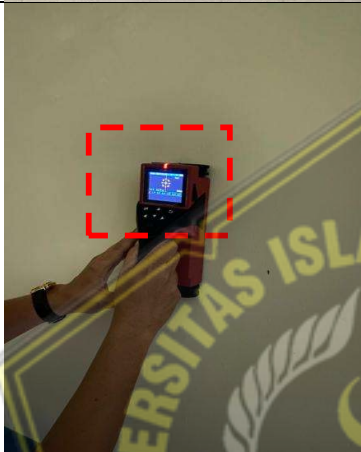
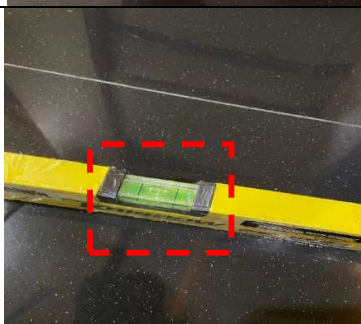
Gambar 4.2 Denah struktur lantai 1 sampai dengan lantai 7



Gambar 4.3 Denah struktur lantai 8

Tabel 4.1 Hasil pengamatan visual gedung A

No.	Tinjauan Struktur	Keterangan
1		Terjadinya kemiringan di Gedung Keuangan Negara area Gedung A lantai 1 dilihat dengan alat waterpass

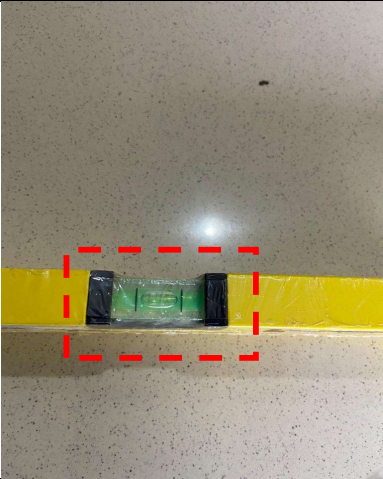
2		Terjadinya kemiringan di Gedung Keuangan Negara area Gedung A lantai 2 dilihat dengan alat waterpass
3		Penggunaan alat <i>Rebar Detector</i> dilantai 3 untuk mengetahui tulangan
4		Terjadinya kemiringan di Gedung Keuangan Negara area Gedung A lantai 3 dilihat dengan alat waterpass
5		Tidak terjadinya kemiringan di Gedung Keuangan Negara area Gedung A lantai 4 dilihat dengan alat waterpass

6		Terjadinya kemiringan di Gedung Keuangan Negara area Gedung A Balok dekat tangga 6-7 dilihat dengan alat waterpass
7		Tidak terjadinya kemiringan di Gedung Keuangan Negara area Gedung A lantai 8 dilihat dengan alat waterpass

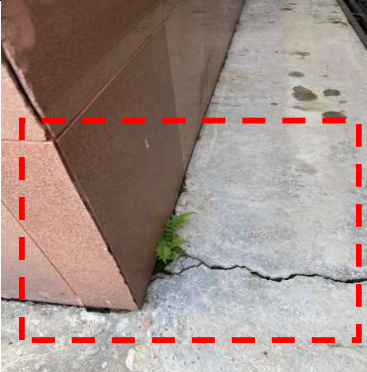
Tabel 4.2 Hasil pengamatan visual gedung B

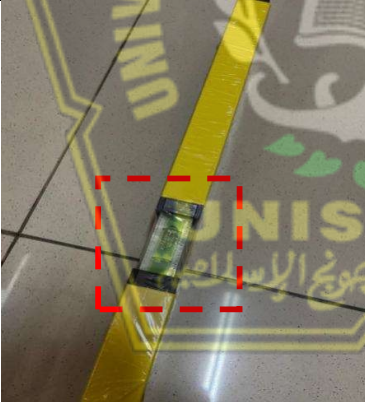
No.	Tinjauan Struktur	Keterangan
1		Terjadinya kemiringan di Gedung Keuangan Negara area Gedung B lantai 1 dilihat dengan alat waterpass

2		Terjadinya kemiringan di Gedung Keuangan Negara area Gedung B lantai 3 dilihat dengan alat waterpass
3		Terjadinya kemiringan di Gedung Keuangan Negara area Gedung A lantai 5 dilihat dengan alat waterpass
4		Penggunaan alat <i>Rebar Detector</i> untuk mengetahui tulangan

5	 A photograph showing a waterpass level held against a light-colored wall. The level is a green and black tool. A red dashed rectangle highlights the level. A yellow tape is visible on the wall below the level.	Tidak terjadinya kemiringan di Gedung Keuangan Negara area Gedung B lantai 7 dilihat dengan alat waterpass
6	 A photograph showing a waterpass level held against a light-colored wall. The level is a green and black tool. A red dashed rectangle highlights the level. A yellow tape is visible on the wall below the level. A large watermark of the University of Islam Sultan Agung (UNISSULA) is overlaid on the image.	Terjadinya kemiringan di Gedung Keuangan Negara area Gedung B Balok dekat tangga 7-8 dilihat dengan alat waterpass
7	 A photograph showing a waterpass level held against a light-colored wall. The level is a green and black tool. A red dashed rectangle highlights the level. A yellow tape is visible on the wall below the level. A large watermark of the University of Islam Sultan Agung (UNISSULA) is overlaid on the image.	Tidak terjadinya kemiringan di Gedung Keuangan Negara area Gedung B lantai 8 dilihat dengan alat waterpass

Tabel 4.3 Hasil pengamatan visual gedung C

No.	Tinjauan Struktur	Keterangan
1		Terjadinya retakan di lantai luar Gedung Keuangan Negara area Gedung C
2		Terjadinya kemiringan yang terdapat pada plat lantai 1
3		Kolom Lantai 1 gedung C mengalami kemiringan

4		Adanya retakan pada beberapa ruangan yang beerada di lantai 1
5		Terdapat retakan pada dinding area bordes tangga 1-2
6		Terjadinya kemiringan yang terdapat pada plat lantai 2.
7		Terdapat retakan pada balok penyangga kusen di salah satu jendela area Gedung C

8		Terjadi kemiringan pada kolom lantai 2 , namun kemiringannya berkurang jika di banding dengan yang terjadi pada lantai 1
9		Beberapa tempat di lantai 2 Ubinnya mengalami keretakan yang diakibatkan pergeseran yang terjadi pada plat lantai
10		Terdapat retakan pada dinding area bordes tangga 2-3
11		Terjadinya kemiringan yang terdapat pada plat lantai 3

12		Kemiringan kolom yang terjadi dilantai 3, namun kemiringan tersebut telah berkurang dari lantai 1 dan 2
13		Terdapat retakan pada dinding area bordes tangga 3-4 namun retakan tersebut telah berkurang tidak sebesar yang terjadi pada dinding lantai sebelumnya
14		Pengujian menggunakan hammer test
15		Penggunaan alat waterpass selang untuk mengetahui kemiringan bangunan

Berdasarkan pada Tabel 4.3 Gedung C nomor 1, 4, dan 9 menunjukkan kondisi pelat lantai sudah mengalami kerusakan berupa keretakan dan pengkroposan pada lantai atas, sedangkan untuk kondisi dinding pada tabel 4.3 Gedung C tersebut nomor 5, 10, dan 13 juga mengalami keretakan yang cukup lebar sehingga mampu mengurangi daya dukung pada struktur.

Pada hasil pengamatan visual struktur primer, Eksisting Gedung Keuangan Negara 2 kota Semarang banyak terdapat kerusakan sehingga dapat mengurangi daya dukung struktur. Diperlukan perawatan secara berkala untuk memperkuat kembali daya dukung struktur yang telah melemah sehingga kekuatan struktur tetap terjaga.

4.2.2. Data Geometrik Bangunan

Berdasarkan data yang diperoleh, data geometrik pada elemen struktur di Gedung Keuangan Negara 2 kota Semarang tidak lengkap terutama data pada struktur bawah bangunan, untuk itu dilakukan pengecekan ulang atau pengukuran terhadap kondisi eksisting dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data geometrik bangunan

No	Uraian	Besaran Eksisting
1	Dimensi Pondasi	
2	Kolom Struktur a. Tinggi Kolom – Lantai 1 – Lantai 2 – Lantai 3 – Lantai 4 – Lantai 5 – Lantai 6 – Lantai 7 – Lantai 8 b. Dimensi Kolom – Lantai 1-8 Gedung A, B, dan C	– 4000 mm – 4000 mm – 4000 mm – 4000 mm – 4000 mm – 4000 mm – 4000 mm – 4000 mm – 1000 x 500 mm
3	Dimensi Balok Strktur a. Balok Induk b. Balok Anak c. Balok lift	– 500 x 900 mm – 300 x 500 mm – 350 x 700 mm – 200 x 400 mm
4	Dimensi Pelat Lantai a. Pelat lantai menggunakan tebal yang tipikal atau sejenis mulai dari lantai 1 sampai lantai 8	Tebal 120 mm

Pengamatan secara visual dan dari *as build drawing* telah menunjukkan susunan dan dimensi struktur yang meliputi pelat lantai, kolom, dan balok sudah memenuhi kaidah desain. Selain itu geometri bangunan simetris sehingga ukuran tersebut sudah sesuai dengan kebutuhan menurut tinggi dan bentangnya.

4.2.3. Hasil Penyelidikan Tanah

Pengujian tanah dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah dan jenis tanah, dan hasil tersebut akan dikorelasikan dengan kondisi eksisting bangunan. Pengujian tanah berupa bor, dimana hasil tersebut ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data hasil boring tanah

Boring No	Kedalaman (m)	SPT (N)
BH. 1	3.00	21
	6.00	5
	9.00	3
	12.00	3
	15.00	4
	18.00	2
	21.00	4
	24.00	5
	27.00	7
	30.00	8
	33.00	6
	36.00	10
	39.00	13
	42.00	14
	45.00	18
	48.00	23
BH. 2	3.00	23
	6.00	4
	9.00	2
	12.00	3
	15.00	5
	18.00	3
	21.00	6
	24.00	5
	27.00	8
	30.00	8
	33.00	9
	36.00	12
	39.00	15
	42.00	13
	45.00	20
	48.00	22

BH. 3	3.00	>60
	6.00	8
	9.00	2
	12.00	3
	15.00	9
	18.00	7
	21.00	7
	24.00	10
	27.00	12
	30.00	14
	33.00	14
	36.00	11
	39.00	13
	42.00	20
	45.00	21
	48.00	23
BH. 4	3.00	50
	6.00	5
	9.00	4
	12.00	5
	15.00	5
	18.00	9
	21.00	8
	24.00	10
	27.00	14
	30.00	14
	33.00	19
	36.00	13
	39.00	19
	42.00	10
	45.00	21
	48.00	21

Sumber : Pengujian Tanah PT. Unitri Cipta

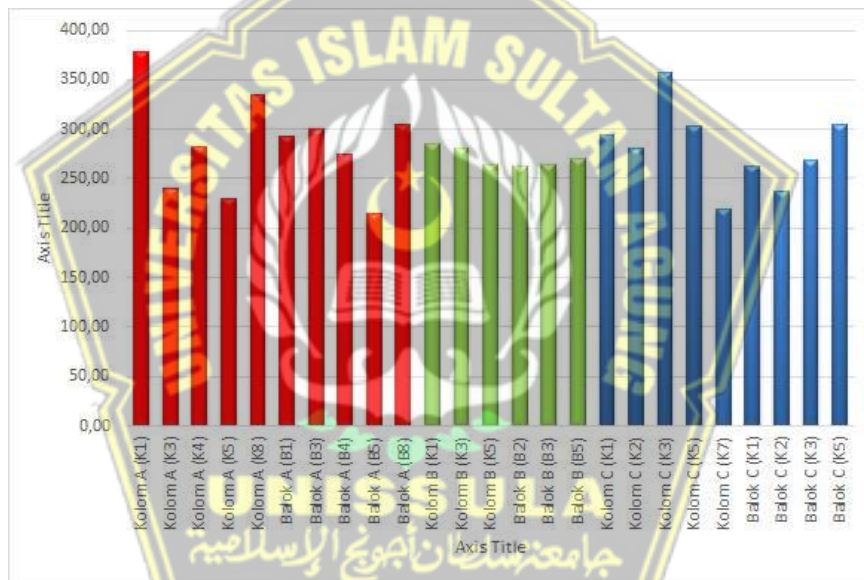
4.2.4. Data Hasil Hammer Test

Pengujian *Hammer* pada permukaan beton dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh estimasi kuat beton karakteristik pada struktur ekisting. Titik pengujian *Hammer* dilakukan pada elemen kolom, balok, dan pelat lantai. Dokumentasi pengujian diperlihatkan pada Gambar 4.4 sebagai berikut



Gambar 4.4 Pengujian *rebound hammer*

hasil pengujian Hammer diperlihatkan pada Gambar 4.5 dan data – data hasil pengujian diperlihatkan pada lampiran.

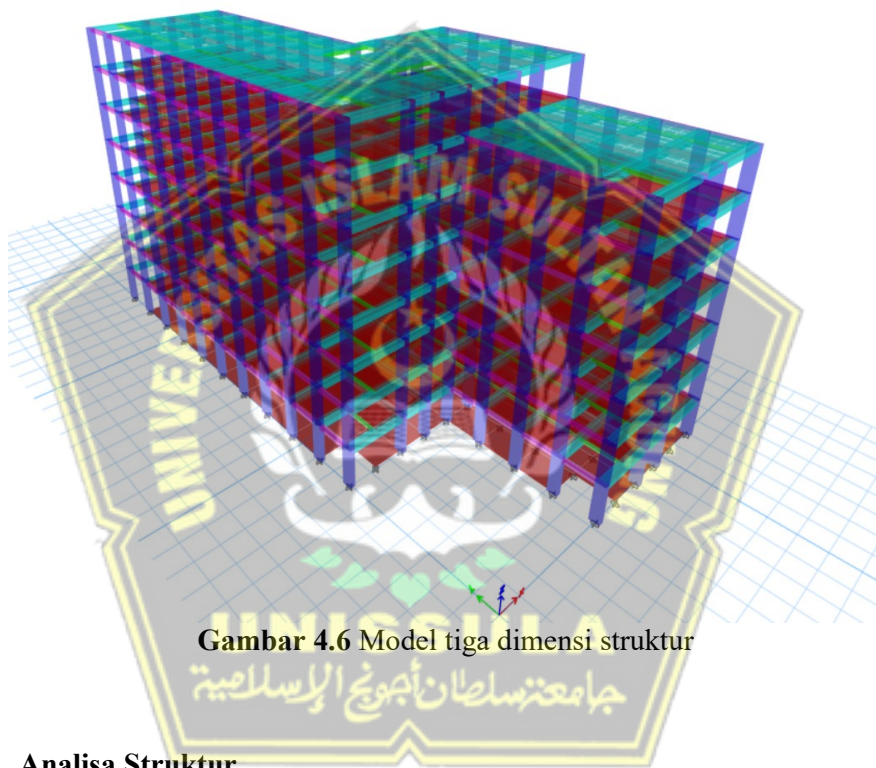


Gambar 4.5 Hasil pengujian *hammer* test

Berdasarkan hasil pengujian *hammer* test diatas dapat diketahui rata-rata kuat tekan karakteristik beton adalah 278,24 kg/cm². Mengingat gedung ini dibangun sekitar tahun 1980-an, pada saat itu referensi perencanaan dan kemampuan membuat campuran beton struktural secara umum adalah sekitar 200kg/cm², maka hasil uji *hammer* test secara umum dapat dikatakan bahwa material beton masih memenuhi syarat sebagai material struktural.

4.3. Pemodelan Struktur Berdasarkan Kondisi Eksisting

Struktur bangunan menggunakan sistem rangka pemikul momen yang dimodelkan untuk analisis tiga dimensi menggunakan perangkat lunak ETABS. Model yang dianalisis berupa struktur atas dan dianggap terjepit pada level lantai dasar. Balok dan kolom sebagai penopang beban lateral, dalam hal ini berupa beban gempa bumi. Berikut ini gambar dari pemodelan struktur tiga dimensi yang dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Model tiga dimensi struktur

4.4. Analisa Struktur

4.4.1. Pembebanan Gravitasi

Beban gravitasi diterapkan pada struktur bangunan berdasarkan aspek fungsional ruangan yang ada sesuai dengan rencana arsitektur yang diperoleh. Peraturan, standar, atau data berikut adalah sebagai referensi untuk besarnya beban yang diterapkan :

1. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727 2020
2. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung, PPIUG 1983

Berdasarkan peraturan di atas, jenis dan besarnya beban gravitasi diterapkan pada struktur bangunan antara lain :

1. Lantai 1

- Beban Mati

Beton Bertulang = 2400 kg/m^2

Spesi = 21 kg/m^2

Keramik = 24 kg/m^2

Plafon = 11 kg/m^2

Dinding Pasangan Setengah Batu Bata = 250 kg/m^2

Mekanika Elektrikal = 25 kg/m^2

- Beban Hidup

Ruang Kantor Lantai 1 = $2,4 \text{ kN/m}^2$

Lobi Lantai 1 = $4,79 \text{ kN/m}^2$

Koridor Lantai 1 = $4,79 \text{ kN/m}^2$

Ruang Lainnya Kecuali Tangga = $1,92 \text{ kN/m}^2$

Kamar Mandi = $1,92 \text{ kN/m}^2$

2. Lantai 2

- Beban Mati

Beton Bertulang = 2400 kg/m^2

Spesi = 21 kg/m^2

Keramik = 24 kg/m^2

Plafon = 11 kg/m^2

Dinding Pasangan Setengah Batu Bata = 250 kg/m^2

Mekanika Elektrikal = 25 kg/m^2

- Beban Hidup

Ruang Kantor di Atas Lantai 1 = $3,83 \text{ kN/m}^2$

Koridor = $3,83 \text{ kN/m}^2$

Ruang Arsip = $7,8 \text{ kN/m}^2$

Ruang Lainnya Kecuali Tangga = $1,92 \text{ kN/m}^2$

Kamar Mandi = $1,92 \text{ kN/m}^2$

3. Lantai 3 s/d 7

- Beban Mati

Beton Bertulang	= 2400 kg/m ²
Spesi	= 21 kg/m ²
Keramik	= 24 kg/m ²
Plafon	= 11 kg/m ²
Dinding Pasangan Setengah Batu Bata	= 250 kg/m ²
Mekanika Elektrikal	= 25 kg/m ²

- Beban Hidup

Ruang Kantor di Atas Lantai 1	= 3,83 kN/m ²
Koridor	= 3,83 kN/m ²
Gudang	= 7,8 kN/m ²
Ruang Lainnya Kecuali Tangga	= 1,92 kN/m ²
Kamar Mandi	= 1,92 kN/m ²
Lobi	= 4,79 kN/m ²
Ruang Pertemuan	= 4,79 kN/m ²

4. Lantai Atap

- Beban Mati

Beton Bertulang	= 2400 kg/m ²
Spesi	= 21 kg/m ²
Keramik	= 24 kg/m ²
Plafon	= 11 kg/m ²
Dinding Pasangan Setengah Batu Bata	= 250 kg/m ²
Mekanika Elektrikal	= 25 kg/m ²
Mesin Lift	= 750 kg

4.4.2. Pembebanan Gempa pada Struktur

Sesuai dengan peraturan yang tercantum dalam SNI 1726 – 2019 ada beberapa yang harus ditentukan sebelum melakukan analisis respon spectrum gempa, termasuk mengetahui nilai percepatan buatan dasar $S_s = 0,812$ dan nilai $S_1 = 0,357$ yang berada di wilayah kota Semarang. Data ini diperoleh dari Program Desain Spektrum Indonesia (rsa.ciptakarya.pu.go.id). langkah selanjutnya dalam menentukan spektrum respons gempa rencana adalah sebagai berikut :

a) Menentukan kategori risiko (I) dan faktor keutamaan (Ie)

Berdasarkan tabel 2.8 bangunan gedung Keuangan Negara II Semarang merupakan gedung perkantoran dan termasuk dalam kategori risiko II dengan faktor keutamaan gempa (Ie) sebesar 1 yang dapat dilihat pada tabel 2.9.

b) Menentukan Kelas Situs Tanah Pada Lokasi Bangunan

Dalam menentukan desain seismik bangunan di permukaan tanah, maka perlu ditentukan kelas situs tanah sesuai dengan Pasal 5.3 SNI 1726-2019. Klasifikasi situs SC, SD dan SE dilakukan dengan menghitung nilai N-SPT tanah rata-rata untuk kedalaman 50 m di lapangan. Berikut hasil deep drill N-SPT pada proyek Gedung Keuangan Negara II Semarang :

Tabel 4.6 Nilai N-SPT dan N rata-rata

No	Kedalaman (m)	NSP T	Tebal lapisan (m)	Σdi (m)	di/NS PT	$\Sigma(di/NSP T)$	N'
1	3	21	3	48	0,142	8,688	5,524
2	6	5			0,6		
3	9	3			1		
4	12	3			1		
5	15	4			0,75		
6	18	2			1,5		
7	21	4			0,75		
8	24	5			0,6		
9	27	7			0,428		
10	30	8			0,375		
11	33	6			0,5		
12	36	10			0,3		
13	39	13			0,23		
14	42	14			0,214		
15	45	18			0,166		
16	48	23			0,13		

Berdasarkan tabel tersebut diketahui nilai N' adalah 5,524, dikarenakan nilai $N' < 15$ maka untuk lokasi tanah ini termasuk dalam kategori tanah lunak (SE). hal ini dapat dilihat pada tabel 2.10.

c) Menentukan Koefisien Situs

Dalam menentukan koefisien situs ketentuan SNI 1726-2019 6.2 ada beberapa hal yang harus ditentukan, seperti nilai $S_s = 0,812$ dan nilai $S_1 = 0,3574$ dan nilai faktor amplifikasi getaran yang berhubungan dengan percepatan periode. Getaran pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 sekon (F_v). Nilai F_a dan F_v ditentukan melalui rumus interpolasi linier dan tabel koefisien situs sebagai berikut:

$$\frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} = \frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)}$$

1. Mencari nilai F_a untuk tanah lunak (SE)

Berdasarkan tabel 2.3 pada baris SE nilai $y_1 = 1,3$ dan nilai $y_2 = 1,1$

$$S_s = 0,812$$

$$\frac{(0,812-0,75)}{(1-0,75)} = \frac{(F_a-1,3)}{(1,1-1,3)}$$

$$F_a - 1,3 = \frac{0,062 \times (-0,2)}{0,25}$$

$$F_a = 1,3 - 0,0496$$

$$F_a = 1,25$$

2. Mencari nilai F_v untuk tanah lunak (SE)

Berdasarkan tabel 2.4 pada baris SE nilai $y_1 = 2,8$ dan nilai $y_2 = 2,4$

$$S_1 = 0,357$$

$$\frac{(0,357-0,3)}{(0,4-0,3)} = \frac{(F_v-2,8)}{(2,4-2,8)}$$

$$F_v - 2,8 = \frac{0,057 \times (-0,4)}{0,1}$$

$$F_v = 2,8 - 0,228$$

$$F_v = 2,572$$

Menentukan nilai SMS dan SM_1 berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.2 :

$$SMS = F_a \times S_s$$

$$SMS = 1,25 \times 0,812 = 1,015$$

$$SM1 = F_v \times S1$$

$$SM1 = 2,572 \times 0,3574 = 0,919$$

d) Menentukan Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spectral desain terdiri dari SDS dan SD1 sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 6.3, yang dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.3 dan 2.4 yaitu:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} (1,015) = 0,676$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} (0,919) = 0,612$$

Dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa struktur bangunan Gedung Keuangan Negara II Semarang termasuk dalam kategori desain seismik kategori D sesuai tabel 2.11 dan 2.12.

e) Menentukan sistem penahan gaya seismik

Dengan kategori desain seismik D, asumsi pemilihan sistem struktur terkait dengan ketinggian bangunan, untuk bangunan dengan ketinggian dibawah atau sama dengan 10 lantai biasanya digunakan sistem rangka penahan momen. Namun, pada bangunan tinggi untuk mengatasi perilaku dinamis gempa biasanya menggunakan sistem ganda berupa kombinasi dinding geser dengan rangka penahan momen. Oleh karena itu, dalam struktur ini menggunakan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus dengan dinding bertulang khusus sebagai bantalan bebean gempa pada arah x dan y. parameter untuk arah x dan y pada sistem struktur tersebut dapat dilihat pada tabel 2.13.

Maka yang dipakai adalah :

$$R_0 = 8$$

$$\Omega_0 = 3$$

$$C_0 = 5,5$$

f) Menentukan desain respon spektrum

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 6.4 untuk menentukan nilai desain respon spektrum, perlu diketahui nilai T untuk wilayah Kota Semarang dengan menghitung nilai T₀ dan T_s berdasarkan persamaan 2.5 dan 2.6 :

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS}$$

$$T_0 = 0,2 \frac{0,612}{0,676} = 0,181$$

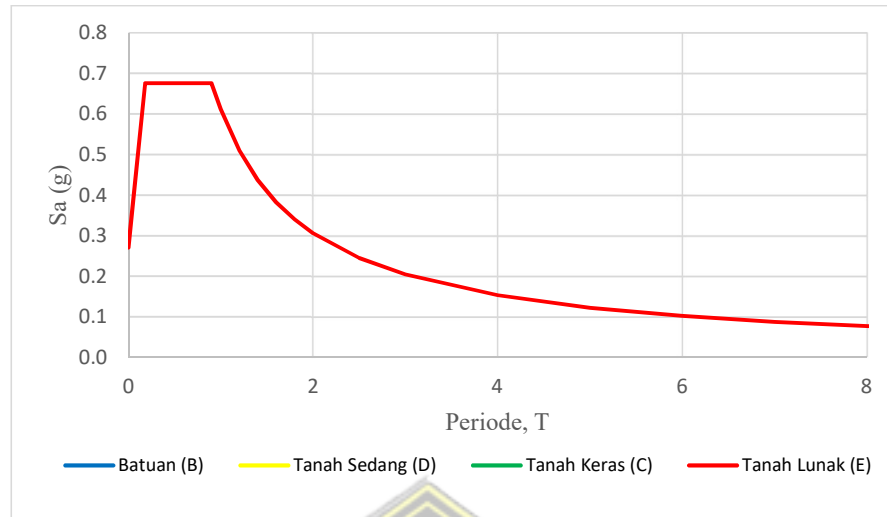
$$T_s = \frac{SD1}{SDS}$$

$$T_s = \frac{0,612}{0,676} = 0,9$$

Nilai T_L (T lama) untuk wilayah Kota Semarang adalah 20 detik yaitu diperoleh dari Program Desain Spektra Indonesia (rsa.ciptakarya.pu.go.id). Kemudian semua data yang sudah didapatkan dimasukkan kedalam tabel yang akan dibuat grafik respons spectrum gempa.

Tabel 4.7 Data spektrum respon gempa rencana

S _s	0,812
S ₁	0,3574
F _a	1,25
F _v	2,572
S _{MS}	1,015
S _{M1}	0,919
SDS	0,676
SD1	0,6128
T ₀	0,181
T _s	0,9
T _L	20



Gambar 4.7 Spektrum Respons Gempa Rencana Gedung Keuangan Negara II

g) Menentukan periode desain

Periode alami/waktu getaran dasar struktur adalah waktu yang diperlukan sebuah struktur untuk melewati siklus pergerakan yang nilainya akan terpengaruh dengan fungsi kekakuan dan massa. Nilai ini akan digunakan untuk menentukan beban gempa yang direncanakan.

Periode desain tidak boleh kurang dari periode minimum dan melebihi periode maksimum struktur ditentukan menurut jenis sistem struktur, percepatan periode 1 detik S_{D1} dan ketinggian bangunan. Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.2.1 untuk menghitung periode pendekatan fundamental menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Penentuan batas bawah periode getar struktur berdasarkan persamaan 2.14 :

$$T_{a \text{ min}} = C_t \times H_n^x$$

Keterangan :

$T_{a \text{ min}}$ = periode batas bawah (detik)

C_t = koefisien batas bawah

H_n = ketinggian total struktur (m)

X = koefisien tipikal struktur

Koefisien C_t dan x ditentukan dari tabel 2.14 dengan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$, tipe struktur yang digunakan dalam gedung ini adalah rangka beton pemikul momen dengan ketinggian total bangunan adalah 32m

$$\begin{aligned}
 T_a \text{ min} &= C_t \times H_n^x \\
 &= 0,0466 \times 32^{0,9} \\
 &= 1,054 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

2. Penentuan batas atas periode getar struktur berdasarkan persamaan 2.15:

$$T_a \text{ maks} = C_u \times T_a \text{ min}$$

Keterangan :

$T_a \text{ maks}$ = Periode batas atas (detik)

C_u = Koefisien batas atas

T_a = Periode batas bawah (detik)

Koefisien C_u ditentukan dari tabel 2.15 dengan nilai $C_u = 1,4$

$$T_a \text{ maks} = C_u \times T_a \text{ min}$$

$$\begin{aligned}
 T_a \text{ maks} &= 1,4 \times 1,054 \\
 &= 1,476 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan program ETABS V18, hasil yang diperoleh dari periode berdasarkan modulus untuk setiap arah yaitu:

$$T_x = 1,556$$

$$T_y = 1,933$$

persyaratan berikut adalah hal-hal yang harus dipenuhi dalam menentukan periode desain :

Jika $T_c < T_a$, $T = T_a$

Jika $T_a < T_c < C_u T_a$, $T = T_c$

Jika $T_c > C_u T_a$, $T = C_u T_a$

Keterangan :

T : Periode desain

T_c : Periode hasil analisa program ETABS V18

T_a : Batas bawah/minimum periode

$C_u T_a$: Batas atas/maksimum periode

Maka periode desain yang akan digunakan yaitu :

$$T_x = 1,556 \text{ detik} > 1,476 \text{ detik} \dots\dots\dots T_x = 1,476 \text{ detik}$$

$$T_y = 1,933 \text{ detik} > 1,476 \text{ detik} \dots\dots\dots T_y = 1,476 \text{ detik}$$

h) Menentukan gaya lateral ekivalen

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.11 untuk menghitung koefisien respon seismic (Cs), maka prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. Menghitung Cs maksimum berdasarkan persamaan 2.10 :

$$Cs \text{ maksimum} = \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}}$$

Keterangan :

SDS = parameter percepatan respon spectral desain dalam rentang periode pendek seperti ditentukan dalam 0 atau 0

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 0

$$Cs \text{ maksimum arah x} = \frac{0,676}{\frac{8}{1}} = 0,0846$$

$$Cs \text{ maksimum arah y} = \frac{0,676}{\frac{8}{1}} = 0,0846$$

2. Menghitung Cs hitungan berdasarkan persamaan 2.11 :

$$Cs \text{ maksimum} = \frac{SD1}{T \frac{R}{I_e}}$$

Keterangan :

SD1 = parameter percepatan respons spectral desain pada periode periode sebesar 1,0 detik, seperti yang ditentukan dalam 0

T = periode fundamental struktur (detik) yang ditentukan 0

S1 = parameter percepatan respons spectral maksimum yang ditetapkan yang ditentukan sesuai 0

$$Cs \text{ hitungan arah x} = \frac{0,6128}{1,476 \frac{8}{1}} = 0,0519$$

$$Cs \text{ hitungan arah y} = \frac{0,6128}{1,476 \frac{8}{1}} = 0,0519$$

3. Menghitung Cs minimum berdasarkan persamaan 2.12 :

Dalam menentukan nilai Cs minimum dapat digunakan persamaan yaitu:

$$0,044.SDS.1 \geq 0,01$$

$$Cs \text{ minimum arah x} = 0,044 \cdot 0,676 \cdot 1 = 0,0297$$

$$Cs \text{ minimum arah y} = 0,044 \cdot 0,676 \cdot 1 = 0,0297$$

Untuk nilai Cs arah x yaitu :

$$Cs \text{ maksimum arah x} = 0,0845$$

$$Cs \text{ hitungan arah x} = 0,0519$$

$$Cs \text{ minimum arah x} = 0,0297$$

Maka nilai Cs yang dipakai adalah 0,0519 karena Cs hitungan berada diantara Cs maksimum dan Cs minimum

Untuk nilai Cs arah y yaitu :

$$Cs \text{ maksimum arah y} = 0,0845$$

$$Cs \text{ hitungan arah y} = 0,0519$$

$$Cs \text{ minimum arah y} = 0,0297$$

Maka nilai Cs yang dipakai adalah 0,0519 karena Cs hitungan berada diantara Cs maksimum dan Cs minimum

4.4.3. Kombinasi Pembebanan

Dengan mengacu pada SNI 1726-2019 pasal 4.2.2.1 maka kombinasi pembebanan yang digunakan pada struktur bangunan Gedung Keuangan Negara II ini yaitu :

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL
3. 1,335 DL + 1 LL + 1,3 Ex +0,39 Ey
4. 1,335 DL + 1 LL + 1,3 Ex -0,39 Ey
5. 1,335 DL + 1 LL - 1,3 Ex +0,39 Ey
6. 1,335 DL + 1 LL - 1,3 Ex -0,39 Ey
7. 1,335 DL + 1 LL + 0,39 Ex +1,3 Ey
8. 1,335 DL + 1 LL +0,39 Ex +1,3 Ey
9. 1,335 DL + 1 LL + 0,39 Ex +1,3 Ey
10. 1,335 DL + 1 LL - 0,39 Ex -1,3 Ey
11. 0,1764667 DL +1,3 Ex + 0,39 Ey
12. 0,1764667 DL +1,3 Ex - 0,39 Ey
13. 0,1764667 DL - 1,3 Ex + 0,39 Ey

14. 0,1764667 DL -1,3 Ex - 0,39 Ey
15. 0,1764667 DL +0,39 Ex + 1,3 Ey
16. 0,1764667 DL - 0,39 Ex + 1,3 Ey
17. 0,1764667 DL +0,39 Ex - 1,3 Ey
18. 0,1764667 DL - 0,39 Ex - 1,3 Ey

4.4.4. Hasil Analisa Struktur

a. Menentukan Periode Struktur (T)

Berdasarkan hasil dari perhitungan periode desain sebelumnya, nilai periode (T) yang digunakan adalah 1,476 detik untuk arah x dan y

b. Menentukan Berat Seismik Efektif

Berat seismik efektif adalah berat total desain yang memuat jumlah dari beban mati struktur, beban mati tambahan dan beban hidup yang tereduksi.

Berat seismik diperoleh dari hasil *output* pada program ETABS V18.2.1

Berikut adalah perhitungan manual pada tiap lantai :

1. Perhitungan beban mati lantai 1 s/d 6

– kolom ukuran 100x50 cm

$$= (1 \times 0,5) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 45 \text{ buah} = 216000 \text{ kg}$$

– Berat balok

• balok induk 50x90 bentang 15 m

$$= (0,5 \times 0,9) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 15 \text{ buah} \times 15 \text{ m} = 243000 \text{ kg}$$

• balok induk 50x90 bentang 6 m

$$= (0,5 \times 0,9) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 7 \text{ buah} \times 6 \text{ m} = 45360 \text{ kg}$$

• balok induk 50x90 bentang 3 m

$$= (0,5 \times 0,9) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 9 \text{ buah} \times 3 \text{ m} = 29160 \text{ kg}$$

• balok induk 50x30 bentang 4 m

$$= (0,5 \times 0,3) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 32 \text{ buah} \times 4 \text{ m} = 46080 \text{ kg}$$

• balok anak 35x70 bentang 4 m

$$= (0,35 \times 0,7) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 36 \text{ buah} \times 4 \text{ m} = 84672 \text{ kg}$$

• balok lift 20x40 bentang 2,5 m

$$= (0,2 \times 0,4) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 6 \text{ buah} \times 2,5 \text{ m} = 2880 \text{ kg}$$

- balok lift 20x40 bentang 5 m
 $= (0,2 \times 0,4) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ buah} \times 5 \text{ m} = 1920 \text{ kg}$
- balok lift 20x40 bentang 4 m
 $= (0,2 \times 0,4) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 30 \text{ buah} \times 4 \text{ m} = 23040 \text{ kg}$
- Plat Lantai T = 12 cm
 $= 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 971 \text{ m}^2 = 279648 \text{ kg}$
- Dinding
 $= 4 \text{ m} \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 166 \text{ m} = 166000 \text{ kg}$
- Spesi
 $= 21 \text{ kg/m}^2 \times 971 \text{ m}^2 = 20391 \text{ kg}$
- Keramik
 $= 24 \text{ kg/m}^2 \times 971 \text{ m}^2 = 23304 \text{ kg}$
- M/E
 $= 25 \text{ kg/m}^2 \times 971 \text{ m}^2 = 24275 \text{ kg}$
- Plafon
 $= 11 \text{ kg/m}^2 \times 971 \text{ m}^2 = 10681 \text{ kg}$
- Total beban mati tiap lantai $= 1216656 \text{ kg}$
 $= 11931,33 \text{ kN}$
 Total beban mati lantai 1 s/d 6 $= 11932,99 \text{ kN} \times 6 = \mathbf{71587,98 \text{ kN}}$
- 2. Perhitungan beban mati lantai 7
- kolom ukuran 100x50 cm
 $= (1 \times 0,5) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 45 \text{ buah} = 216000 \text{ kg}$
- Berat balok
- balok induk 50x90 bentang 15 m
 $= (0,5 \times 0,9) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 15 \text{ buah} \times 15 \text{ m} = 243000 \text{ kg}$
- balok induk 50x90 bentang 6 m
 $= (0,5 \times 0,9) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 7 \text{ buah} \times 6 \text{ m} = 45360 \text{ kg}$
- balok induk 50x90 bentang 3 m
 $= (0,5 \times 0,9) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 9 \text{ buah} \times 3 \text{ m} = 29160 \text{ kg}$
- balok induk 50x30 bentang 4 m
 $= (0,5 \times 0,3) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 32 \text{ buah} \times 4 \text{ m} = 46080 \text{ kg}$

- balok anak 35x70 bentang 4 m
 $= (0,35 \times 0,7) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 36 \text{ buah} \times 4 \text{ m} = 84672 \text{ kg}$
 - balok lift 20x40 bentang 2,5 m
 $= (0,2 \times 0,4) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 6 \text{ buah} \times 2,5 \text{ m} = 2880 \text{ kg}$
 - balok lift 20x40 bentang 5 m
 $= (0,2 \times 0,4) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ buah} \times 5 \text{ m} = 1920 \text{ kg}$
 - balok lift 20x40 bentang 4 m
 $= (0,2 \times 0,4) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 30 \text{ buah} \times 4 \text{ m} = 23040 \text{ kg}$
 - Plat Lantai T = 12 cm
 $= 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 971 \text{ m}^2 = 279648 \text{ kg}$
 - Dinding
 $= 4 \text{ m} \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 119 \text{ m} = 119000 \text{ kg}$
 - Spesi
 $= 21 \text{ kg/m}^2 \times 743 \text{ m}^2 = 15603 \text{ kg}$
 - Keramik
 $= 24 \text{ kg/m}^2 \times 743 \text{ m}^2 = 20448 \text{ kg}$
 - M/E
 $= 25 \text{ kg/m}^2 \times 971 \text{ m}^2 = 24275 \text{ kg}$
 - Plafon
 $= 11 \text{ kg/m}^2 \times 743 \text{ m}^2 = 8173 \text{ kg}$
 - Total beban mati lantai 7
 $= 1156916,75 \text{ kg}$
 $= \mathbf{11345,48 \text{ kN}}$
3. Perhitungan beban mati lantai 8
- kolom ukuran 100x50 cm
 $= (1 \times 0,5) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 45 \text{ buah} = 216000 \text{ kg}$
 - Berat balok
 - balok induk 50x90 bentang 15 m
 $= (0,5 \times 0,9) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 15 \text{ buah} \times 15 \text{ m} = 243000 \text{ kg}$
 - balok induk 50x90 bentang 6 m
 $= (0,5 \times 0,9) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 7 \text{ buah} \times 6 \text{ m} = 45360 \text{ kg}$
 - balok induk 50x90 bentang 3 m
 $= (0,5 \times 0,9) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 9 \text{ buah} \times 3 \text{ m} = 29160 \text{ kg}$

- balok induk 50x30 bentang 4 m
 $= (0,5 \times 0,3) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 32 \text{ buah} \times 4 \text{ m} = 46080 \text{ kg}$
- balok anak 35x70 bentang 4 m
 $= (0,35 \times 0,7) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 36 \text{ buah} \times 4 \text{ m} = 84672 \text{ kg}$
- balok lift 20x40 bentang 2,5 m
 $= (0,2 \times 0,4) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 6 \text{ buah} \times 2,5 \text{ m} = 2880 \text{ kg}$
- balok lift 20x40 bentang 5 m
 $= (0,2 \times 0,4) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ buah} \times 5 \text{ m} = 1920 \text{ kg}$
- balok lift 20x40 bentang 4 m
 $= (0,2 \times 0,4) \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 30 \text{ buah} \times 4 \text{ m} = 23040 \text{ kg}$
- Plat Lantai T = 12 cm
 $= 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^2 \times 971 \text{ m}^2 = 279648 \text{ kg}$
- Dinding
 $= 2 \text{ m} \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 119 \text{ m} = 59500 \text{ kg}$
- M/E
 $= 25 \text{ kg/m}^2 \times 971 \text{ m}^2 = 24275 \text{ kg}$
- Mesin lift
 $= 750 \text{ kg} \times 4 = 3000 \text{ kg}$
- Total beban mati lantai 8 $= 894752,87 \text{ kg}$
 $= 8774,43 \text{ kN}$
- Total beban mati lantai 1 s/d 8**
 $= 71587,98 \text{ kN} + 11345,48 \text{ kN} + 8774,43 \text{ kN} = 91708 \text{ kN}$
- 4. Perhitungan beban hidup lantai 1
 - Ruang kantor lantai 1
 $= 2,4 \text{ kN/m}^2 \times 492 \text{ m}^2 \times 0,3 = 354,24 \text{ kN}$
 - Koridor lantai 1
 $= 4,79 \text{ kN/m}^2 \times 228 \text{ m}^2 \times 0,3 = 327,636 \text{ kN}$
 - Kamar mandi
 $= 1,92 \text{ kN/m}^2 \times 24 \text{ m}^2 \times 0,3 = 13,824 \text{ kN}$
 - Lobi lantai 1
 $= 4,79 \text{ kN/m}^2 \times 48 \text{ m}^2 \times 0,3 = 68,976 \text{ kN}$

- Ruang lainnya

$$= \frac{1,92 \text{ kN/m}^2 \times 60 \text{ m}^2 \times 0,3}{} = 34,56 \text{ kN}$$
- Total beban hidup lantai 1

$$= \mathbf{799,236 \text{ kN}}$$
- 5. Perhitungan beban hidup lantai 2
 - Ruang kantor diatas lantai 1

$$= 3,83 \text{ kN/m}^2 \times 384 \text{ m}^2 \times 0,3 = 441,216 \text{ kN}$$
 - Koridor diatas lantai 1

$$= 3,83 \text{ kN/m}^2 \times 252 \text{ m}^2 \times 0,3 = 289,548 \text{ kN}$$
 - Kamar mandi

$$= 1,92 \text{ kN/m}^2 \times 24 \text{ m}^2 \times 0,3 = 13,824 \text{ kN}$$
 - Ruang arsip

$$= 7,18 \text{ kN/m}^2 \times 144 \text{ m}^2 \times 0,3 = 310,176 \text{ kN}$$
 - Ruang lainnya

$$= \frac{1,92 \text{ kN/m}^2 \times 60 \text{ m}^2 \times 0,3}{} = 34,56 \text{ kN}$$
 - Total beban hidup lantai 2

$$= \mathbf{1089,324 \text{ kN}}$$
- 6. Perhitungan beban hidup lantai 3
 - Ruang kantor diatas lantai 1

$$= 3,83 \text{ kN/m}^2 \times 468 \text{ m}^2 \times 0,3 = 537,732 \text{ kN}$$
 - Koridor diatas lantai 1

$$= 3,83 \text{ kN/m}^2 \times 252 \text{ m}^2 \times 0,3 = 289,548 \text{ kN}$$
 - Kamar mandi

$$= 1,92 \text{ kN/m}^2 \times 24 \text{ m}^2 \times 0,3 = 13,824 \text{ kN}$$
 - Gudang

$$= 2,5 \text{ kN/m}^2 \times 144 \text{ m}^2 \times 0,3 = 108 \text{ kN}$$
 - Ruang lainnya

$$= \frac{1,92 \text{ kN/m}^2 \times 60 \text{ m}^2 \times 0,3}{} = 34,56 \text{ kN}$$
 - Total beban hidup lantai 3

$$= \mathbf{983,664 \text{ kN}}$$
- 7. Perhitungan beban hidup lantai 4
 - Ruang kantor diatas lantai 1

$$= 3,83 \text{ kN/m}^2 \times 480 \text{ m}^2 \times 0,3 = 551,52 \text{ kN}$$
 - Koridor diatas lantai 1

$$= 3,83 \text{ kN/m}^2 \times 252 \text{ m}^2 \times 0,3 = 289,548 \text{ kN}$$

- Kamar mandi
 $= 1,92 \text{ kN/m}^2 \times 24 \text{ m}^2 \times 0,3$ $= 13,824 \text{ kN}$
- Ruang arsip
 $= 7,18 \text{ kN/m}^2 \times 68 \text{ m}^2 \times 0,3$ $= 146,472 \text{ kN}$
- Ruang lainnya
 $= \underline{1,92 \text{ kN/m}^2 \times 48 \text{ m}^2 \times 0,3}$ $= 27,648 \text{ kN}$
- Total beban hidup lantai 4 $= \mathbf{1029,01 \text{ kN}}$

8. Perhitungan beban hidup lantai 5

- Ruang kantor diatas lantai 1
 $= 3,83 \text{ kN/m}^2 \times 654 \text{ m}^2 \times 0,3$ $= 751,446 \text{ kN}$
- Koridor diatas lantai 1
 $= 3,83 \text{ kN/m}^2 \times 108 \text{ m}^2 \times 0,3$ $= 124,092 \text{ kN}$
- Kamar mandi
 $= 1,92 \text{ kN/m}^2 \times 24 \text{ m}^2 \times 0,3$ $= 13,824 \text{ kN}$
- Gudang
 $= 2,5 \text{ kN/m}^2 \times 36 \text{ m}^2 \times 0,3$ $= 27 \text{ kN}$
- Ruang lainnya
 $= \underline{1,92 \text{ kN/m}^2 \times 36 \text{ m}^2 \times 0,3}$ $= 27 \text{ kN}$
- Total beban hidup lantai 5 $= \mathbf{937,098 \text{ kN}}$

9. Perhitungan beban hidup lantai 6

- Ruang kantor diatas lantai 1
 $= 3,83 \text{ kN/m}^2 \times 504 \text{ m}^2 \times 0,3$ $= 579,096 \text{ kN}$
- Koridor diatas lantai 1
 $= 3,83 \text{ kN/m}^2 \times 254 \text{ m}^2 \times 0,3$ $= 291,846 \text{ kN}$
- Kamar mandi
 $= 1,92 \text{ kN/m}^2 \times 24 \text{ m}^2 \times 0,3$ $= 13,824 \text{ kN}$
- Gudang
 $= 2,5 \text{ kN/m}^2 \times 36 \text{ m}^2 \times 0,3$ $= 27 \text{ kN}$
- Ruang lainnya
 $= \underline{1,92 \text{ kN/m}^2 \times 66 \text{ m}^2 \times 0,3}$ $= 38,016 \text{ kN}$
- Total beban hidup lantai 6 $= \mathbf{949,782 \text{ kN}}$

10. Perhitungan beban hidup lantai 7

- Lobi

$$= 4,79 \text{ kN/m}^2 \times 174 \text{ m}^2 \times 0,3 = 250,038 \text{ kN}$$

- Ruang pertemuan

$$= 4,79 \text{ kN/m}^2 \times 364 \text{ m}^2 \times 0,3 = 523,068 \text{ kN}$$

- Total beban hidup lantai 7 = 773,106 kN

Total beban hidup lantai 1 s/d 8 = 6561,22 kN

$$\begin{aligned} \text{Jadi berat total keseluruhan lantai 1 s/d 8} &= W_{DL} + W_{LL} \\ &= 91708 + 6561,22 \\ &= 98269,22 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 4.8 Berat struktur setiap lantai

Story	ETABS	Manual
	kN	kN
Lantai 8	7167,09	8774,53
Lantai 7	11349,78	12118,58
Lantai 6	11964,71	12881,11
Lantai 5	11964,71	12868,43
Lantai 4	11964,71	12960,34
Lantai 3	11964,71	12915,00
Lantai 2	11964,71	13020,66
Lantai 1	11964,71	12730,57
Wtotal	90305,14	98269,22

Dari hasil *output* program ETABS V18 dan perhitungan manual terdapat perbedaan tiap lantai. Namun yang akan dipakai adalah berat total dari perhitungan manual dengan berat total yaitu :

$$W_{TOTAL} = 98269,22 \text{ kN}$$

c. Menghitung Gaya Geser Dasar Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.1 untuk menghitung gaya geser dasar seismik, dapat menggunakan rumus berdasarkan persamaan 2.9 :

$$V = C_s \cdot W_t$$

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik yang dibutuhkan

W_t = berat total seismik

$$V_x = 0,0519 \times 98269.22 = \mathbf{5099,33 \text{ kN}}$$

$$V_y = 0,0519 \times 98269.22 = \mathbf{5099,33 \text{ kN}}$$

d. Menentukan Distribusi Vertikal Gaya Gempa Pada Tiap Lantai

Mengacu pada SNI 1726-2019 pasal 7.8.3 untuk menentukan distribusi vertikal gaya gempa dengan rumus berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \text{ dan } C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Keterangan:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Gaya lateral desain total atau geser didasar struktur (Kn)

w_i, w_x = Bagian berat gempa efektif total struktur (W) yang ditempatkan pada tingkat i atau x

h_i, h_x = Tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x

k = Eksponen yang terkait dengan periode struktur dan nilai

Dimana,

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

Struktur dengan $T \leq 2,5$ detik, $k = 2$

Struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi

Linier antara 1 dan 2

Karena T yang digunakan pada struktur ini yaitu

$$k = (0,5 \times 1,476) + 0,75 = 1,4881$$

Tabel 4.9 Distribusi vertikal gaya gempa pada tiap lantai

Lantai	Tinggi/hi (m)	Berat Lantai/wi (kN)	K	Wi.hi ^k	Cv	FX=FY
Lantai 8	4	8774,53	1,4881	1524218,02	0,202	1032,15
Lantai 7	4	12118,58		1725745,62	0,229	1168,62
Lantai 6	4	12881,11		1458325,24	0,194	987,53
Lantai 5	4	12868,43		1110699,44	0,147	752,13
Lantai 4	4	12960,34		802555,32	0,107	543,46
Lantai 3	4	12915,00		521231,76	0,069	352,96
Lantai 2	4	13020,66		287426,59	0,038	194,64
Lantai 1	4	12730,57		100179,10	0,013	67,84
Jumlah		98269,22		753038,08	1	5099,33

e. Menghitung Distribusi Horizontal Gaya Gempa Pada Tiap Lantai

Sesuai SNI 1726 -2019 pasal 7.8.4 untuk menentukan distribusi horizontal gaya gempa menggunakan rumus:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i$$

Keterangan:

F_i = Bagian dari geser dasar gempa (V) pada tingkat ke-i (kN)

Tabel 4.10 Distribusi horizontal gaya gempa tiap lantai

Lantai	F _x (kN)	V _x (kN)	F _y (kN)	V _y (kN)
Lantai 8	1032,15	1032,15	1032,15	1032,15
Lantai 7	1168,62	2200,77	1168,62	2200,77
Lantai 6	987,53	3188,30	987,53	3188,30
Lantai 5	752,13	3940,43	752,13	3940,43
Lantai 4	543,46	4483,89	543,46	4483,89
Lantai 3	352,96	4836,85	352,96	4836,85
Lantai 2	194,64	5031,49	194,64	5031,49
Lantai 1	67,84	5099,33	67,84	5099,33

Distribusi horizontal gaya gempa lantai 8, $V_8 = F_8 = 1032,15$

Distribusi horizontal gaya gempa lantai 7, $V_7 = V_8 + F_7 = 2200,77$

Distribusi horizontal gaya gempa lantai 6, $V_6 = V_7 + F_6 = 3188,30$

Dan seterusnya

Maka, distribusi horizontal gaya gempa pada lantai 1 :

$$V_1 = V_2 + F_1 = 5099,33 = V_{\text{BASE SHEAR}}$$

f. Menentukan Relasi Beban Gempa Statik-Dinamik

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.4.1 yaitu nilai beban gempa dinamik tidak boleh kurang dari 100% beban statik ($V_{\text{dinamik}} \geq V_{\text{statik}}$). Apabila gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100% dari gaya geser (V) berdasarkan perhitungan metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t . Nilai gaya geser statik ekuivalen pada tiap lantai diperoleh melalui perhitungan manual sesuai tabel, sedangkan gaya geser dinamik tiap lantai diperoleh dari hasil output melalui program aplikasi ETABS V18.0.0.

Tabel.4.11 Gaya geser statik dan dinamik tiap lantai

Lantai	Statik		Dinamik	
	V_x	V_y	$V_{\text{spec-x}}$	$V_{\text{spec-y}}$
	kN	kN	kN	kN
Lantai 8	1032,15	1032,15	604,68	534,14
Lantai 7	2200,77	2200,77	1357,38	1093,98
Lantai 6	3188,30	3188,30	2030,77	1527,01
Lantai 5	3940,43	3940,43	2591,92	1850,37
Lantai 4	4483,89	4483,89	3060,58	2126,84
Lantai 3	4836,85	4836,85	3428,90	2383,95
Lantai 2	5031,49	5031,49	3684,41	2605,04
Lantai 1	5099,33	5099,33	3802,31	2733,02

Tabel. 4.12 Relasi gaya gempa statik-dinamik

Gaya Gempa	V_x	V_y
	Kn	Kn
Statik	5099,33	5099,33
100% Statik	5099,33	5099,33
Dinamik	3802,31	2733,02

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai $V_{Dinamik} < 100\% V_{Statik}$,
maka menggunakan nilai faktor skala gaya yaitu:

$$\text{Faktor skala gaya arah x} = \frac{5099,33}{3802,31} = 1,3411$$

$$\text{Faktor sklaa gaya arah y} = \frac{5099,33}{2733,02} = 1,8658$$

Nilai faktor skala gaya pada aplikasi ETABS V18 diubah sehingga diperoleh
hasil:

$$\text{Faktor skala gaya arah x} = 1226,25 \times 1,3411 = 1644,52$$

$$\text{Faktor skala gaya arah y} = 1226,25 \times 1,8658 = 2287,94$$

Tabel. 4.13 Gaya geser dinamik terkoreksi

Story	STATIK		DINAMIK		SKALA GAYA		DINAMIK CORRECTION	
	Vx	Vy	Vspec-x	V-spec y	X-Dir	Y-Dir	Vspec-x	V-spec y
	kN	kN	kN	Kn			kN	kN
LT 8	1032,15	1032,15	604,68	534,14	1,3411	1,8658	810,93	996,60
LT 7	2200,77	2200,77	1357,38	1093,98			1820,37	2041,15
LT 6	3188,30	3188,30	2030,77	1527,01			2723,45	2849,09
LT 5	3940,43	3940,43	2591,92	1850,37			3476,02	3452,42
LT 4	4483,89	4483,89	3060,58	2126,84			4104,54	3968,26
LT 3	4836,85	4836,85	3428,90	2383,95			4598,49	4447,97
LT 2	5031,49	5031,49	3684,41	2605,04			4941,15	4860,49
LT 1	5099,33	5099,33	3802,31	2733,02			5099,27	5099,28

Contoh perhitungan gaya geser dinamik terkoreksi:

$$\begin{aligned} \text{Arah x} &= V \text{ Lantai 8 (terkoreksi)} = V_{Dinamik} \times \text{Skala gaya x} \\ &= 604,68 \times 1,3411 = 810,93 \end{aligned}$$

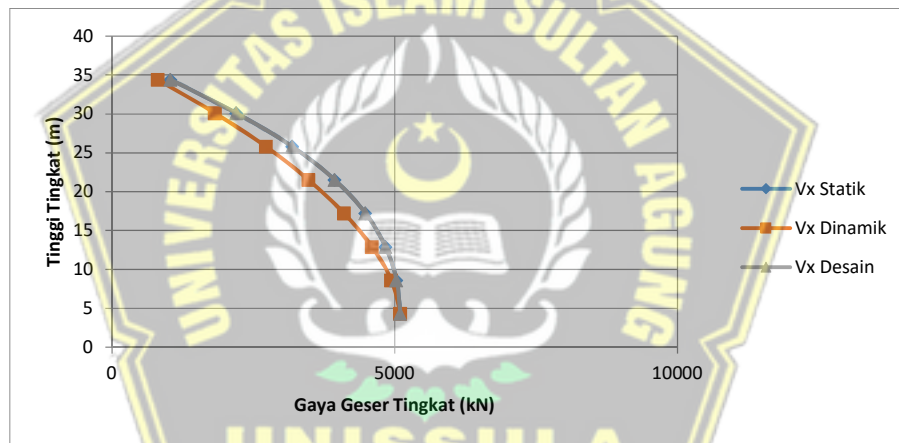
$$\begin{aligned} \text{Arah y} &= V \text{ Lantai 8 (terkoreksi)} = V_{Dinamik} \times \text{Skala gaya y} \\ &= 534,14 \times 1,8658 = 996,60 \end{aligned}$$

g. Menentukan Beban Gempa Rencana

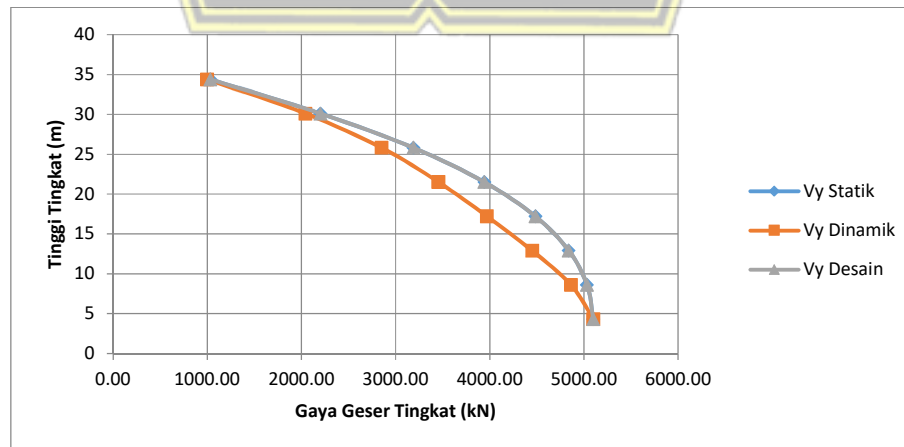
Gaya gempa rencana ditentukan melalui kesesuaian tinggi gedung dengan mempertimbangkan antara nilai gaya geser statik dengan syarat minimal 100% dengan gaya gempa hasil perhitungan dinmaik respon spektra. Hasil gaya geser rencana tiap lantai dapat dilihat pada tabel 4.24.

Tabel 4.14 Gaya geser rencana tiap lantai

Story	STATIK		100% STATIK		DINAMIK CORRECT		GAYA GESER DESAIN	
	V _x	V _y	V _x	V _y	V _{SPEC-X}	V _{SPEC-Y}	V _x	V _y
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Lantai 8	1032,15	1032,15	1032,15	1032,15	810,93	996,60	1032,15	1032,15
Lantai 7	2200,77	2200,77	2200,77	2200,77	1820,37	2041,15	2200,77	2200,77
Lantai 6	3188,30	3188,30	3188,30	3188,30	2723,45	2849,09	3188,30	3188,30
Lantai 5	3940,43	3940,43	3940,43	3940,43	3476,02	3452,42	3940,43	3940,43
Lantai 4	4483,89	4483,89	4483,89	4483,89	4104,54	3968,26	4483,89	4483,89
Lantai 3	4836,85	4836,85	4836,85	4836,85	4598,49	4447,97	4836,85	4836,85
Lantai 2	5031,49	5031,49	5031,49	5031,49	4941,15	4860,49	5031,49	5031,49
Lantai 1	5099,33	5099,33	5099,33	5099,33	5099,27	5099,28	5099,33	5099,33



Gambar. 4.8 Distribusi gaya geser gempa arah x



Gambar. 4.9 Distribusi gaya geser rencana arah y

Berdasarkan gambar diatas diperoleh hasil bahwa gaya gempa dinamikterkoreksi pada arah x cukup signifikan terhadap lantai paling atas dikarenakan memiliki nilai gaya geser lebih besar dari gaya gempa statik, sedangkan lantai bawah memiliki nilai gaya geser yang sesuai dengan syarat 100% statik. Secara keseluruhan grafik menunjukkan bahwa sesuai syarat 100%statik sehingga hal tersebut berlaku juga untuk arah y yang memiliki distribusi baik. Kondisi ini perlu mempertimbangkan antara relasi gempa statik dan dinamik, karena apabila semakin tinggi bangunan maka akan berpengaruh terhadap perilaku dinamik yang lebih dominan.

h. Menentukan Gaya Gempa Lateral Rencana

Gaya gempa lateral rencana diperoleh dari perhitungan selisih gaya geser antar lantai. Nilai gaya gempa lateral rencana dapat dilihat pada tabel.

Tabel. 4.15 Gaya gempa lateral rencana

Story	GAYA GESER DESAIN		F, GEMPA DESAIN	
	Vx	Vy	Fx	Fy
	kN	kN	kN	kN
Lantai 8	1032,15	1032,15	1032,15	1032,15
Lantai 7	2200,77	2200,77	1168,62	1168,62
Lantai 6	3188,30	3188,3	987,53	987,53
Lantai 5	3940,43	3940,43	752,13	752,13
Lantai 4	4483,89	4483,89	543,46	543,46
Lantai 3	4836,85	4836,85	352,96	352,96
Lantai 2	5031,49	5031,49	194,64	194,64
Lantai 1	5099,33	5099,33	67,84	67,84

Contoh perhitungan gaya gempa rencana arah x :

$$F \text{ Lantai 8} = V \text{ Lantai 8} = 1032,15$$

$$F \text{ Lantai 7} = V \text{ Lantai 7} - V \text{ Lantai 8} = 2200,77 - 1032,15 = 1168,62$$

$$F \text{ Lantai 6} = V \text{ Lantai 6} - V \text{ Lantai 7} = 3188,30 - 2200,77 = 987,53$$

i. Melakukan kontrol terhadap desain

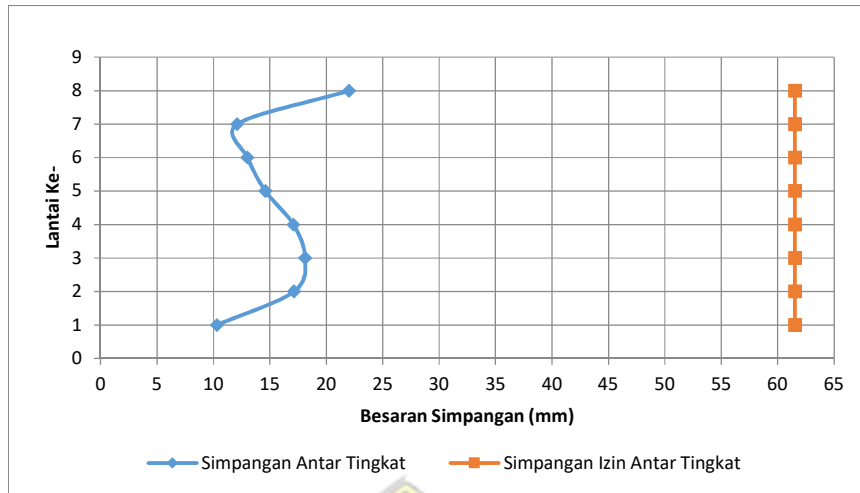
Langkah selanjutnya adalah mengontrol desain yang sudah dibuat. kontrol desain dilakukan dengan memeriksa batas simpangan antar lantai sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7.8.6 dan 7.12.1 serta pengecekan tentang stabilitas akibat efek P-Delta sesuai SNI 1726-2019 pasal 7.8.7. Hasil dari pengecekan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.16 Simpangan antar lantai izin *x-Dir*

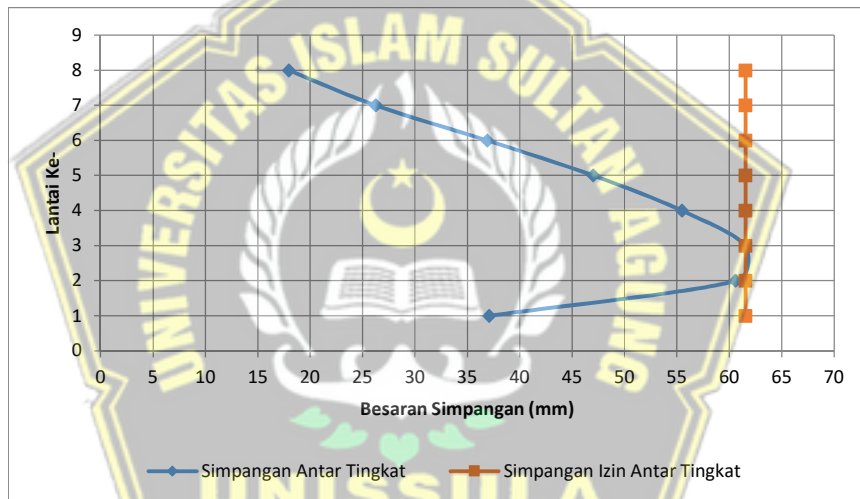
Story	hsx	δe	Δ	Δi	$\Delta izin$	Hasil
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
LT 8	4000	22,603	124,32	22,01	61,54	Aman
LT 7	4000	18,601	102,31	12,09	61,54	Aman
LT 6	4000	16,402	90,21	13,00	61,54	Aman
LT 5	4000	14,038	77,21	14,59	61,54	Aman
LT 4	4000	11,385	62,62	17,08	61,54	Aman
LT 3	4000	8,28	45,54	18,11	61,54	Aman
LT 2	4000	4,988	27,43	17,13	61,54	Aman
LT 1	4000	1,874	10,31	10,31	61,54	Aman

Tabel 4.17 Simpangan antar lantai izin *y-Dir*

Story	hsx	δe	Δ	Δi	$\Delta izin$	Hasil
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
LT 8	4000	62,327	342,80	17,96	61,54	Aman
LT 7	4000	59,062	324,84	26,26	61,54	Aman
LT 6	4000	54,287	298,58	36,90	61,54	Aman
LT 5	4000	47,578	261,68	47,03	61,54	Aman
LT 4	4000	39,028	214,65	55,49	61,54	Aman
LT 3	4000	28,939	159,16	61,51	61,54	Aman
LT 2	4000	17,755	97,65	60,59	61,54	Aman
LT 1	4000	6,739	37,06	37,06	61,54	Aman



Gambar. 4.10 Simpangan antar lantai arah x



Gambar. 4.11 Simpangan antar lantai arah y

Hasil kontrol pada desain menunjukkan bahwa simpangan antar lantai izin gedung aman. Berikut contoh perhitungan penentuan simpangan antar lantai untuk gempa arah x berdasarkan persamaan 2.16 :

$$\delta_{LT8} = \frac{C_d \cdot \delta_e LT8}{I_e} = \frac{5,5 \cdot 22,603}{1} = 124,32$$

$$\delta_{LT7} = \frac{C_d \cdot \delta_e LT7}{I_e} = \frac{5,5 \cdot 18,601}{1} = 102,31$$

$$\Delta_{LT8} = \delta_{LT8} - \delta_{LT7} = 124,32 - 102,31 = 22,01 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.12.1 untuk menentukan simpangan izin dengan struktur yang termasuk dalam jenis semua struktur lain dan memiliki

kategori resiko II, digunakan batas simpangan izin antar lantai dengan rumus $0.02 \cdot h_{sx}/p$ dimana h_{sx} adalah tinggi antar lantai dan p adalah faktor redundansi . sehingga diperoleh perhitungan yaitu :

$$\begin{aligned}\Delta_{izin} &= 0,02 \cdot h_{sx} / 1,3 \\ &= 0,02 \cdot 4000 / 1,3 \\ &= 61,54\end{aligned}$$

Maka $\Delta_{LT8} < \Delta_{izin}$ **Aman**

Dalam analisis kontrol desain selanjutnya yaitu memeriksa stabilitas bangunan atau efek P-Delta. Kombinasi pengecekan yang digunakan yaitu:

$$\text{Comb } P_{\text{Delta}} = 1,0 \text{ DL} + 0,3 \text{ LL}$$

Tabel 4.18 Beban P (Gravity) kumulatif

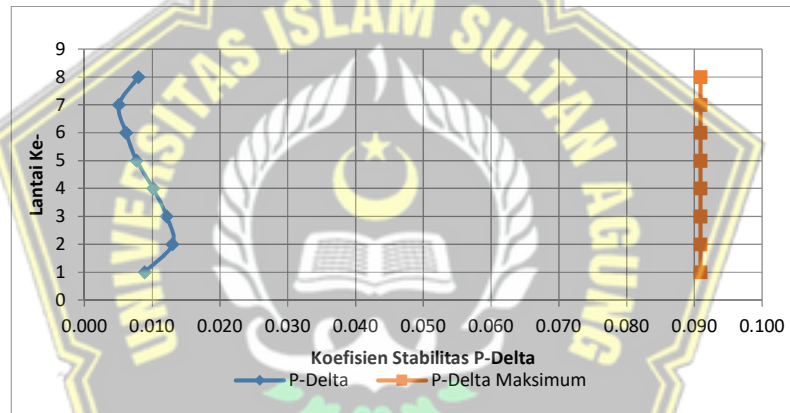
Story	Output Case	Case Type	Location	P
				kN
LT 8	P-Delta	Combination	Bottom	8216,0079
LT 7	P-Delta	Combination	Bottom	20459,4947
LT 6	P-Delta	Combination	Bottom	33204,5816
LT 5	P-Delta	Combination	Bottom	45801,3918
LT 4	P-Delta	Combination	Bottom	58546,4786
LT 3	P-Delta	Combination	Bottom	71291,5655
LT 2	P-Delta	Combination	Bottom	84036,6523
LT 1	P-Delta	Combination	Bottom	96781,7391

Tabel 4.19 Cek kestabilan (P-Delta) akibat gempa x

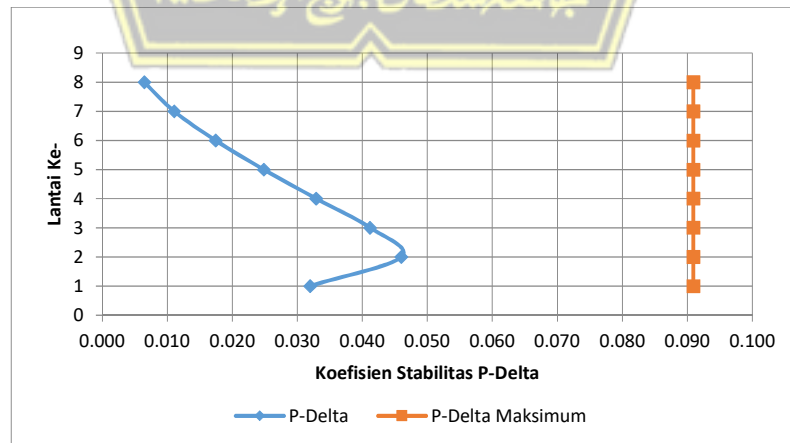
Story	h_{sx}	Δi	P	V_x	θ	θ_{max}	Hasil
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)			
LT 8	4000	22,01	8216,0079	1032,15	0,0080	0,0909	STABIL
LT 7	4000	12,09	20459,4947	2200,77	0,0051	0,0909	STABIL
LT 6	4000	13,00	33204,5816	3188,30	0,0062	0,0909	STABIL
LT 5	4000	14,59	45801,3918	3940,43	0,0077	0,0909	STABIL
LT 4	4000	17,08	58546,4786	4483,89	0,0101	0,0909	STABIL
LT 3	4000	18,11	71291,5655	4836,85	0,0121	0,0909	STABIL
LT 2	4000	17,13	84036,6523	5031,49	0,0130	0,0909	STABIL
LT 1	4000	10,31	96781,7391	5099,33	0,0089	0,0909	STABIL

Tabel 4.20 Cek kestabilan (P-Delta) akibat gempa y

Story	hsx	Δ_i	P	Vy	θ	θ_{max}	Hasil
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)			
LT 8	4000	17,96	8216,0079	1032,15	0,0065	0,0909	STABIL
LT 7	4000	26,26	20459,4947	2200,77	0,0111	0,0909	STABIL
LT 6	4000	36,90	33204,5816	3188,30	0,0175	0,0909	STABIL
LT 5	4000	47,03	45801,3918	3940,43	0,0248	0,0909	STABIL
LT 4	4000	55,49	58546,4786	4483,89	0,0329	0,0909	STABIL
LT 3	4000	61,51	71291,5655	4836,85	0,0412	0,0909	STABIL
LT 2	4000	60,59	84036,6523	5031,49	0,0460	0,0909	STABIL
LT 1	4000	37,06	96781,7391	5099,33	0,0320	0,0909	STABIL



Gambar. 4.12 Cek kestabilan P - Delta arah x



Gambar. 4.13 Cek kestabilan P - Delta arah y

Contoh perhitungan kontrol kestabilan bangunan atau P-Delta pada LT 2 arah y sebagai berikut :

$$\theta = \frac{P \cdot \Delta_i \cdot I_e}{V_y \cdot h_{sx} \cdot C_d} = \frac{84036,6523 \cdot 67,73 \cdot 1}{5031,49 \cdot 4000 \cdot 5,5} = 0,0065$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} = \frac{0,5}{1 \cdot 5,5} = 0,0909$$

Berdasarkan perhitungan di atas dapat dilihat bahwa jika nilai $\theta < 0,091$, maka tidak disyaratkan untuk diperhitungkan pengaruh dari P-delta karena nilai $\theta < \theta_{max}$ artinya struktur masih dalam keadaan stabil.

j. Cek Ketidakberaturan Struktur

1. Ketidakberaturan Horizontal

a. Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan ini dibagi menjadi dua yaitu:

- ketidakberaturan torsi 1A Didefinisikan ada jika simpangan maksimum yang terjadi lebih besar dari 1,2 dari simpangan rata-rata.
- Untuk ketidakberaturan Torsi 1B Didefinisikan ada jika simpangan maksimum yang terjadi lebih besar dari 1,4 dari simpangan lantai rata-rata

Tabel 4.21 Cek ketidakberaturan torsi arah X

Story	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Status	
		mm	mm		1A	1B
LT 8	X	2,564	1,783	1,438	Ada	Ada
LT 7	X	3,542	2,107	1,681	Ada	Ada
LT 6	X	4,547	2,744	1,657	Ada	Ada
LT 5	X	5,284	3,236	1,633	Ada	Ada
LT 4	X	5,601	3,504	1,598	Ada	Ada
LT 3	X	5,661	3,584	1,58	Ada	Ada
LT 2	X	5,136	3,291	1,561	Ada	Ada
LT 1	X	2,982	1,944	1,534	Ada	Ada

Tabel 4.22 Cek ketidakberaturan torsi arah Y

Story	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Status	
		mm	mm		1A	1B
LT 8	Y	4,315	4,239	1,018	Tidak Ada	Tidak Ada
LT 7	Y	6,319	6,274	1,007	Tidak Ada	Tidak Ada
LT 6	Y	8,645	8,582	1,007	Tidak Ada	Tidak Ada
LT 5	Y	10,619	10,535	1,008	Tidak Ada	Tidak Ada
LT 4	Y	11,945	11,847	1,008	Tidak Ada	Tidak Ada
LT 3	Y	12,552	12,448	1,008	Tidak Ada	Tidak Ada
LT 2	Y	11,785	11,688	1,008	Tidak Ada	Tidak Ada
LT 1	Y	6,992	6,926	1,01	Tidak Ada	Tidak Ada

b. Ketidakberaturan Sudut Dalam (Ketidakberaturan 2)

Didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau $P_x/L_x > 0,15$ dan $P_y/L_y > 0,15$

$$L_y = 56 \text{ m}$$

$$L_x = 27 \text{ m}$$

$$P_{x1} = 12 \text{ m}$$

$$P_{y1} = 24 \text{ m}$$

$$P_{x2} = 12 \text{ m}$$

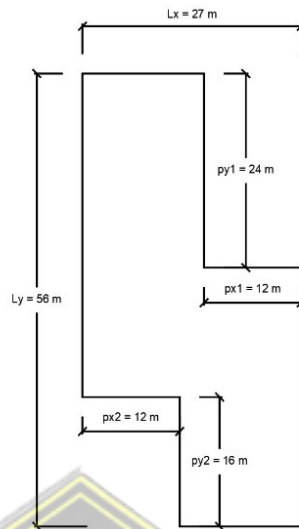
$$P_{y2} = 16 \text{ m}$$

$$P_{x1}/L_x = 12/27 = 0,444$$

$$P_{y1}/L_y = 24/56 = 0,428$$

$$P_{x2}/L_x = 12/27 = 0,444$$

$$P_{y2}/L_y = 16/56 = 0,285$$



Gambar 4.14 Skate gambar denah lokasi

Dari hasil diatas dapat diketahui bahwa bangunan ini mengalami ketidakberaturan sudut dalam karena dimensi denah struktur dalam lebih besar dari 15%.

c. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma (Ketidakberaturan 3)

Ketidakberaturan ini ada jika rasio daerah bukaan/ $A_{total} > 0,5$

$$\text{Luas total} = 1032 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas bukaan} = 61 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = 0,059$$

Karena diafragma yang terbuka $< 50\%$ maka, struktur ini tidak mengalami ketidakberaturan horizontal 3

d. Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang (Ketidakberaturan 4)

Ketidakberaturan ini tidak ada karena bangunan tidak memiliki dinding geser

e. Ketidakberaturan Sistem Nonparalel (Ketidakberaturan 5)

Ketidakberaturan ini tidak ada karena bangunan tidak memiliki dinding geser

2. Ketidakberaturan Vertikal

a. Ketidakberaturan Tingkat Lunak

Ketidakberaturan ini dibagi menjadi dua yaitu:

- Ketidakberaturan tingkat lunak 1A didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata tiga tingkat di atasnya.
- Ketidakberaturan tingkat lunak 1B didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan lateral rata-rata tiga tingkat di atasnya

Tabel 4.23 Cek ketidakberaturan 1A arah X dan Y

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan kN/m	Cek	Kekakuan kN/m	Cek
8	578890,418		243490,535	
7	1044429,203	Tidak Ada	350777,551	Tidak Ada
6	1162016,937	Tidak Ada	371520,331	Tidak Ada
5	1217499,244	Tidak Ada	374019,239	Tidak Ada
4	1279582,388	Tidak Ada	378494,961	Tidak Ada
3	1349690,726	Tidak Ada	388555,572	Tidak Ada
2	1528975,812	Tidak Ada	430466,232	Tidak Ada
1	2622843,259	Tidak Ada	736253,972	Tidak Ada

b. Ketidakteraturan Massa (Ketidakteraturan 2)

Didefinisikan ada jika massa disebarkan tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di atasnya

Tabel 4.24 Cek ketidakteraturan massa tingkat

Lantai	Massa kg	Cek
8	729579,33	Tidak Ada
7	1163241,57	Tidak Ada
6	1228346,74	Tidak Ada
5	1213226,74	Tidak Ada
4	1228346,74	Tidak Ada
3	1228346,74	Tidak Ada
2	1228346,74	Tidak Ada
1	1228346,74	Tidak Ada

c. Ketidakberaturan Geometri Vertikal (Ketidakteraturan 3)

Ketidakberaturan ini tidak ada karena bangunan tidak memiliki dinding geser

d. Ketidakberaturan Diskontinuitas Bidang Pada Elemen Vertikal Penahan Gaya Lateral (Ketidakteraturan 4)

Ketidakberaturan ini tidak ada karena bangunan tidak memiliki dinding geser

e. Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat (Ketidakteraturan 5)

Ketidakberaturan ini dibagi menjadi dua yaitu :

- Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat 5A didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80% kekuatan lateral tingkat di atasnya
- Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat 5B. Didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65% kekuatan lateral tingkat di atasnya

Tabel 4.25 Cek ketidakteraturan tingkat lemah 5A dan 5B

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
8	1032,15		1032,15	
7	2200,77	Tidak Ada	2200,77	Tidak Ada
6	3188,3	Tidak Ada	3188,3	Tidak Ada
5	3940,43	Tidak Ada	3940,43	Tidak Ada
4	4483,89	Tidak Ada	4483,89	Tidak Ada
3	4836,85	Tidak Ada	4836,85	Tidak Ada
2	5031,49	Tidak Ada	5031,49	Tidak Ada
1	5099,33	Tidak Ada	5099,33	Tidak Ada

Tabel 4.26 Rekapitulasi cek ketidakberaturan horizontal

No	Ketidakberaturan Horizontal	Hasil
1	1A, 1B	Ada
2	2	Ada
3	3	Tidak Ada
4	4	Tidak Ada
5	5	Tidak Ada

Tabel 4.27 Rekapitulasi cek ketidakberaturan vertikal

No	Ketidakberaturan Vertikal	Hasil
1	1A, 1B	Tidak Ada
2	2	Tidak Ada
3	3	Tidak Ada
4	4	Tidak Ada
5	5	Tidak Ada

4.4.5. Konsekuensi Ketidakberaturan Struktur

Berdasarkan hasil cek ketidakberaturan struktur di atas bangunan Gedung Keuangan Negara II ini mengalami 2 ketidakberaturan horizontal yaitu ketidakberaturan horizontal 1a, 1b arah x dan ketidakberaturan horizontal 2. Menurut SNI 1726-2019 jika suatu gedung mengalami ketidakberaturan struktur horizontal maka harus memperhatikan konsekuensi yang terdapat pada pasal referensi pada tabel 13 SNI 1726-2019. berikut ini adalah pasal referensi

1. Pasal referensi ketidakberaturan horizontal 1a, 1b

➤ **Pasal 7.3.3.1 Ketidakberaturan horizontal dan vertikal struktur yang terlarang untuk kategori desain seismik D sampai F**

Struktur dengan kategori desain seismik E atau F dan memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1b atau ketidakberaturan vertikal Tipe 1b, 5a, atau 5b tidak diizinkan. Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik D dan memiliki ketidakberaturan vertikal Tipe 5b tidak diizinkan.

➤ **Pasal 7.3.3.4 Peningkatan gaya akibat ketidakberaturan untuk kategori desain seismik D hingga F**

Untuk struktur dengan kategori desain seismik D, E, atau F dan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1a, 1b, 2, 3, atau 4 pada Tabel 13 atau ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 4 pada Tabel 14, gaya desain yang ditentukan berdasarkan pasal 7.10.1.1 gaya desain diafragma harus ditingkatkan 25 % untuk elemen-elemen sistem pemikul gaya seismik di bawah ini:

1. Sambungan antara diafragma dengan elemen-elemen vertikal dan dengan elemen-elemen kolektor;
2. Elemen kolektor dan sambungannya, termasuk sambungan-sambungan ke elemen vertikal dari sistem pemikul gaya seismik.

Pengecualian Gaya yang dihitung menggunakan efek gaya seismik, termasuk faktor kuat lebih sesuai pasal 7.4.3 pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih, tidak perlu diperbesar.

➤ **Pasal 7.3.4.2 Faktor redundansi, ρ , untuk kategori desain seismik D sampai F**

Untuk struktur dengan kategori desain seismik D yang memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan sesuai Tabel 13, Tipe 1b, ρ harus sebesar 1,3. Kategori seismik desain E dan F tidak diizinkan memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan (lihat pasal 7.3.3.1). Untuk struktur yang tidak memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan dengan kategori desain seismik D, E, atau F, ρ harus sebesar 1,3, kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, di mana ρ diizinkan diambil sebesar 1,0:

- a. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 % geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan Tabel 15;
- b. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem pemikul gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter pemikul gaya seismik yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35 % geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang

dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, h_{sx} , untuk konstruksi rangka ringan.

➤ **Pasal 7.7.3 Pemodelan Struktur**

Model matematika struktur harus dibuat untuk tujuan penentuan gaya elemen struktur dan perpindahan struktur yang dihasilkan dari beban yang diterapkan dan semua perpindahan yang dikenakan atau pengaruh P-delta. Model harus menyertakan kekakuan dan kekuatan elemen yang signifikan terhadap distribusi gaya dan deformasi dalam struktur dan merepresentasikan distribusi massa dan kekakuan secara spasial pada seluruh struktur. Sebagai tambahan, model tersebut harus sesuai dengan hal berikut ini:

- a. Properti kekakuan elemen beton dan batu bata harus memperhitungkan pengaruh penampang retak;
- b. Untuk sistem rangka baja pemikul momen, kontribusi deformasi daerah panel pada simpangan antar tingkat keseluruhan harus disertakan.

Struktur yang mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1a, 1b, 4, atau 5 dari Tabel 13 harus dianalisis menggunakan penggambaran 3 dimensi. Jika model 3 dimensi digunakan, minimum tiga derajat kebebasan dinamik yang terdiri dari translasi dalam dua arah denah ortogonal dan rotasi torsi terhadap sumbu vertikal harus disertakan di masing-masing tingkat struktur. Jika diafragma belum diklasifikasikan sebagai kaku atau fleksibel sesuai dengan pasal 7.3.1 fleksibilitas diafragma, model tersebut harus menyertakan representasi karakteristik kekakuan diafragma dan derajat kebebasan dinamik tambahan tersebut diperlukan untuk memperhitungkan partisipasi diafragma dalam respons dinamik struktur. Jika menggunakan analisis riwayat waktu atau ragam respons spektral, minimum tiga derajat kebebasan dinamik yang terdiri dari translasi dalam dua arah denah ortogonal dan rotasi torsi terhadap sumbu vertikal harus disertakan di masing-masing tingkat struktur.

Pengecualian Analisis menggunakan representasi 3 dimensi tidak diperlukan untuk struktur dengan diafragma fleksibel yang memiliki ketidakberaturan horizontal struktur Tipe 4.

➤ **Pasal 7.8.4.3 Pembesaran momen torsi tak terduga**

Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, di mana ketidakberaturan torsi tipe 1a atau 1b terjadi seperti didefinisikan dalam Tabel 13 harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan M_t di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi (A_x) seperti digambarkan dalam Gambar 4.10 dan ditentukan dari persamaan 2.17 :

$$A_x = \left(\frac{\delta_{\max}}{1,2 \delta_{\text{avg}}} \right)^2$$

Konsekuensi

Tabel 4.28 Konsekuensi pasal 7.8.4.3 arah x

Arah X	Rasio	A_x	%	Ecc. (m)
Lantai 8	1,438	1,436	7,2%	4,021
Lantai 7	1,681	1,962	9,8%	5,495
Lantai 6	1,657	1,907	9,5%	5,339
Lantai 5	1,633	1,852	9,3%	5,185
Lantai 4	1,598	1,773	8,9%	4,965
Lantai 3	1,580	1,734	8,7%	4,854
Lantai 2	1,561	1,692	8,5%	4,738
Lantai 1	1,534	1,634	8,2%	4,576

Tabel 4.29 Konsekuensi pasal 7.8.4.3 arah y

Arah Y	Rasio	A_x	%	Ecc. (m)
Lantai 8	1,018	0,720	3,6%	0,972
Lantai 7	1,007	0,704	3,5%	0,951
Lantai 6	1,007	0,704	3,5%	0,951
Lantai 5	1,008	0,706	3,5%	0,953
Lantai 4	1,008	0,706	3,5%	0,953
Lantai 3	1,008	0,706	3,5%	0,953
Lantai 2	1,008	0,706	3,5%	0,953
Lantai 1	1,010	0,708	3,5%	0,956

Keterangan :

$\delta_{\max}$ adalah perpindahan maksimum di tingkat x (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan (mm)

δ_{avg} adalah rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan (mm)

Faktor pembesaran torsi (A_x) tidak boleh kurang dari 1 dan tidak perlu melebihi 3,0. Pembebanan yang lebih parah untuk masing-masing elemen harus ditinjau untuk desain

➤ **Pasal 7.12.1 Batasan simpangan antar tingkat**

Simpangan antar tingkat desain (Δ) seperti ditentukan dalam Pasal 7.8.6 Penentuan simpangan antar tingkat, atau pasal 7.9.1.1 Jumlah ragam , tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dari Tabel 20 untuk semua tingkat.

Tabel 4.30 simpangan antar tingkat izin

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 antar tingkat	$0,025 h_{sx}^c$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

Konsekuensi untuk $p = 1.3$ maka dibagi 1,3

Tabel 4.31 Konsekuensi simpangan antar tingkat izin

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 antar tingkat	$0,01923 h_{sx}^c$	$0,01538 h_{sx}$	$0,01154 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,00769 h_{sx}$	$0,00769 h_{sx}$	$0,00769 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,05385 h_{sx}$	$0,05385 h_{sx}$	$0,05385 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,01538 h_{sx}$	$0,01154 h_{sx}$	$0,00769 h_{sx}$

Catatan

hsx adalah tinggi tingkat di bawah tingkat-x.

Untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar tingkat izin harus sesuai dengan persyaratan Pasal 7.12.1.1 Rangka pemikul momen pada struktur yang didesain untuk kategori desain seismik D sampai F

c Tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam Pasal 7.12.3 Pemisahan struktur tidak diabaikan.

d Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser (kopel) dapat diabaikan

➤ Tabel 16–SNI 1726-2019

Tabel 4.32 Prosedur analisis yang diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 7.8	Analisis spektrum respons ragam pasal 7.9	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 11
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori resiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Catatan I : Diizinkan, Ti : Tidak Diizinkan

➤ **Pasal 11.3.4 Torsi**

Eksentrisitas bawaan yang diakibatkan oleh *offset* di pusat massa dan kekakuan pada setiap tingkat harus dipertimbangkan dalam analisis. Selain itu, untuk struktur dengan ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau Tipe 1b seperti yang didefinisikan dalam Pasal 7.3.2.1 Ketidakberaturan horizontal, maka eksentrisitas tak terduga yang terdiri dari perpindahan yang diasumsikan dari pusat massa masing-masing dari lokasi sebenarnya dengan jarak sama dengan 5% dimensi diafragma dari struktur yang sejajar dengan arah pergeseran massa harus dipertimbangkan. Perpindahan wajib 5% dari pusat massa tidak perlu dilakukan pada kedua arah ortogonal secara bersamaan

2. Pasal referensi ketidakberaturan sudut dalam

➤ **Pasal 7.3.3.4 peningkatan gaya akibat ketidakberaturan untuk kategori desain seismik D hingga F**

Untuk struktur dengan kategori desain seismik D, E, F dan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1a, 1b, 2, 3 atau 4 tabel 13 atau ketidakberaturan struktur vertikal tipe 4 pada tabel 14, gaya desain yang ditentukan berdasarkan pasal 7.10.1.1 gaya desain diafragma harus ditingkatkan 25% untuk elemen-elemen sistem pemikul gaya seismik di bawah ini :

1. Sambungan antara diafragma dengan elemen-elemen vertikal dan dengan elemen-elemen kolektor,
2. Elemen kolektor dan sambungannya, termasuk sambungan-sambungan ke elemen vertikal dari sistem pemikul gaya seismik.

PENGECUALIAN gaya yang dihitung menggunakan efek gaya seismik, termasuk faktor kuat lebih sesuai pasal 7.4.3 pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih.

4.4.6. Kapasitas Penampang Struktur

Dalam analisis kapasitas penampang struktur ini mengacu pada standar SNI 2847 2019 dan SNI 1726 2019 yang termasuk faktor reduksi dan kombinasi pembebanan yang digunakan.

1. Cek Penampang Kolom

Dalam pengecekan penampang kolom dikarenakan pada gedung ini tidak diketahui dimensi dan jumlah tulangan pada kolom, maka hanya dilakukan pengecekan terhadap syarat gaya dan geometri sesuai dengan SNI 2847-2019.

Tabel 4.33 Cek penampang kolom

Nama	Parameter	persamaan	Satuan	Nilai
Property material dan penampang				
Kolom 100x50 cm	Lebar kolom (b)		mm	500
	Panjang kolom (h)		mm	1000
	Luas kolom (A_g)		mm ²	500000
	Tebal bersih selimut beton (t_s)		mm	40
	Kuat tekan beton f_c'		MPa	20.75
Cek dimensi				
	Syarat lebar 1	$b > 300$	mm	Memenuhi
	Syarat lebar 2	$b/h > 0.4$	mm	Memenuhi

Pada hasil pengecekan kolom di atas dapat diketahui bahwa kolom masih memenuhi syarat gaya dan geometri sesuai dengan SNI 2847-2019.

2. Cek Penampang Balok

Dalam pengecekan penampang balok dikarenakan pada gedung ini tidak diketahui dimensi dan jumlah tulangan pada balok, maka hanya dilakukan pengecekan terhadap syarat gaya dan geometri sesuai dengan SNI 2847-2019

Tabel 4.34 Cek penampang balok 50x90 cm (15m)

Nama	Parameter	Persamaan	Satuan	Nilai
Property material dan penampang				
Balok induk 50x90 cm	Panjang balok (L)		mm	15000
	Lebar balok (b)		mm	500
	Tinggi balok (h)		mm	900
Nama	Parameter	Persamaan	Satuan	Nilai
	Panjang kolom (c_1)		mm	1000
	Lebar kolom (c_2)		mm	500
	L_n	$L - c_1$	mm	14000
Syarat gaya dan geometri				

	syarat tinggi efektif	$L_n \geq 4d$?	mm	Memenuhi
	syarat lebar 1	$b \geq \min(0.3h, 250 \text{ mm})$	mm	Memenuhi
	syarat lebar 2	$b \leq c_2 + 2 * \min(c_2, 0.75 c_1)$	mm	Memenuhi

Tabel 4.35 Cek penampang balok 50x90 cm (6m)

Nama	Parameter	Persamaan	Satuan	Nilai
Property material dan penampang				
Balok induk 50x90	Panjang balok (L)		mm	6000
	Lebar balok (b)		mm	500
	Tinggi balok (h)		mm	900
	Panjang tumpuan	$2 * h$	mm	1800
	Panjang kolom (c_1)		mm	1000
	Lebar kolom (c_2)		mm	500
	L_n	$L - c_1$	mm	5000
Syarat gaya dan geometri				
	syarat tinggi efektif	$L_n \geq 4d$?	mm	Memenuhi
	syarat lebar 1	$b \geq \min(0.3h, 250 \text{ mm})$	mm	Memenuhi
	syarat lebar 2	$b \leq c_2 + 2 * \min(c_2, 0.75 c_1)$	mm	Memenuhi

Tabel 4.36 Cek penampang balok 50x90 cm (3m)

Nama	Parameter	Persamaan	Satuan	Nilai
Property material dan penampang				
Balok induk 50x90	Panjang balok (L)		mm	3000
	Lebar balok (b)		mm	500
	Tinggi balok (h)		mm	900
	Panjang tumpuan	$2 * h$	mm	1800
	Panjang kolom (c_1)		mm	1000
	Lebar kolom (c_2)		mm	500
	L_n	$L - c_1$	mm	2000
Syarat gaya dan geometri				
	syarat tinggi efektif	$L_n \geq 4d$?	mm	Tidak memenuhi
	syarat lebar 1	$b \geq \min(0.3h, 250 \text{ mm})$	mm	Memenuhi
	syarat lebar 2	$b \leq c_2 + 2 * \min(c_2, 0.75 c_1)$	mm	Memenuhi

Tabel 4.37 Cek penampang balok 50x90 cm (4m)

Nama	Parameter	Persamaan	Satuan	Nilai
Property material dan penampang				
Balok induk 50x30	Panjang balok (L)		mm	4000
	Lebar balok (b)		mm	300
	Tinggi balok (h)		mm	500
	Panjang tumpuan	$2 \cdot h$	mm	1000
	Panjang kolom (c_1)		mm	1000
	Lebar kolom (c_2)		mm	500
	L_n	$L - c_1$	mm	3000
Syarat gaya dan geometri				
	syarat tinggi efektif	$L_n \geq 4d$?	mm	Memenuhi
	syarat lebar 1	$b \geq \min(0.3h, 250 \text{ mm})$	mm	Memenuhi
	syarat lebar 2	$b \leq c_2 + 2 \cdot \min(c_2, 0.75 c_1)$	mm	Memenuhi

4.5. Analisis Kinerja Struktur Berdasarkan Hasil Pushover

4.5.1. Beban Gaya Gravitasi

Beban gravitasi pada saat terjadi gempa mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap beban gempa yang diterima dan perilaku struktur utama akibat efek P – Delta. Oleh karena itu, dalam pushover beban gravitasi diberikan terlebih dahulu sebelum beban dorongan. Beban gravitasi yang digunakan adalah beban yang berasal dari berat seismik efektif yang diatur dalam SNI 1726 2019 pasal 7.7.2 sebagai berikut:

1. Sedikitnya 25 persen dari beban hidup lantai yang digunakan untuk penyimpanan (beban hidup lantai dan struktur garasi umum parker terbuka, dan beban penyimpanan tidak melebihi 5 persen berat seismik efektif di lantai tidak perlu dimasukkan)
2. Jika ketentuan untuk partisi diperlukan dalam desain beban lantai, maka diambil terbesar dari berat sebenarnya dari partisi atau berat dari luas lantai minimal $0,48 \text{ kN/m}^2$
3. Total berat dari peralatan operasional permanen
4. Bobot lansekap dan beban lain di taman atap dan area serupa lainnya

4.5.2. Hasil Analisis Statik Non Linear (*Pushover*)

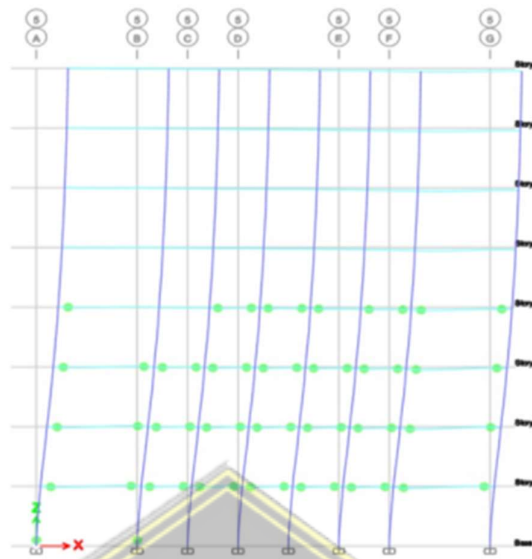
Hasil dari analisis *Pushover* adalah kurva kapasitas struktur untuk masing – masing setiap arah dari beban dorong yang diberikan. Perlu juga dicatat bahwa ketika pemuatan gravitasi dilakukan, seharusnya tidak boleh terjadi sendi plastis, pada analisis pushover ini menggunakan metode ASCE 41-13 NSP.

4.5.3. Hasil dan pembahasan Analisis Arah X

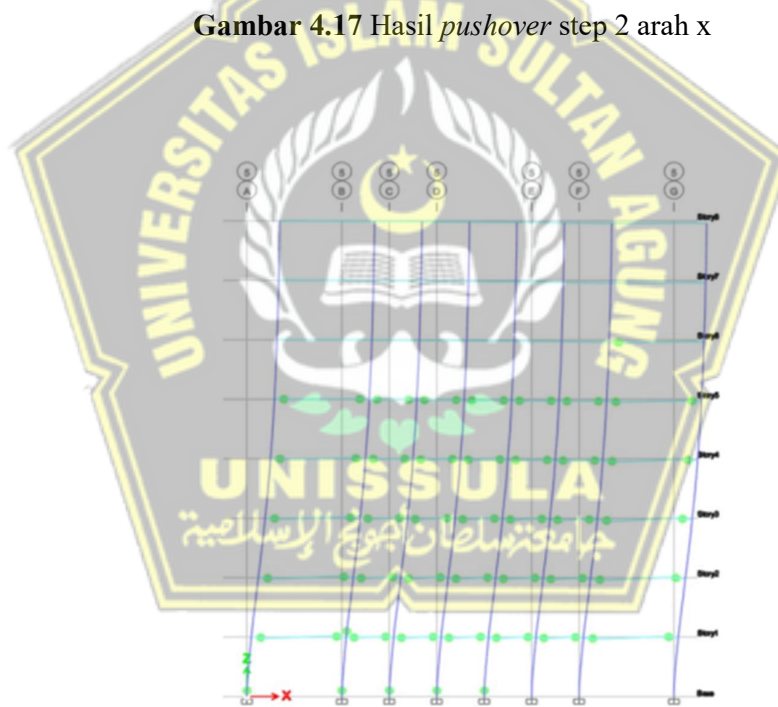


Gambar 4.15 Kondisi awal struktur akibat beban gravitasi

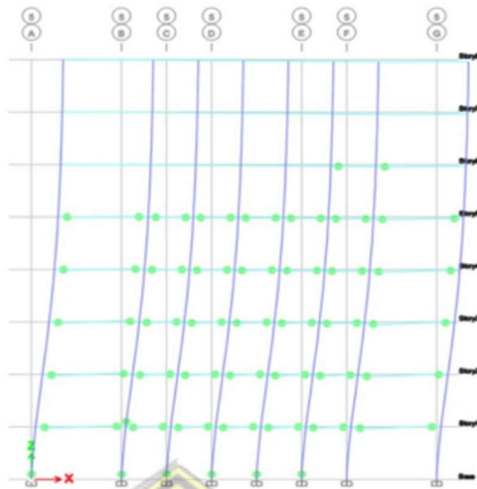
Gambar 4.16 Hasil *pushover* step 1 arah x



Gambar 4.17 Hasil *pushover* step 2 arah x

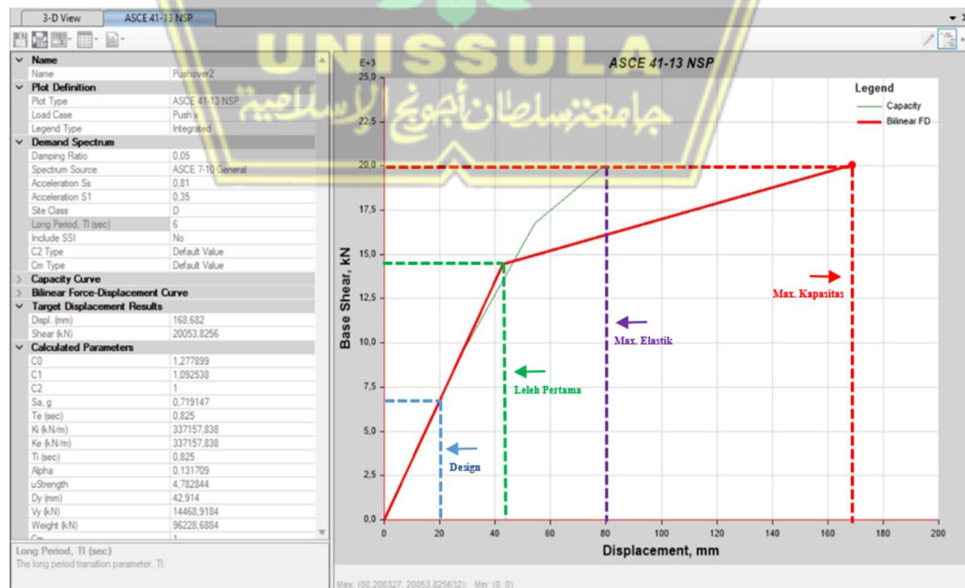


Gambar 4.18 Hasil *pushover* step 3 arah x



Gambar 4.19 Hasil *pushover* step 4 arah x (Akhir)

Hasil analisis non linier statik (*pushover*) memberikan gambaran bahwa sendi plastis pertama terjadi pada kolom lantai 1-4 seperti terlihat pada gambar 4.17, pelelehan selanjutnya terjadi pada kolom dan balok utama pada posisi lantai 5 samapai tepi lantai 6 sebagai ditunjukkan pada gambar 4.18 dan pada kondisi akhir balok dan kolom mengalami pelelehan secara bersamaan seperti terlihat pada gambar 4.19. Kegagalan terjadi pada perpindahan sebesar 159,28 mm dengan gaya geser dasar 20053,2856 kN. Kurva kapasitas arah – X dalam geser dan perpindahan bisa dilihat pada Gambar 4.20



Gambar 4.20 Kurva kapasitas pushover dan kurva elastic arah x

Tabel 4.38 Gaya geser antar lantai yang digunakan sebagai beban dorong

Titik	V (kN)	D(mm)
Maks. Kapasitas	20000	168,682
Lelehan Pertama	14468,9184	42,914
Desain	7000	20
Maks. Elastik	20000	78

Dari titik ini, parameter desain seperti factor modifikasi respon (R), factor defleksi (Cd), dan factor kuat Ω_0 . Pada awal analisis diasumsikan $R = 8$, $Cd = 5,5$ dan $\Omega_0 = 3$ (system pembawa momen khusus). Selanjutnya hasil dengan metode perpindahan *Equal Displacement* dari ASCE 41-13 NSP, metode ini mengasumsikan bahwa daktilitas dibutuhkan oleh struktur yang dirancang secara plastis adalah pada titik dimana: perpindahan Ketika struktur elastik ($R = 1$) sama dengan perpindahan Ketika struktur plastis. Dari pengertian tersebut dapat ditentukan nilai R, Cd dan Ω_0 sebagai berikut:

$$R_{\text{actual}} = \frac{V_e}{V_y} = \frac{20000}{14468,9184} = 1,38 > 1 \text{ (OK)}$$

$$Cd = \frac{\Delta e}{\Delta y} = \frac{78,5}{42,914} = 1,8 < Cd_{\text{desain}} \text{ (OK)}$$

$$\Omega_0 = \frac{V_{\text{capacity}}}{V_y} = \frac{15219,36}{14468,9184} = 1,03 < \Omega_0_{\text{desain}} \text{ (OK)}$$

Bisa dilihat untuk parameter faktor pembesaran defleksi (Cd) dan faktor kuat lebih (Ω_0) actual lebih kecil dari parameternya sehingga struktur masih aman. Level kinerja struktur ditentukan berdasarkan ATC 40 dengan batas perpindahan sebagai berikut :

$$\text{Immediate Occupancy} = 0,01$$

$$\text{Damage Control} = 0,01 - 0,02$$

$$\text{Life Safety} = 0,02$$

Berdasarkan batas perpindahan tersebut maka tingkat kinerja struktur dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Rasio} = \frac{\Delta d}{H_{\text{total}}}$$

Dimana

Δd = perpindahan akhir (mm)

H_{total} = ketinggian total bangunan

Maka :

$$\text{Rasio} = \frac{159,26}{32000} = 0,0049$$

Dengan demikian tingkat kinerja struktur berdasarkan batas perpindahan termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO) sehingga bangunan masih aman untuk gempa (Demand).

Berdasarkan hasil analisis struktural menggunakan standar regulasi terbaru, bangunan masih dalam kategori aman terhadap beban tetap yaitu beban mati dan beban hidup, tetapi jika ada beberapa elemen struktur yang mengalami tegangan lebih terutama pada elemen kolom struktur lantai 1 jika dibebani gempa bumi bekerja dengan rasio tegangan 1,483 atau lebih dari 1, ini menunjukkan kemungkinan kegagalan struktural berdasarkan Analisa menggunakan SNI 1726 2019. Guna membuktikan kekuatan sebenarnya dari struktur yang digunakan pada Analisa non linier static (*Pushover*) dengan hasil kinerja structural masih dalam kategori *Immediate Occupancy* untuk arah X menunjukan bila terjadi gempa strukturnya masih aman, hanya terdapat sedikit kerusakan ringan yang untuk memperbaikinya tidak mengganggu pengguna, kekuatan dan kekakuannya kurang lebih sama dengan pada saat belum terjadi gempa, sistem penahan gaya vertikal dan struktur lateral masih mampu untuk menahan gaya yang terjadi pada saat terjadinya gempa.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian lapangan terhadap struktur ekisisting yang meliputi pengujian visual, pengujian *rebound hammer*, serta dilakukan analisa struktur dan *pushover* menggunakan aplikasi ETABS , maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Secara pengamatan visual tidak ada perubahan atau deformasi elemen struktur secara berlebih atau berbahaya bagi struktur, terutama pada bangunan utama.
2. Secara umum material beton masih layak sebagai material struktural dengan kuat tekan karakteristik beton rata-rata sebesar $278,24 \text{ kg/cm}^2$.
3. Dari hasil Analisa struktur terhadap beban dinamik (gempa) berdasarkan SNI 1726-2019, terdapat beberapa tempat yang dinilai kurang aman, terutama pada kolom lantai 1 namun masih dinilai aman terhadap beban tetap (beban mati dan beban hidup). Kemudian pada hasil analisa non linear static (*Pushover*) struktur bangunan berada pada level *Immediate Occupancy* untuk arah X yang menunjukkan bila terjadi gempa struktur masih dalam kondisi aman.

5.2 Saran

Dalam penulisan Tugas Akhir ini masih belum sempurna dikarenakan masih banyak kekurangan didalamnya. Saran agar penulisan Tugas Akhir ini dapat lebih baik lagi selanjutnya adalah :

1. Dikarenakan dalam proses running analisa *Pushover* cukup membutuhkan waktu yang lama maka diharapkan menggunakan laptop/computer dengan spesifikasi bagus sehingga dapat mempercepat proses running tersebut.
2. Menambahkan solusi perkuatan pada tujuan penelitian
3. Menggunakan alat *waterpass* digital agar mengetahui tingkat kemiringan gedung secara tepat



DAFTAR PUSTAKA

- Antonius, (2020), *Konsep Dasar dan Desain Struktur Beton Bertulang*, Unissula Press, Semarang.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Enggartiasto, Lintang (2021) *Study Kelayakan Struktur Bangunan Lama Berdasarkan Standar Bangunan Gedung Terbaru yang Berlaku Di Indonesia*. Master thesis, Universitas Islam Sultan Agung.
- Karisoh, P. H., Dapas, S. O., & Pandaleke, R. E. (2018). *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus*. Jurnal Sipil Statik, 6(6).
- Ribowo, A. B., Niken, C., & Widyawati, R. (2020). *Pengaruh Kondisi Lingkungan Pada Kualitas Beton Studi Kasus RS PTN Universitas Lampung*. Rekayasa: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung, 24(3), 58-61.
- Rohmat, A. (2020). *Analisis Kerusakan Struktur Dan Arsitektur Pada Bangunan Gedung (Studi Kasus: Gedung F Universitas Muhammadiyah Sukabumi)*. Jurnal Student Teknik Sipil, 2(2), 134-140.
- Sembiring, A. Y., S. E. Wallah, dan B. M. Ointu. 2019. *Pengaruh pembebanan terhadap hasil pengujian hammer test pada kolom beton bertulang*. J. Sipil Statik. 7 (2): 277 – 284.
- Winanti, E. T., Kustini, I., Wibisono, R. E., Irianto, D., Nusantara, D. A. D., & Aritonang, N. (2022). *Pelatihan Pengolahan Data Hasil Pengukuran Waterpass, Theodolit, Total Station Bagi Guru Teknik Kontruksi dan*

Properti SMK Wilayah Kabupaten Jombang & Sekitarnya. Jurnal Abadimas
Adi Buana, 5(02), 242-252.

