

TUGAS AKHIR

**ASESMEN DAN ANALISA GEDUNG EKSISTING (STUDI KASUS
BANGUNAN JOHAR *SHOPPING CENTER* SEMARANG)**

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



Disusun Oleh :

Eka Prasetya Aji Yahya

NIM : 30201800053

Faizal Adhitama Bhanu Pradipta

NIM : 30201800066

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

2022

HALAMAN PERSETUJUAN

ASESMEN DAN ANALISA GEDUNG EKSISTING (STUDI KASUS BANGUNAN JOHAR *SHOPPING CENTER* SEMARANG)

Diajukan oleh :

Eka Prasetya Aji Yahya
NIM : 30201800053

Faizal Adhitama Bhanu Pradipta
NIM : 30201800066

Telah disetujui oleh :

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Antonius, MT
NIDN: 0605046703

Tanggal : Agustus 2022



Pembimbing Pendamping



Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT, Ph.D
NIDN: 0607046802

Tanggal : 13 Agustus 2022

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

HALAMAN PENGESAHAN

ASESMEN DAN ANALISA GEDUNG EKSISTING (STUDI KASUS BANGUNAN JOHAR *SHOPPING CENTER* SEMARANG)



Eka Prasetya Aji Yahya
NIM : 30201800053



Faizal Adhitama Bhanu Pradipta
NIM : 30201800066

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Agustus 2022

Tim Penguji

1. **Prof. Dr. Ir. Antonius, MT**
NIDN: 0605046703
2. **Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT.,
Ph.D**
NIDN: 0607046802
3. **Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.**
NIDN: 0625059102



Tanda Tangan

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

g/n

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

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No. 20 / A.2 / SA-T / VII / 2022

Pada hari ini tanggal 28 Juli 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
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D.
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Eka Prasetya Aji Yahya
NIM : 30201800053

Faizal Adhitama Bhanu Pradipta
NIM : 30201800066

Judul : ASESMEN DAN ANALISA GEDUNG EKSISTING (STUDI KASUS BANGUNAN JOHAR SHOPPING CENTER SEMARANG)

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	11 Februari 2022	ACC
2	Seminar Proposal	29 Maret 2022	ACC
3	Pengumpulan data	Maret 2022	ACC
4	Analisis data	April 2022	ACC
5	Penyusunan laporan	April 2022	ACC
6	Selesai laporan	15 Agustus 2022	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama



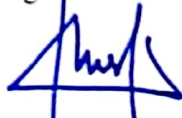
Prof. Dr. Ir. Antonius, MT.

Dosen Pembimbing Pendamping



Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Eka Prasetya Aji Yahya

NIM : 30201800053

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

ASESMEN DAN ANALISA GEDUNG EKSISTING (STUDI KASUS BANGUNAN
JOHAR *SHOPPING CENTER* 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, ____/____/____

pernyataan,



Eka Prasetya Aji Yahya

NIM : 30201800053



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Faizal Adhitama Bhanu Pradipta

NIM : 30201800066

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

ASESMEN DAN ANALISA GEDUNG EKSISTING (STUDI KASUS BANGUNAN
JOHAR *SHOPPING CENTER* 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, ____/____/____

at pernyataan,



88FEAJX969761427

Faizal Adhitama Bhanu Pradipta

NIM : 30201800066



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Eka Prasetya Aji Yahya
NIM : 30201800053
JUDUL TUGAS AKHIR : ASESMEN DAN ANALISA GEDUNG EKSISTING (STUDI
KASUS BANGUNAN JOHAR *SHOPPING CENTER* 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 di kemudian 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.



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Faizal Adhitama Bhanu Pradipta
NIM : 30201800066
JUDUL TUGAS AKHIR : ASESMEN DAN ANALISA GEDUNG EKSISTING (STUDI KASUS BANGUNAN JOHAR *SHOPPING CENTER* 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 ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila di kemudian 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.



MOTTO

“Bunga yang tidak akan layu sepanjang jaman adalah kebajikan.”

(William Cowper)

“Orang – orang hebat di bidang apapun bukan baru bekerja karena mereka terinspirasi, namun mereka menjadi terinspirasi karena mereka lebih suka bekerja. Mereka tidak menyalakan waktu untuk menunggu inspirasi.”

(Ernest Newman)

“Musuh paling berbahaya di atas dunia ini adalah penakut dan bimbang. Teman yang paling setia, hanyalah keberanian dan keyakinan yang teguh.”

(Andrew Jackson)

“Harga kebaikan manusia adalah diukur menurut apa yang telah dilaksanakan/diperbuatnya.”

(Ali Bin Abi Thalib)

“Hiduplah seperti pohon kayu yang lebat buahnya; hidup di tepi jalan dan dilempari orang dengan batu, tetapi dibalas dengan buah.”

(Abu Bakar Sibli)

“Beri aku 1.000 orang tua, niscaya akan kucabut gunung semeru dari akarnya. Beri aku 10 pemuda niscaya akan kuguncangkan dunia.”

(Ir. Soekarno)

“Barang siapa ingin Mutiara, harus berani terjun di lautan yang dalam.”

(Ir. Soekarno)

“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.”

(Al – Imran Ayat 110)

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya. Ayah Wishnu Noorcahyo dan Bunda Ika Dewi Retnosari yang selalu berkorban agar anaknya dapat menempuh pendidikan tinggi, serta yang memberikan segenap kasih sayang, semangat, dukungan, dan do'a untuk keberkahan saya dalam mencari ilmu yang bermanfaat.
2. Kepada Kakak saya Parameswari Iccha N.W.P yang telah memberikan saya dukungan agar selalu semangat dan terus berjuang.
3. Kepada Pujaan Hati saya Ahida Nur Rizkana yang telah selalu menemani, memberi *support*, memberi semangat, dan selalu menjadi penenang saya disaat saya lelah, panik, pusing. hingga saya dapat mewujudkan mimpi saya dan menyelesaikan studi saya sampai tuntas. ily ayang.
4. Kepada Eka Prasetya Aji Yahya yang merupakan sahabat dan teman atau rekan Tugas Akhir ini yang telah berjuang bersama-sama dan saling membantu, memiliki tekad yang sama dan maju bersama dengan modal nekat.
5. Kepada sahabat saya Affrel Adia Pujangga (Alek) yang selalu memberikan dukungan dan semangat agar saya terus maju dan melangkah hingga akhir.
6. Kepada dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah banyak mengajarkan saya tentang ilmu-ilmu keteknikan dan arahan kepada saya agar kedepan bisa sukses secara dunia dan akhirat.
7. Kepada semua keluarga Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil, terutama pengurus harian periode 2020/2021 yang telah memberikan semangat.
8. Teman-teman fakultas teknik angkatan 2018 yang turut memberikan semangat kepada saya khususnya Edo, Riky, Alif, Indro, Tony, Ajek, Azka, Alvin, Agung, Roil.
9. Kepada Mas Lintang yang telah sabar dan senantiasa membagikan ilmunya dalam membimbing saya hingga dapat menyelesaikan laporan ini.

Faizal Adhitama Bhanu P

NIM : 30.2018.00.066

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua Orang Tua saya yang saya sayangi selalu yaitu Bapak Sukarno dan Ibu Rupiyyat yang telah memberikan *support* yang sangat besar untuk selama ini.
2. Kepada adik – adik saya Dafara Ficky Fedriansyah (Jumadi) dan Zahwa Aulia Salsa Bila (Sriatun) yang menjadi motivasi untuk diri saya menjadi berkembang lebih baik dari yang sebelumnya agar bisa menjadi contoh yang baik.
3. Kepada Nurul Hidayati penawar letihku yang berperan sebagai *support system* dan yang selalu ada untuk saya yang menjadi teman, sahabat, dan semoga menjadi pendamping hidup.
4. Faizal Adhitama Bhanu yang merupakan sahabat maupun rekan Tugas Akhir ini yang telah berjuang bersama-sama dan saling membantu meskipun saling menjatuhkan di awal.
5. Teman – teman KMFT angkatan 2018 yang selalu menjadi teman berdiskusi dan telah mengajari banyak hal untuk bersiap akan rintangan rintangan yang akan kita hadapi kelak.
6. Faizal adhitama Bhanu, Fabian Alif N B, Edo Bagus Prayogo teman - teman terdekat saya yang mengajari banyak hal dan memberikan semangat.
7. Agung Sukma Pratama yang menjadi teman pertama saya ketika berada di Fakultas Teknik Unissula, terimakasih atas segala ilmu dan pengalaman yang berharga ini kawan.
8. Adik – adiku Erlangga Barlian, Hanif Muhammad, Endrian Agsan, Nugroho Adi Santoso yang telah memberikan banyak sekali ilmu dan semangat.
9. Terimakasih kepada teman – teman yang tergabung dalam grub *whatsapp* “CAH CELENG” yang telah memberi pengalaman hidup yang sangat berharga dan ilmu yang sangat bermanfaat.
10. Terima kasih kepada teman – teman kontrakan *Black Hol* yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu atas semua ilmu dan pengalaman yang diberikan.

11. Terimakasih kepada teman – teman HMJ*S Angkatan 2018 yang telah mengajari banyak hal dan pengalaman yang bermanfaat untuk masa depan.
12. Terimakasih kepada Dosen – Dosen Fakultas Teknik Unissula yang telah memberikan pembelajaran dan ilmu bermanfaat bagi saya.
13. Terimakasih kepada Mas Lintang selaku asisten dosen dari Prof. Antonius yang telah membimbing kami dalam proses penyelesaian Tugas Akhir.

Eka Prasetya Aji Yahya

NIM : 30.2018.00.053



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan Kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“ASESMEN DAN ANALISA GEDUNG EKSISTING (STUDI KASUS BANGUNAN JOHAR SHOPPING CENTER SEMARANG)”** guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, tiada kata-kata yang lebih tepat untuk diucapkan dalam kesempatan ini Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT yang telah membimbing, memberikan saran dan mengajarkan saya mempelajari Analisa Struktur Eksisting untuk tugas akhir saya.
4. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D yang telah membantu, memberikan saran dan mengajarkan saya mempelajari tata cara penulisan yang baik dan benar.
5. Saudara Lintang Enggartiasto, ST., MT selaku Asisten Dosen yang telah memberikan arahan dan saran selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari keterbatasan ilmu pengetahuan, kemampuan, pemahaman, dan kurangnya pengalaman yang dimiliki, dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dari segi kuantitas maupun kualitas secara ilmu

pengetahuan maupun penguasaan materi. Oleh karena itu, Penyusun mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun sehingga dapat memberikan hasil yang lebih baik pada tahun yang akan datang dengan topik yang sama dan dapat bermanfaat bagi institusi pendidikan kedepannya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Semarang, Agustus 2022

Penulis

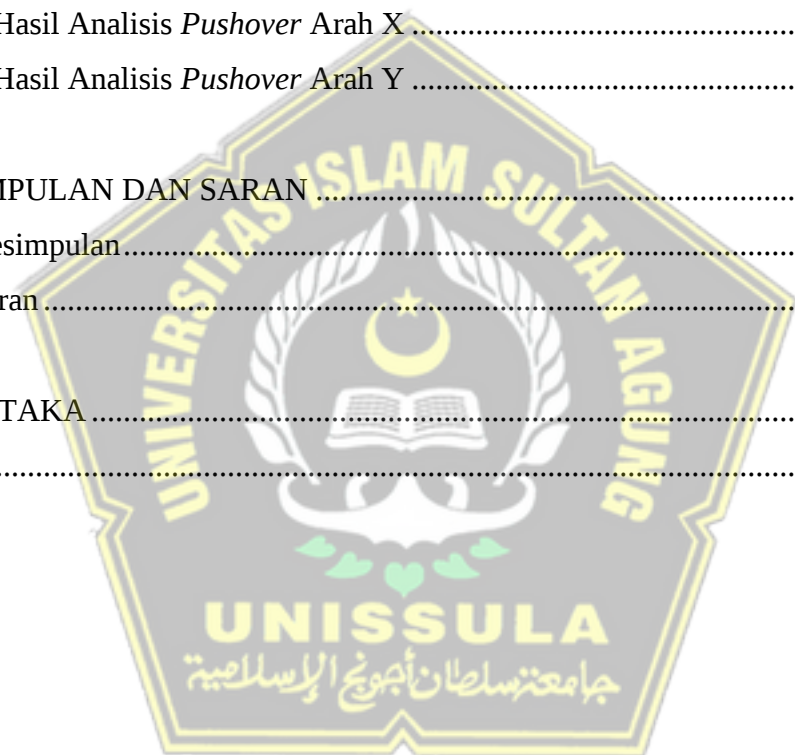


DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
BERITA ACARA	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
PERNYATAAN KEASLIAN	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN.....	x
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xx
ABSTRAK.....	xxiii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tinjauan Umum	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Tugas Akhir.....	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 4
2.1 Tinjauan Umum.....	4
2.2 Landasan Teori	4
2.2.1 Faktor Penyebab Kerusakan Bangunan	4
2.2.2 Beban-Beban yang Bekerja pada Bangunan	7
2.3 Sistem Struktur Tahan Gempa.....	8
2.3.1 Sistem Dinding Penumpu	8
2.3.2 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM).....	8
2.3.3 Desain Kapasitas.....	9
2.4 Kelaikan Bangunan.....	10

2.5	Prosedur Penilaian Struktur <i>Existing</i>	11
2.5.1	Pengujian Struktur <i>Existing</i>	11
2.5.2	Tahapan Dalam Pengujian Struktur <i>Existing</i>	11
BAB III METODOLOGI		13
3.1	Alur Pengujian	13
3.2	Pengumpulan Data	14
3.2.1	Pengamatan Visual	15
3.2.2	Pengumpulan Data Struktur	16
3.2.3	Pengujian	17
3.2.4	Analisa Struktur	24
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Tinjauan Umum	32
4.2	Hasil Investigasi Lapangan	32
4.2.1.	Pengamatan Visual	32
4.2.2.	Data Geometrik Bangunan	39
4.2.3.	Hasil Penyelidikan Tanah	40
4.2.4.	Data Hasil <i>Hammer Test</i>	42
4.2.5.	Pengujian <i>Rebar Detector</i>	44
4.3	Permodelan Struktur Berdasarkan Kondisi Eksisting	45
4.4	Analisa Struktur	46
4.4.1.	Pembebanan Gravitasi	46
4.4.2.	Pembebanan Gempa pada Struktur	56
4.4.3.	Kombinasi Pembebanan	57
4.4.4.	Faktor Reduksi Kekuatan Beton	58
4.4.5.	Analisis Ragam Getar Struktur	58
4.4.6.	Periode Getar Struktur	60
4.4.7.	Partisipasi Massa Struktur	62
4.4.8.	Gaya Lateral Ekuivalen	63
4.4.9.	Gaya Geser Tiap Lantai	64
4.4.10.	Relasi Beban Gempa Statik – Dinamik	66
4.4.11.	Simpangan Antar Lantai	69
4.4.12.	Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa	72

4.4.13.	Cek Ketidakberaturan Struktur.....	75
4.4.14.	Cek Eksentrisitas	84
4.4.15.	Cek Redudansi.....	85
4.4.16.	Cek Kapasitas Penampang Struktur	85
4.4.16.1	Cek Kapasitas Penampang Balok.....	89
4.4.16.2	Cek Kapasitas Penampang Kolom	90
4.5	<i>Pushover</i>	93
4.5.1.	Pembebanan Gravitasi.....	93
4.5.2.	Pembebanan Dorong	93
4.5.3.	Hasil Analisa Statik Non Linier (<i>Pushover</i>)	93
4.5.3.1	Hasil Analisis <i>Pushover</i> Arah X	94
4.5.3.2	Hasil Analisis <i>Pushover</i> Arah Y	99
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	104
5.1	Kesimpulan.....	104
5.2	Saran.....	105
DAFTAR PUSTAKA		xxiv
LAMPIRAN		xxv



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Nilai Perkiraan Kuantitas Kuat Tekan Permukaan Beton Berdasarkan Hasil Pengujian <i>Schmidt Hammer</i>	21
Tabel 3.2. Kategori Risiko SNI 1726 2019.....	25
Tabel 3.3. Faktor Penahan Gaya Lateral.....	27
Tabel 3.4. Koefisien Pembatas Periode Getar Struktur	27
Tabel 3.5. Koefisien Pembatas Periode Getar Struktur	28
Tabel 3.6. Kategori Ketidakberaturan Horizontal	30
Tabel 3.7. Kategori Ketidakberaturan Vertikal	31
Tabel 4.1. Hasil Pengamatan Visual Gedung Johar <i>Shopping Center</i>	33
Tabel 4.2. Data Geometrik Bangunan.....	39
Tabel 4.3. Data Hasil Boring Tanah	40
Tabel 4.4. Hasil <i>Hammer Test</i> Tiap Lantai.....	43
Tabel 4.5. Uji <i>Rebar Detector</i>	44
Tabel 4.6. Kategori Beban	46
Tabel 4.7. Tabel Faktor Reduksi Kekuatan Beton.....	58
Tabel 4.8. Model Getar Struktur.....	60
Tabel 4.9. Periode Getar Struktur	61
Tabel 4.10. Partisipasi Massa Struktur	62
Tabel 4.11. Gaya Geser Antar Tingkat Arah – X	62
Tabel 4.12. Gaya Geser Antar Tingkat Arah – Y	63
Tabel 4.13. Gaya Geser Tiap Lantai	65
Tabel 4.14. Gaya Geser Statik dan Dinamik Tiap Lantai	66
Tabel 4.15. Gaya Geser Antar Tingkat Dinamik <i>Correction</i>	67
Tabel 4.16. Gaya Geser Desain Antar Tingkat	67
Tabel 4.17. Gaya Lateral Desain.....	68
Tabel 4.18. Simpangan Antar Lantai Arah – X	69
Tabel 4.19. Simpangan Antar Lantai Arah – Y	69
Tabel 4.20. Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa Arah – X	72
Tabel 4.21. Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa Arah – Y	73
Tabel 4.22. Cek Ketidakberaturan Torsi 1A Arah X	75
Tabel 4.23. Cek Ketidakberaturan Torsi 1A Arah Y	76
Tabel 4.24. Cek Ketidakberaturan Torsi 1B Arah X	77

Tabel 4.25. Cek Ketidakberaturan Torsi 1B Arah Y	77
Tabel 4.26. Cek Ketidakberaturan 1A Arah X	79
Tabel 4.27. Cek Ketidakberaturan 1A Arah Y	79
Tabel 4.28. Cek Ketidakberaturan 1B Arah X.....	80
Tabel 4.29. Cek Ketidakberaturan 1B Arah Y.....	80
Tabel 4.30. Cek Ketidakberaturan Massa Tingkat.....	81
Tabel 4.31. Cek Ketidakberaturan Tingkat Lemah.....	81
Tabel 4.32. Cek Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan	82
Tabel 4.33. Rekapitulasi Cek Ketidakberaturan Struktur	82
Tabel 4.34. Tabel Konsekuensi Ketidakberaturan Horizontal.....	83
Tabel 4.35. Tabel Konsekuensi Ketidakberaturan Vertikal.....	83
Tabel 4.36. Momen Torsi Arah X.....	84
Tabel 4.37. Momen Torsi Arah Y.....	84
Tabel 4.38. Kombinasi Pembebanan	86
Tabel 4.39. Kapasitas Penampang Balok.....	90
Tabel 4.40. Kapasitas Penampang Kolom 60x60	91
Tabel 4.41. Kapasitas Penampang Kolom 70x70	91
Tabel 4.42. Kapasitas Penampang Kolom 75x75	92
Tabel 4.43. Kapasitas Penampang Kolom 80x80	92
Tabel 4.44. Level Kinerja Struktur	98
Tabel 4.45. Level Kinerja Struktur	103



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Peta Lokasi Pengujian.....	1
Gambar 1.2. Gedung Johar <i>Shopping Center</i>	2
Gambar 2.1. Konstruksi Bangunan dengan Desain Kapasitas.....	9
Gambar 2.2. Lokasi Sendi Plastik Struktur Gedung Pada Tahap Beban <i>Push-over</i>	10
Gambar 3.1. Bagan Alur Pengujian	13
Gambar 3.2. Pengamatan Visual Lantai 4	16
Gambar 3.3. Pengamatan Visual Pelat Lantai	16
Gambar 3.4. Alat Uji <i>Schmidt Hammer</i>	18
Gambar 3.5. Proses Pemukulan Alat Uji <i>Schmidt Hammer</i>	19
Gambar 3.6. Arah Pukulan <i>Hammer Test</i>	20
Gambar 3.7. Pengujian Kekerasan dengan Alat <i>Schmidt Hammer</i>	20
Gambar 3.8. Alat Uji <i>Rebar Detector</i>	22
Gambar 3.9. Pengecekan Jarak Tulangan dan Jumlah Tulangan Menggunakan Alat <i>Rebar Detector</i>	22
Gambar 3.10. Hasil Uji <i>Rebar Detector</i>	23
Gambar 3.11. Alat Uji <i>Waterpass</i>	23
Gambar 3.12. Permodelan <i>Etabs</i> Gedung Johar <i>Shopping Center</i>	24
Gambar 3.13. Percepatan Periodik Pendek S_s	26
Gambar 3.14. Percepatan Periode 1 Detik S_1	26
Gambar 4.1. Tampak Bangunan	33
Gambar 4.2. Pengujian <i>Rebound Hammer</i>	42
Gambar 4.3. Uji <i>Rebar Detector</i>	44
Gambar 4.4. Denah Struktur Lantai 1 sampai Lantai 6	45
Gambar 4.5. Model Tiga Dimensi Struktur	46
Gambar 4.6. Respon Spektrum Desain	57
Gambar 4.7. Mode 1 Translasi Arah Y	59
Gambar 4.8. Mode 2 Translasi Arah X.....	59
Gambar 4.9. Mode 3 Translasi Arah Z	59
Gambar 4.10. Gaya Geser Antar Tingkat Arah – X	63
Gambar 4.11. Gaya Geser Antar Tingkat Arah – Y	63

Gambar 4.12. Grafik Gaya Geser Tiap Lantai	65
Gambar 4.13. Grafik Gaya Lateral Desain Antar Lantai	68
Gambar 4.14. Gambar Simpangan Antar Lantai Arah X dan Y	69
Gambar 4.15. Grafik P Delta Arah – X	72
Gambar 4.16. Grafik P Delta Arah – Y	73
Gambar 4.17. Diagram Ketidakberaturan Torsi 1A Arah X	75
Gambar 4.18. Diagram Ketidakberaturan Torsi 1A Arah Y	76
Gambar 4.19. Diagram Ketidakberaturan Torsi 1B Arah X	77
Gambar 4.20. Diagram Ketidakberaturan Torsi 1B Arah Y	78
Gambar 4.21. Grafik Cek Redudansi	85
Gambar 4.22. Diagram Aksial Kombinasi <i>Envelope</i>	87
Gambar 4.23. Diagram Gaya Momen Kombinasi <i>Envelope</i>	87
Gambar 4.24. Diagram Gaya Geser Kombinasi <i>Envelope</i>	88
Gambar 4.25. Rasio Kapasitas Beton Akibat Beban Tetap Secara Tiga Dimensi	88
Gambar 4.26. Rasio Kapasitas Beton Akibat Beban Tetap Secara Dua Dimensi	89
Gambar 4.27. Distribusi Beban Dorong Analisis Statik Non Linear	93
Gambar 4.28. Kondisi Awal Struktur Akibat Beban Gravitasi Tiga Dimensi	94
Gambar 4.29. Kondisi Awal Struktur Akibat Beban Gravitasi	94
Gambar 4.30. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 1	95
Gambar 4.31. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 2	95
Gambar 4.32. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 3	95
Gambar 4.33. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 4	96
Gambar 4.34. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 5	96
Gambar 4.35. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 11	96
Gambar 4.36. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 15	97
Gambar 4.37. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 18 (Akhir)	97
Gambar 4.38. <i>Static Pushover Curve</i> Tipe FEMA 440 EL Arah X	98
Gambar 4.39. Kondisi Awal Struktur Akibat Beban Gravitasi	99
Gambar 4.40. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 1	99
Gambar 4.41. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 2	100
Gambar 4.42. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 3	100
Gambar 4.43. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 4	101
Gambar 4.44. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 10	101
Gambar 4.45. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 13	102

Gambar 4.46. Hasil <i>Pushover</i> Tahap 18 (Akhir)	102
Gambar 4.47. <i>Static Pushover Curve</i> Tipe FEMA 440 EL Arah Y	103



ASESMEN DAN ANALISA STRUKTUR EKSISTING GEDUNG JOHAR SHOPPING CENTER

Abstrak

Penelitian ini membahas penilaian eksisting struktur Gedung *Johar Shopping Center* dilakukan berdasarkan kebutuhan yang tidak hanya untuk penilaian Sertifikat Laik Fungsi (SLF), namun untuk jangka panjang yang berguna untuk mengetahui tingkat kelayakan struktur eksisting karena mengingat akan diadakannya pengalihfungsian Gedung *Johar Shopping Center* menjadi Pasar Johar. Dengan berdirinya Gedung *Johar Shopping Center* yang sudah berdiri sejak tahun 1990 – an tentunya untuk mengetahui bahwa bangunan ini mampu menopang beban dari pengalihfungsian yang notabnya memiliki beban yang berbeda dari sebelumnya, oleh karena itu diperlukanya pengkajian ulang daripada gedung tersebut untuk mengetahui apakah diperlukanya perubahan struktur atau tidaknya menggunakan *software* atau aplikasi ETABS V.18.1.1.

Diperlukanya kembali proses analisis struktur untuk mengkaji hasil eksisting menggunakan data – data pengujian dan juga untuk mengetahui kondisi elemen struktur mengeni kondisi apakah mengalami perubahan bentuk atau deformasi yang dapat mengurangi tingkat keamana struktur. Beberapa metode dilakukan dalam penelitian antara lain *Hammer Test* untuk mengetahui mutu atau kualitas selimut beton, *Rebar Test* untuk mengetahui tebal selimut dan jarak ataupun jenis tulangan, dan menggunakan *Waterpass* untuk mengukur kondisi ketegakan gedung tersebut.

Selain penggunaan alat uji pada proses analisis struktur dilakukan juga pengamatan visual Adapun juga pengumpulan data – data yang didapat data data sendiri di vagi menjadi dua yaitu data primer dan sekunder. Setelah pengumpulan data maka dilakukan analisa struktur, setelah melakukan beberapa tahapan pada analisa struktur maka tahapan berikutnya melakukan pengujian *pushover* pada struktur.

Setelah melakukan analisis terhadap struktur maka didapatkan kesimpulan bahwa Gedung *Johar Shopping Center* memiliki hasil analisa yang aman sehingga bangunan ini masih layak untuk digunakan namun masih diperlukan beberapa perkuatan struktur untuk meningkatkan kualitas kekuatan bangunan.

Kata Kunci : Gedung, Struktur, Kelayakan, Eksisting, Analisis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gedung Matahari Johar atau yang dulu bernama Johar *Shopping Center* (JSC) berlokasi di jalan K.H Agus Salim No.2, Kauman, Kec. Semarang Tengah, Kota Semarang, Jawa Tengah. Gedung ini dibangun sekitar tahun 1990 – an. Seiring berjalannya waktu gedung ini mengalami penurunan fungsi material dan beberapa kerusakan struktur. Adanya kerusakan struktur perlu kiranya untuk dilakukan kajian terhadap kelayakan Gedung Johar *Shopping Center* dan solusi perbaikannya karena gedung ini akan dialihfungsikan menjadi Pasar Johar. Hal inilah yang melatarbelakangi perlunya diadakan analisis tentang keadaan gedung Johar *Shopping Center*.

Menelisik dari latar belakang gedung tua ini yang nantinya akan dialihfungsikan maka perlu dilakukan pengujian dan analisis kembali. Pengujian gedung ini menggunakan metode pengamatan visual, *hammer test*, *waterpass* dan *rebar detector* serta melakukan analisis menggunakan program ETABS dan *Microsoft Excel*. Hasil yang diharapkan adalah dapat mengetahui kelayakan gedung dan solusi yang tepat apabila gedung sudah mengalami kerusakan.



Gambar 1.1. Peta Lokasi Pengujian



Gambar 1.2. Gedung Johar Shopping Center

1.2. Tinjauan Umum

Penilaian kelayakan struktur bangunan dilakukan berdasarkan penilaian Sertifikat Laik Fungsi (SLF) maupun tingkat kelayakan jangka panjangnya. Karena bangunan ini dibangun sekitar tiga puluh tahun yang lalu, maka harus dinilai apakah dapat mendukung beban konversi, yang akan memiliki beban yang berbeda dari sebelumnya untuk tahun-tahun berikutnya. Ada beberapa aspek apakah akan mengubah struktur atau tidak pada saat ini. Apabila terjadi perubahan struktur bangunan, dapat berupa pelapukan elemen struktur akibat perubahan cuaca yang ekstrim atau perubahan fungsi lantai.

1.3. Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir dengan judul “Asesmen dan Analisa Struktur Eksisting Gedung Johar Shopping Center” ini adalah :

- a. Melakukan pengujian kekuatan struktur untuk pengalihfungsian gedung.
- b. Melakukan analisa struktur dari hasil eksisting menggunakan data – data pengujian.
- c. Mengetahui tingkat kelayakan struktur gedung Johar Shopping Center, berdasarkan kondisi eksisting.
- d. Mengetahui hasil analisis struktur terhadap kemampuan layan struktur.

1.4. Batasan Masalah

Lingkup pembahasan masalah yang dibahas dalam Tugas Akhir :

1. Pengujian terletak di Gedung Johar *Shopping Center* Semarang
2. Analisa gedung menggunakan pedoman SNI 1726 2019 & SNI 2847 2019
3. Pengolahan data yang dilakukan menggunakan *software* ETABS dan *Microsoft Excel*.
4. Mengetahui kondisi struktur eksisting secara material, baik secara visual maupun pengujian yang sifatnya non-destruktif yaitu *Hammer Test*, *Rebar Test*.
5. Tidak menganalisis kekuatan struktur melainkan hanya berupa saran.

1.5 Sistematika Tugas Akhir

Tugas Akhir ini terdiri dari Lima Bab yaitu :

- Bab I** Berisi pendahuluan yang menguraikan tentang latar belakang, maksud dan tujuan, peta lokasi, keaslian kajian dan sistematika penulisan.
- Bab II** Berisi tentang tujuan pustaka berupa uraian tentang teori – teori yang berkaitan dengan pokok pembahasan serta ditinjau berdasarkan *literature*. hasil pengamatan dan pendapat para ahli untuk suatu kasus yang sama, serta penggunaan pedoman rumus atau perhitungan yang berlaku dalam analisis perhitungan permasalahan terkait.
- Bab III** Berisi perihal metode dan asumsi tentang bagaimana permasalahan terkait dengan materi analisis perhitungan di Tugas Akhir ini akan dianalisis. atau dicari pemecahannya serta pengumpulan data yang dipakai dalam analisis perhitungan tugas akhir ini.
- Bab IV** Berisi perihal analisis perhitungan dan pembahasan permasalahan yang diperuntukan agar mengetahui hasil analisis tersebut.
- Bab V** Berisi tentang hasil analisis data dalam bentuk kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Sebuah struktur bangunan memiliki standart kelayakan dengan dipatok dari Sertifikat Laik Fungsi (SLF). Untuk menentukan apakah bangunan yang ada masih dapat digunakan, strukturnya perlu diperiksa dan diuji.

Dalam menentukan tingkat keamanan suatu bangunan yang telah berdiri cukup lama, maka perlu ditentukan kelayakan struktur bangunan tersebut. Pada umumnya bangunan yang berumur lebih dari dua puluh tahun akan mengalami penurunan fungsi materialnya. Penurunan fungsi material ini sangat mempengaruhi kekuatan suatu bangunan terhadap beban yang dipikulnya.

Seiring bertambahnya usia bangunan, stabilitas dan kekuatannya menjadi semakin rentan, sehingga diperlukan studi teknis tentang faktor struktural. Dengan cara ini dapat diketahui apakah struktur bangunan mengalami kerusakan struktural atau mengalami penurunan fungsi karena penuaan, serta mencegah struktur bangunan dari keruntuhan.

Tujuan penilaian struktur (Antonius, 2020) pada umumnya adalah mengetahui beberapa hal dibawah ini :

1. Untuk mengetahui kemampuan struktur berfungsi dengan baik seperti yang diharapkan pada desain awalnya.
2. Untuk mengetahui beban maksimal yang dapat dipikul apabila kemampuan strukturnya berkurang.
3. Mengestimasi usia layan bangunan
4. Untuk mengetahui kelayakan bangunan secara struktural berdasarkan peraturan terbaru.
5. Untuk mengetahui keadaan/kondisi struktur termasuk jika ada indikasi kerusakan yang terjadi sehingga menjadi dasar desain perkuatan struktur.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Faktor Penyebab Kerusakan Bangunan

Kerusakan bangunan dapat bersifat struktural maupun non struktural. Kerusakan non struktural berupa retak halus pada plesteran dinding dan serpihan plester dinding yang berjatuhan, sementara kerusakan struktural memiliki beberapa tingkatan yaitu :

1. Kerusakan ringan struktur, dimana terjadi retak kecil dengan lebar celah antara 0,075 cm sampai 6 cm yang menyebar luas di berbagai tempat.
2. Kerusakan struktur tingkat sedang, dimana terdapat retak besar dengan lebar lebih dari 6 cm yang menyebar luas di berbagai tempat.
3. Kerusakan struktur tingkat berat. Kerusakan struktur dapat didefinisikan tingkat berat jika kerusakan sudah mencapai lebih dari 50 % dari total luasan bangunan.
4. Kerusakan total struktur, dimana bangunan mengalami kerusakan elemen struktur hingga lebih dari 65 % atau sebagian besar komponen utama struktur rusak.

Kerusakan – kerusakan yang sering terjadi pada bangunan (Winarsih, 2010) umumnya disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut :

1. Faktor Usia Bangunan

Faktor usia bangunan sangat mempengaruhi kondisi material struktur, umumnya semakin tua usia bangunan material struktur akan mengalami penurunan kualitas jika selama masa penggunaan tidak dilakukan pemeriksaan maupun perawatan.

2. Faktor Kondisi Tanah dan Air Tanah

Tanah umumnya tidak homogen antar lokasi sehingga dengan pertimbangan stabilitas tanah pemilihan sistem struktur bawah harus mempertimbangkan kondisi tanah. Jika perencanaan pondasi tidak disesuaikan kondisi tanah dimana bangunan itu akan berdiri maka berakibat bangunan mengalami penurunan berlebih atau dapat mengalami perbedaan penurunan yang tentu tidak diinginkan terjadi. Selain itu pengaruh muka air tanah juga akan menimbulkan perilaku struktur yang berbeda. Kadar muka air tanah tinggi memungkinkan tanah mengalami kembang dan susut yang tinggi sehingga menimbulkan tegangan yang tinggi pada komponen struktur bawah bangunan.

3. Faktor Kualitas Bahan

Struktur bangunan umumnya tersusun dari berbagai macam bahan material. Pemilihan kualitas bahan harus ditentukan berdasarkan tujuan penggunaan. Jika perencanaan mutu bahan tidak sesuai tujuan penggunaan maka bahan material tidak akan tahan lama atau mudah rusak.

4. Faktor kualitas perencanaan

Keawetan struktur bangunan dipengaruhi pemilihan jenis material yang digunakan. Berdasarkan hal tersebut pendekatan pemilihan beban yang akan bekerja dianalisis kekuatannya berdasarkan asumsi mekanika struktur yang sesuai dengan kondisi wilayah bangunan itu akan berdiri. Kesalahan dalam perencanaan akan mempengaruhi

umur bangunan dan dapat menimbulkan kerusakan baik pada saat pelaksanaan maupun masa penggunaan bangunan tersebut.

5. Faktor Kesalahan Pelaksanaan

Kurangnya koordinasi dan kesalahpahaman antara konsultan perencana, pengawas, dan kontraktor yang memungkinkan berakibat menurunnya mutu pekerjaan juga berpengaruh pada keawetan bangunan.

6. Faktor Gempa Bumi

Gempa merupakan fenomena alam yang mungkin terjadi setiap saat. Pembebanan gempa umumnya mengikuti aturan standar yang berlaku di Indonesia. Berkembangnya zaman juga mempengaruhi kondisi alam sehingga bangunan yang memakai standar lama harus dikaji menggunakan standar baru. Selain itu perhitungan analisa gempa juga berpengaruh pada kekuatan bangunan dalam menahan gaya gempa.

7. Faktor Perubahan Fungsi Bangunan

Pada tahap perencanaan umumnya bangunan sudah direncanakan untuk menahan beban pada fungsi ruang tertentu namun seiring berkembangnya zaman pemilik bangunan merubah fungsi bangunan tanpa melalui kajian struktur yang dapat menimbulkan kerusakan elemen struktur karena asumsi pembebanan antar fungsi ruang yang berbeda.

Adapun faktor-faktor yang menyebabkan kerusakan bangunan dan pelapukan bahan bangunan lebih awal (Lippsmeier, 1980), seperti :

1. Bencana alam seperti gempa bumi, badai, hujan lebat dan banjir.
2. Perbedaan temperatur dan kelembaban yang tinggi dapat mempercepat proses pelapukan kayu dan membuat retak pada beton.
3. Hewan pengganggu seperti rayap dan semut, berdasarkan penelitian secara umum dapat dianggap bahwa di daerah tropis sekitar 10% bangunan telah diserang oleh rayap.
4. Penggunaan bahan bangunan di bawah kualitas untuk lingkungan tertentu. Penggunaan bahan bangunan yang tidak tepat dalam pelaksanaan pembangunan dapat mempercepat kerusakan bangunan itu sendiri.
5. Zat kimia merusak beton akibat pengaruh pengasaman, penggaraman, dan sebagainya.

2.2.2. Beban-Beban yang Bekerja pada Bangunan

Pada dasarnya pembebanan pada bangunan gedung tergantung dari fungsi setiap ruangan yang akan digunakan, sehingga beban pada setiap ruangan berbeda-beda sesuai dengan kegunaan dan fungsinya, serta didasarkan pada standar pembebanan minimal yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional. Adapun jenis-jenis beban yang berkerja pada bangunan, yaitu :

1. Beban Mati

Beban mati adalah beban yang berasal dari berat bangunan itu sendiri, mencakup komponen struktural dan arsitektural dan juga semua peralatan yang terpasang pada bangunan tersebut. Umumnya beban mati ini bersifat tetap atau tidak berubah seiring berjalannya waktu.

2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang berpindah-pindah atau tidak tetap yang disebabkan oleh penghuni atau pengguna bangunan dan segala suatu obyek yang sifatnya tidak tetap selama masa layan bangunan.

3. Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang terjadi akibat pergerakan tanah yang disebabkan oleh getaran gempa bumi. Beban gempa pada SNI 1726 2019 ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun sebesar 20%.

4. Beban Angin

Beban angin adalah beban yang bekerja pada struktur yang diakibatkan oleh struktur yang berada di lintasan angin menyebabkan aliran angin berbelok atau bahkan terhenti. Angin tersebut menimbulkan tekanan dan hisapan pada struktur. Besarnya tekanan angin ditetapkan oleh instansi yang berwenang dengan tekanan angin minimum 0.38 kN/m^2 .

5. Beban Hujan

Beban hujan adalah beban akibat akumulasi massa air yang terjadi di atap bangunan selama hujan bercurah tinggi. Air yang terkumpul di atap bangunan akibat hujan dapat menimbulkan beban struktural yang besar.

2.3. Sistem Struktur Tahan Gempa

Kolom-kolom pada struktur gedung bertingkat biasanya dikenai gaya-gaya yang cukup besar untuk menahan beban gempa sehingga elemen struktur kaku berupa dinding geser dirancang untuk menahan pengaruh gabungan dari beban geser, momen, dan gaya aksial yang dapat akibat dari gempa bumi.

Ada kondisi khusus kerjasama antara sistem rangka pemikul momen dan dinding geser, dimana dua struktur dengan sifat yang berbeda digabungkan menjadi satu. Melalui kombinasi kedua struktur ini, struktur yang lebih kuat dan lebih ekonomis dapat dicapai. Kerjasama ini dapat dibagi menjadi beberapa sistem struktural, seperti :

1. Sistem Dinding Penumpu
2. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

2.3.1. Sistem Dinding Penumpu

Dalam istilah struktural, sistem dinding penumpu adalah salah satu yang tidak terdiri dari kerangka ruang penahan beban gravitasi lengkap. Sebagian besar berat beban gravitasi ditopang oleh dinding bantalan atau sistem bresing. Sistem Dinding Penumpu dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Dinding Struktural Beton Biasa (DSBB)
2. Dinding Struktural Beton Khusus (DSBK)

2.3.2. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sesuai dengan namanya, sistem rangka pemikul momen adalah sistem rangka yang elemen struktur dan sambungannya menahan gaya kerja sekaligus memiliki rangka ruang bantalan beban gravitasi yang lengkap. Sistem ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu (Karisoh *et.al.*, 2018) :

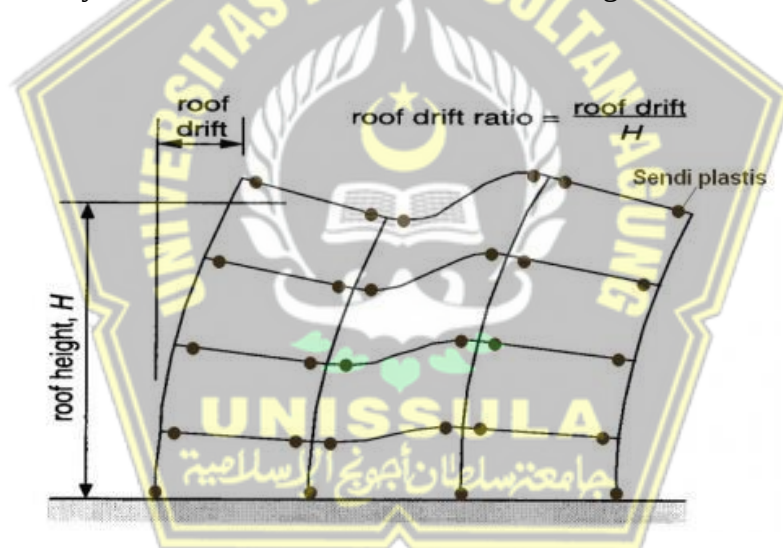
1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), sistem ini memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa yang rendah. Kelebihan dari sistem ini adalah arsitekturalnya yang sederhana dan biaya yang terjangkau, sedangkan kekurangan dari sistem ini adalah struktur sangat beresiko jika sewaktu-waktu terjadi perubahan alam dan mempengaruhi kondisi tanah yang ada.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), sistem ini memiliki tingkat daktilitas sedang dan cocok digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa yang sedang. Kelebihan dari sistem 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), sistem ini memiliki tingkat daktilitas tinggi dan cocok digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa yang tinggi. Prinsip dari sistem ini yaitu *strong coloumn weak beam*, tahan terhadap geser dan memiliki pendetailan yang khusus. Kelebihan dari sistem ini adalah dari arsitekturnya yang sederhana, sedangkan kekurangannya yaitu pendetailan yang kompleks sehingga dapat mempersulit pekerjaan.

2.3.3. Desain Kapasitas

Ini adalah konsep desain kapasitas untuk mengatasi daktilitas elemen struktur serta melindungi elemen struktur lainnya yang diharapkan berperilaku elastis, untuk memastikan struktur memiliki ketahanan terhadap gaya lateral (gempa bumi). Untuk mencegah jatuhnya korban akibat runtuhnya struktur, oleh karena itu metode ini digunakan.

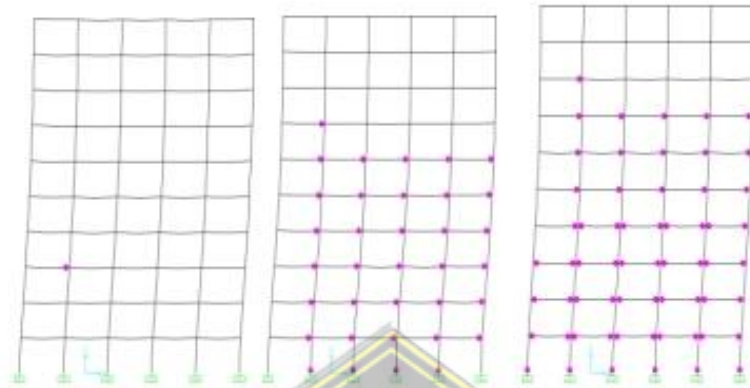


Gambar 2.1. Konstruksi Bangunan Dengan Desain Kapasitas.

Adapun hirarki keruntuhan yang perlu diperhatikan yaitu (Enggartiaso, 2021) :

1. Hirarki keruntuhan antar bahan-bahan didalam struktur beton bertulang. Baja merupakan bahan yang lebih daktil daripada bahan beton. Sehingga diharapkan baja tersebut mengalami keruntuhan terlebih dahulu sebelum kolom.
2. Hirarki keruntuhan antar mekanisme gaya pada elemen struktur. Keruntuhan elemen struktur akibat lentur harus terjadi terlebih dahulu sebelum keruntuhan akibat geser sehingga dihasilkan keruntuhan yang lebih daktil.

3. Hirarki keruntuhan antar elemen yang membentuk struktur. Kerusakan pada kolom umumnya akan lebih sulit diperbaiki sehingga kerusakan yang terjadi pada kolom harus dihindari sehingga struktur kolom didesain lebih kuat dari balok karena karena jika terjadi keruntuhan pada balok bangunan tetap bersifat duktail dan lebih terkontrol.



Gambar 2.2. Lokasi Sendi Plastis Struktur Gedung Pada Tahap Beban *Push-over*

2.4. Kelaikan Bangunan

Setiap bangunan wajib memiliki Sertifikat Laik Fungsi (SLF) terlebih bangunan gedung betingkat yang dimaksudkan untuk memastikan bahwa bangunan tersebut berpotensi untuk ditempati atau digunakan. Untuk menentukan kelayakan suatu bangunan, beberapa pertimbangan harus diperhatikan, antara lain :

1. Aspek Keselamatan Bangunan

Hal ini berkaitan dengan kemampuan suatu bangunan untuk bekerja sesuai dengan peruntukannya, termasuk kemampuannya untuk menahan beban yang ada, material yang digunakan untuk konstruksi harus diperhitungkan berdasarkan beban yang akan ditopang, dan kemampuannya untuk melindungi dan mengatasi. dengan bahaya seperti kebakaran, gempa bumi, dan angin kencang.

2. Aspek Kesehatan Bangunan

Ada juga aspek kesehatan untuk sebuah bangunan. Evaluasi aspek kesehatan ini dapat dilakukan dengan memeriksa sistem ventilasi, sistem pencahayaan, sistem sanitasi, dan sistem sirkulasi udara di dalam gedung. Pentingnya aspek ini tidak dapat dilebih-lebihkan karena berkaitan dengan kesehatan orang-orang yang menempati bangunan tersebut.

3. Aspek Kenyamanan Bangunan

Kenyamanan ruang gerak, hubungan antar ruang, kondisi ruang, tingkat getaran, dan tingkat kebisingan di dalam bangunan merupakan aspek dari aspek ini.

2.5. Prosedur Penilaian Struktur *Existing*

Tujuan dari penilaian struktur ini adalah untuk mengetahui tingkat keamanan struktur yang ditentukan oleh kondisi material, beban maksimum yang dapat dipikul, dan kondisi beban yang ada atau jika beban telah berubah.

Sesuai dengan persyaratan teknis yang harus dipenuhi, prosedur penilaian dapat dilakukan. Diantara beberapa tahapan pemeriksaan struktur tersebut, faktor yang paling penting adalah penilaian dan pemeriksaan terhadap komponen struktur yang ada.

2.5.1. Pengujian Struktur *Existing*

Tujuan dari pengujian struktur eksisting adalah untuk mengetahui secara lebih rinci kondisi material yang akan dievaluasi guna mengetahui sejauh mana permasalahannya. Hal-hal yang dilakukan dalam pengujian struktur antara lain yaitu :

1. Mengidentifikasi semua indikasi kerusakan yang terjadi pada bangunan.
2. Mengidentifikasi penyebab dari kerusakan yang terjadi.
3. Mengevaluasi kerusakan berdasarkan penyebabnya yang telah teridentifikasi.
4. Mencari solusi untuk menanggulangi kerusakan yang ada.

Metode pengujian dikategorikan ke dalam metode destruktif, metode non-destruktif, dan kombinasi keduanya, yang dapat digunakan dalam berbagai keadaan. Pada akhirnya, kedua metode yang digunakan dalam proses tersebut dijadikan sebagai bahan analisis struktur sistem.

2.5.2. Tahapan Dalam Pengujian Struktur *Existing*

Dalam pengujian struktur *existing* terdapat tiga tahapan yang pada umumnya sering dilakukan, meliputi :

1. Tahap Perencanaan

Langkah pertama dalam tahap ini adalah mengidentifikasi masalah, menentukan metode pengujian yang akan digunakan untuk mengatasi masalah yang telah diidentifikasi, memilih jumlah benda uji atau sampel yang akan digunakan, dan memilih lokasi pengujian pada komponen struktur yang diharapkan dapat mewakili setiap elemen struktur dan kondisi struktur. Secara umum dipahami bahwa tahap perencanaan terdiri dari tahap-tahap berikut yang biasanya dicapai selama tahap perencanaan :

- a. Pengamatan Visual

Perlu adanya observasi visual sebagai tahap awal untuk mendefinisikan permasalahan yang ada di lapangan. Dari hasil pengamatan visual ini dapat

diperoleh informasi tentang tingkat layan struktur, termasuk menentukan apakah terjadi deformasi berlebihan pada struktur, baik atau buruknya pekerjaan konstruksi yang dilakukan, apakah telah terjadi kerusakan pada struktur. material, seperti pelapukan beton, kehilangan beton, retak, dan defleksi struktur.

b. Pemilihan Jenis Pengujian

Dalam memilih jenis metode pengujian yang akan digunakan pada struktur eksisting, ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan, seperti tingkat kerusakan pada struktur eksisting, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pengujian, biaya yang diperlukan, tingkat keandalan hasil pengujian, jenis masalah yang dihadapi, dan peralatan yang tersedia serta mampu mendeteksi masalah yang muncul. Agar pemilihan jenis metode pengujian menghasilkan data yang valid, selain itu data yang dikumpulkan dalam hasil pengujian juga dapat digunakan untuk keperluan analisis kapasitas struktural, sehingga jika hasil pengujian tidak valid, kualitas analisis kapasitas struktural akan dipertanyakan.

2. Tahapan Pelaksanaan

Pada tahap pelaksanaan, tingkat kesulitan untuk mencapai lokasi pengujian yang ditentukan harus diperhitungkan selama tahap pelaksanaan. Penting untuk mempertimbangkan keselamatan selama pelaksanaan pengujian bangunan serta menggunakan peralatan keselamatan pribadi standar selama pelaksanaan pengujian bangunan untuk memastikan keselamatan peserta.

3. Tahapan Pengolahan Data

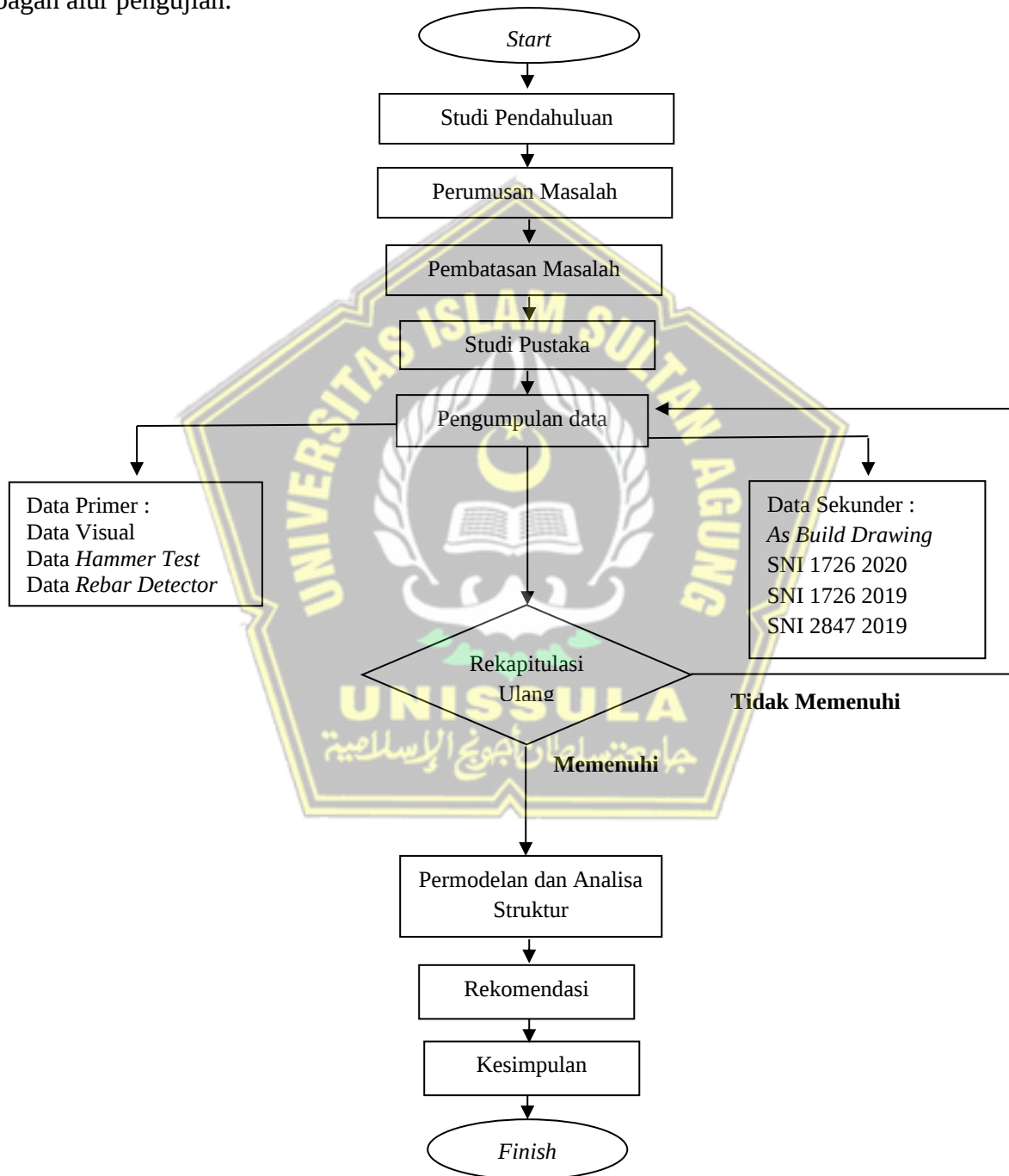
Setelah tahap perencanaan dan pelaksanaan selesai, maka tahap selanjutnya adalah melanjutkan ke tahap pengolahan data setelah tahap perencanaan dan pelaksanaan selesai. Untuk mengetahui hasil pengujian bangunan yang sesuai dengan kebutuhan awal pengujian, maka data yang diperoleh dari pelaksanaan pengujian bangunan tersebut harus diolah dan dianalisis untuk menentukan hasil pengujian bangunan tersebut. Pengolahan data ini dilakukan menggunakan *software* yaitu ETABS atau SAP dan *Microsoft Excel*. Dari pengolahan data tersebut nantinya akan didapatkan hasil yang diperlukan.

BAB III

METODOLOGI

3.1. Alur Pengujian

Untuk mempermudah dan memperjelas pelaksanaan alur pengujian, maka dibuatlah bagan alur pengujian.



Gambar 3.1. Bagan Alir Pengujian

Alur pengujian ini menggabungkan banyak jenis pengujian termasuk pengujian lapangan dan analisis struktural berdasarkan hasil uji lapangan. Selain itu, semua pengujian ini mengikuti parameter terbaru Indonesia. Dalam rangka penilaian kelayakan struktur gedung Johar *Shopping Center* dilakukan beberapa tahapan pengujian, antara lain:

1. Pengecekan kondisi bangunan eksisting dengan menggunakan kamera atau dengan pengamatan langsung. Deformasi pada balok dan pelat lantai, retak pada kolom, balok, dan pelat lantai, dan cacat struktural seperti beton berpori dan tulangan yang terlihat diamati. Pengamatan elemen struktur, baik yang rusak maupun dalam kondisi baik, melalui penggunaan foto.
2. Peninjauan terhadap gambar kerja atau *As Build Drawing* yang digunakan untuk memeriksa apakah ukuran bentang, tinggi dan panjang bentang sesuai dengan kondisi yang ada. Selain itu, *As Build Drawing* ini berfungsi sebagai referensi untuk proses analisis struktur sehingga data material yang ada dapat dimasukkan ke dalam persyaratan peraturan terbaru.
3. Standar SNI ASTM C 805 - 2012 digunakan untuk menguji homogenitas permukaan beton.
4. *Rebar Detector* yang mengikuti standar SNI 2847 - 2013, digunakan untuk menentukan ketebalan permukaan beton dan jumlah tulangan yang dipasang.

3.2. Pengumpulan Data

Ada berbagai tahapan dalam mengevaluasi struktur eksisting Gedung Johar *Shopping Center*. Untuk mengevaluasi struktur eksisting Gedung Johar *Shopping Center*, data dikumpulkan dengan pengamatan visual atau dengan mata telanjang, untuk mendukung proses pengujian. Analisis terhadap struktur eksisting Gedung Johar *Shopping Center* dilakukan dengan menggunakan alat uji.

3.2.1. Pengamatan Visual

Dilakukannya pengamatan visual dengan memeriksa keadaan komponen struktur bangunan secara kasat mata untuk melihat apakah terdapat retakan yang membahayakan struktur. Mengingat banyaknya celah yang dapat membahayakan gedung Johar Shopping Center saat ini, status struktural bangunan dapat dianggap buruk. Bangunan eksisting ini tentunya cukup berbahaya karena adanya cacat-cacat yang terdapat pada setiap konstruksi lantai, antara lain retak pada kolom dan pembengkokan balok. Pada titik ini, evaluasi keadaan fisik struktur atas dan bawah bangunan dilakukan.

1. Struktur Bawah

Semua komponen struktur bawah tanah bangunan atau struktur, yang menopang beban yang dipindahkan dari struktur di atas, disebut sebagai substruktur. Struktur bawah, termasuk pondasi, biasanya harus diperkirakan sesuai dengan beban tetap (beban hidup dan beban mati), serta dampak dari tekanan angin dan gempa. Selain itu, jika pondasi termasuk dalam kategori *Friction Pile*, maka harus direncanakan untuk memperhitungkan jumlah penurunan yang akan terjadi selama umur bangunan. Reduksi yang diprediksikan adalah yang tidak mengalami penurunan selisih yang ekstrim dan masih di bawah batas yang diperbolehkan. Karena penurunan dapat menyebabkan :

- Bangunan dapat mengalami kemiringan pada area tertentu.
- Dinding mengalami kerusakan dan keretakan yang memanjang.
- Terjadi keretakan yang memanjang pada pelat lantai dan dapat menjadikan pelat lantai bergelombang.

2. Struktur Atas

Bagian dari elemen bangunan yang berada di atas permukaan tanah dikenal sebagai struktur atas. Komponen kolom, balok, dan pelat lantai dari bangunan atas yang diperiksa dalam pengujian ini digabungkan untuk membentuk elemen rangka tunggal. Karena segera menopang berat yang diberikan pada bangunan, suprastruktur ini sangat penting, dan pengujian berkonsentrasi pada bagian-bagian penyusunnya.



Gambar 3.2. Pengamaan Visual Lantai 4



Gambar 3.3. Pengamatan Visual Plat Lantai

3.2.2. Pengumpulan Data Struktur

Sesuai dengan parameter perencanaan struktur saat ini, pengumpulan data atau dokumen teknis yang berkaitan dengan sistem struktur gedung, serta parameter dan kriteria data perencanaan yang telah digunakan dalam perencanaan sebelumnya, juga dikumpulkan dan dievaluasi, dengan mempertimbangkan pendirian bangunan yang telah ditetapkan sebagai bangunan lama dan harus diparameterisasi. yang terbaru untuk dapat menjaga kekuatan Gedung Johar *Shopping Center* saat ini. Data primer dan data sekunder merupakan dua bentuk

data yang berbeda. Data sekunder adalah data yang berasal dari metode itu sendiri langsung dari item yang diteliti, sedangkan data primer adalah data yang diperoleh melalui pengujian atau data asli dari subjek yang diteliti.

1. Data Primer

- a). Pengamatan secara visual
- b). Pengujian *Rebound Hammer*
- c). Pengujian *Rebar Detector*

2. Data Sekunder

- a). Gambar *As Build Drawing*
- b). SNI 1727 2020 tentang Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Lainnya
- c). SNI 1726 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya.
- d). Peta Gempa Indonesia.
- e). SNI 2847 2019 tentang Persyaratan Beton Struktural.

3.1.3. Pengujian

Tiga teknik pengujian terpisah digunakan untuk bangunan, termasuk uji *Schmidt Rebound Hammer*, uji *Rebar Detector*.

1. Pengujian *Schmidt Rebound Hammer*

Teknik untuk menentukan seberapa keras permukaan beton adalah uji *Rebound Hammer*. Pengujian ini merupakan salah satu komponen uji tak rusak atau non – destruktif yang dapat menghitung nilai mutu beton. Operasi dasar alat ini adalah

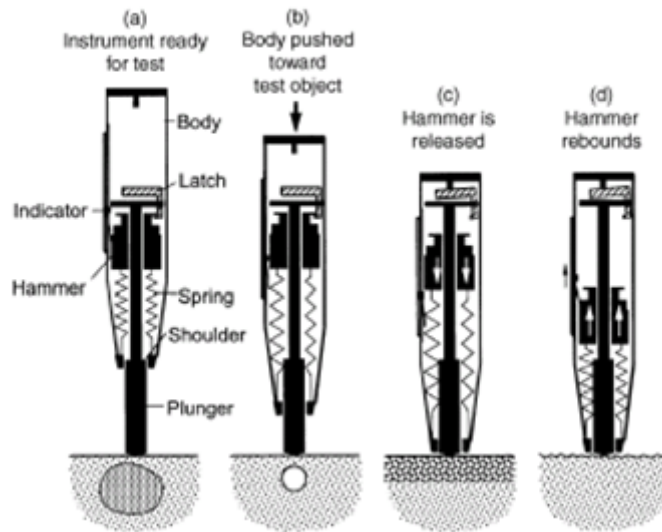
menerapkan beban impak ke permukaan beton. Keadaan kekerasan permukaan beton di lapangan sering dinilai menggunakan metode ini oleh para profesional di industri konstruksi. Alat ini telah dilengkapi dengan angka-angka tertentu yang kemudian dikonversikan menjadi nilai taksiran mutu beton guna memperkirakan nilai uji kekerasan permukaan beton.

Alat *Rebound Schmidt Hammer*, ditemukan oleh ahli dari Swiss yang bernama Ernst Schmidt, merupakan alat untuk menguji kekerasan (*surface hardness*) permukaan benda keras.



Gambar 3.4. Alat Uji *Schmidt Hammer*

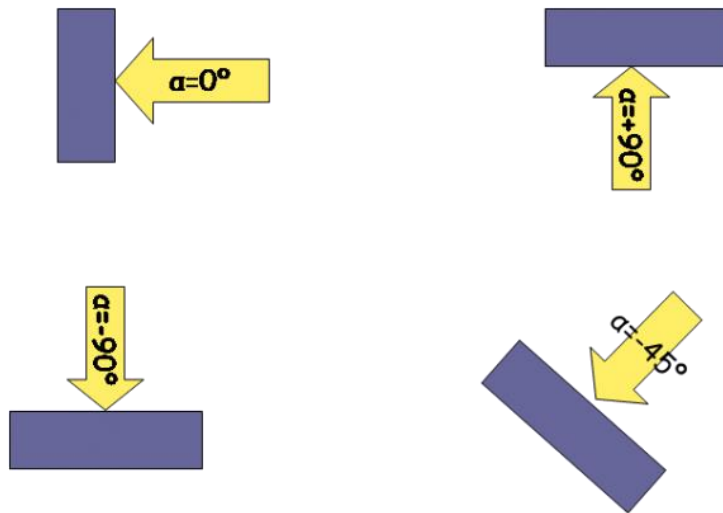
Pengujian kekerasan beton harus dilakukan dengan 10 (sepuluh) pukulan di setiap titik, dengan jarak minimum 25 mm antara setiap titik pembacaan, sesuai dengan SNI ASTM C 805 - 2012. Nilai pembacaan skala semua terlihat, dan pembacaan rata-rata nilai dihitung. Bacaan tersebut harus ditolak atau dihilangkan jika hasilnya menyimpang lebih dari 6 (enam) satuan dari rata-rata 10 (sepuluh) titik sampel. Sebuah rata-rata baru kemudian harus dihitung dengan menggunakan bacaan yang tersisa. Seluruh rangkaian pembacaan harus diabaikan dan angka pantul harus ditentukan pada 10 (sepuluh) lokasi pembacaan baru di daerah pengujian jika lebih dari dua pembacaan memiliki nilai rata-rata lebih dari 6 satuan.



Gambar 3.5. Proses Pemukulan Alat Uji *Schmidt Hammer*

SNI ASTM C 805 - 2012 merupakan standar acuan yang digunakan dalam pengujian *rebound hammer* pada penelitian ini. Secara umum, peralatan ini dapat digunakan untuk menentukan konsistensi kualitas permukaan beton pada struktur dan untuk memperkirakan kuat tekan permukaan beton. Nilai yang diperoleh dari rebound mungkin tidak selalu menjamin kondisi inti beton karena kekerasan beton hanya dapat diuji pada permukaan lapisan beton dengan menggunakan alat uji *Schmidt Hammer*.

Permukaan beton yang kering akan menghasilkan nilai pantul yang lebih tinggi dari pada permukaan beton basah atau basah, menurut SNI ASTM C 805 - 2012, karena karbonasi pada permukaan beton juga dapat mempercepat laju pantul. Untuk mengevaluasi kelayakan konstruksi, objek yang dipukul dengan beton harus sejajar.



Gambar 3.6. Arah Pukulan *Hammer Test*



Gambar 3.7. Pengujian Kekerasan dengan Alat *Schmidt Hammer*

Adapun kualitas permukaan dan selimut beton dari hasil pengujian *Schmidt Hammer* dapat diklasifikasikan sebagai nilai perkiraan kuantitas kuat tekan permukaan beton.

Tabel 3.1. Nilai Perkiraan Kuantitas Kuat Tekan Permukaan Beton Berdasarkan Hasil Pengujian *Schmidt Hammer*

Rata – Rata Angka Pantul	Kualitas Permukaan dan Selimut Beton
>40	Baik, lapisan keras
36 – 40	Cukup
31 – 35	Kurang Baik
20 – 30	Jelek
<20	Terdapat Retak

2. Pengujian *Rebar Detector*

Gedung Pusat Perbelanjaan Johar perlu menjalani Uji Rebar Detector untuk memastikan ukuran dan kekuatan elemen struktur balok, kolom, dan struktur pelat. Alat yang digunakan untuk menguji atau memeriksa untuk menentukan ketebalan selimut beton, jarak antara tulangan, dan perkiraan diameter tulangan dikenal sebagai "*Rebar Detector*" atau "pemindai tulangan beton." Metode *Pulse-Induction* adalah teknologi yang digunakan. Untuk mendeteksi keberadaan baja tulangan, pengukuran ini menggunakan induksi gelombang elektromagnetik. Gelombang pantul dari tulangan yang dipasang akan menunjukkan lokasi tulangan, termasuk jarak pemasangan dan kedekatannya dengan tepi elemen beton.

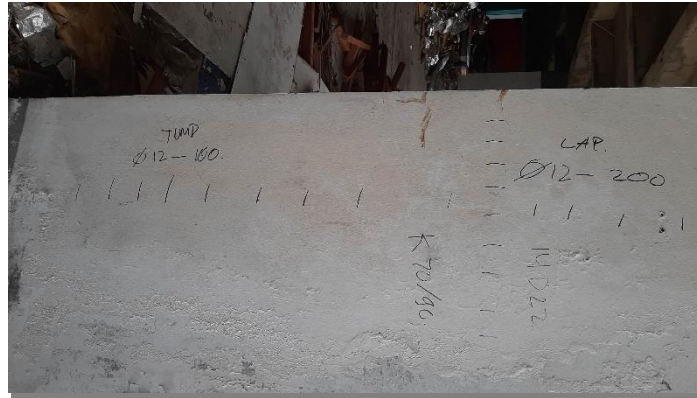


Gambar 3.8. Alat Uji *Rebar Detector*

Lokalisasi pembacaan baja tulangan dibantu oleh pemrosesan sinyal *Rebar Detector*, yang juga dapat menghitung diameter tulangan dan ketebalan penutup beton. Bahan non-konduktif seperti beton, kayu, plastik, batu bata, dan lainnya tidak berpengaruh pada prosedur ini. Namun, hasil pengukuran akan bervariasi tergantung pada jenis bahan konduktif yang ada di medan magnet. Metode pengujian ini efektif karena tidak merusak, artinya tidak akan mengubah benda uji secara signifikan. Di sisi lain, pengujian yang merusak tidak akan menghasilkan data yang seakurat itu. Ujian ini harus dilakukan sebagai langkah awal sebelum melanjutkan ke ujian tambahan.



Gambar 3.9. Pengecakan Jarak Tulangan dan Jumlah Tulangan Menggunakan Alat *Rebar Detector*



Gambar 3.10. Hasil Uji *Rebar Detector*

3. Pengujian *Waterpass*

Diperlukan pengujian kemiringan bangunan untuk mengetahui keadaan struktur Gedung Johar *Shopping Center* saat ini. Menggunakan alat yang dikenal sebagai *Waterpass*, kemiringan bangunan diuji. *Waterpass* adalah perangkat yang memeriksa keselarasan berbagai komponen bangunan. Karena penyelarasan ini, penimbangan sangat penting untuk setiap pekerjaan bangunan.



Gambar 3.11. Alat Uji *Waterpass*

Waterpass adalah alat yang digunakan untuk menampilkan apakah level tersebut sejajar atau tegak lurus dengan permukaan struktur. Ada tiga jenis level: manual,

digital, dan otomatis. Jika terlihat gelembung di antara dua garis, itu berarti bidangnya sejajar, dan alat harus digunakan dalam posisi paralel agar gelembung di *waterpass* tidak bergeser.

3.1.4. Analisa Struktur

Untuk memastikan apakah kapasitas penampang di bawah kondisi material dunia nyata masih dapat menopang beberapa gaya internal, maka dari itu analisis struktur digunakan. Struktur Gedung Johar *Shopping Center* dimodelkan untuk menentukan gaya-gaya dalam yang digunakan dalam studi potong lintang dari hasil analisis struktur yang akan diketahui dan didapatkan hasilnya dengan menggunakan program *Etabs*.



Gambar 3.12. Permodelan *Etabs* Gedung Johar *Shopping Center*

1. Persyaratan Material Struktur

Pasal 19.2 Tabel 19.2.1.1 SNI 2847 2019 menyebutkan bahwa syarat minimum kuat tekan beton untuk beton biasa adalah 17 MPa. Untuk Dinding Struktur Khusus 21 MPa dan Standar Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. Hanya tulangan spiral yang dapat digunakan dengan tulangan polos, sedangkan jenis tulangan lainnya dapat menggunakan tulangan baja ulir (SNI 2847 2019).

2. Kategori Risiko

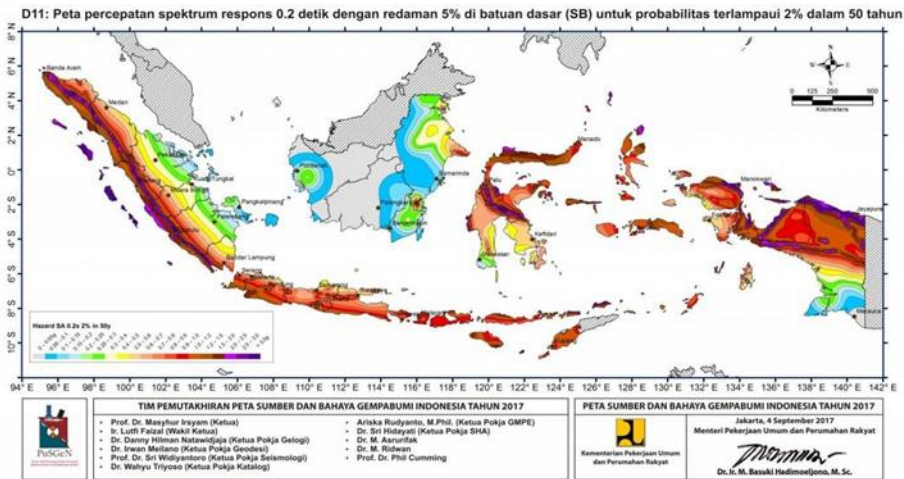
Pada Tabel 3 Pasal 4.1.1 SNI 1726 2019 bangunan didefinisikan sesuai jenis pemanfaatan bangunan untuk mengetahui resiko bangunan.

Tabel 3.2. Kategori Risiko SNI 1726 2019

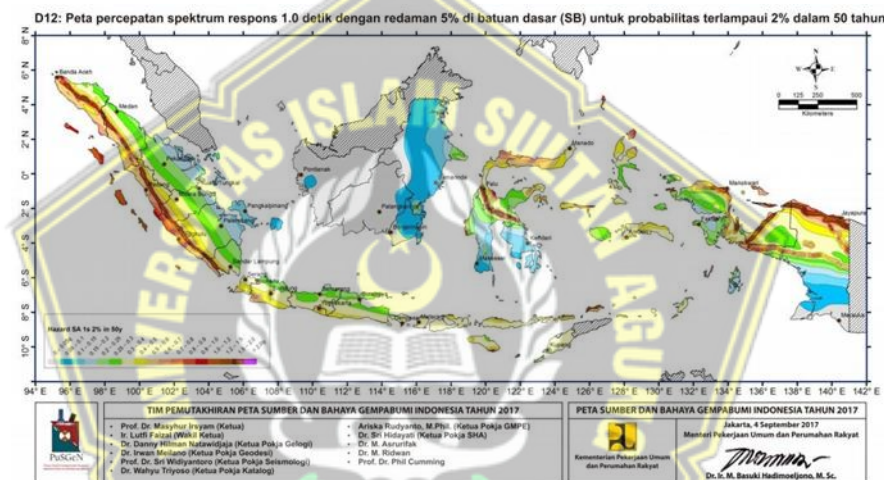
Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan.	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV.	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : Gedung dan non gedung, tidak termasuk dalam kategori IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar atau gangguan masal terhadap kehidupan masyarakat sehari – hari bila terjadi kegagalan.	III
Gedung dan gedung yang ditunjukkan sebagai failitas yang penting.	IV

3. Parameter Percepatan Gempa

Menurut Pasal 6.1–6.4 SNI 1726 2019, parameter percepatan gempa didefinisikan sebagai parameter gempa rencana dengan periode ulang 2500 dan data dari instansi yang berwenang dalam hal ini PUSKIM PU.



Gambar 3.13. Percepatan Periodik Pendek S_s



Gambar 3.14. Percepatan Periode 1 Detik S_1

Kategori desain seismik dapat ditentukan dalam Pasal 6.5 SNI 1726 2019 berdasarkan karakteristik percepatan gempa. Struktur dalam kategori risiko I, II, dan III dengan plot persepsi dan nilai S_1 lebih besar dari 0,75 harus diklasifikasikan sebagai struktur kategori E desain seismik, tetapi struktur dalam kategori risiko IV dengan plot percepatan dan nilai S_1 lebih besar dari 0,75 harus diklasifikasikan sebagai desain struktural struktur kategori F.

4. Faktor Penahan Gaya Gempa

Kategori desain seismik terkait dengan faktor R , C_d , dan Ω untuk sistem penahan gaya gempa sebagaimana ditentukan dalam Pasal 7.2.2 SNI 1726 2019.

Tabel 3.3. Faktor Penahan Gaya Lateral

Sistem penahan gaya gempa	Koefisien modifikasi Respon R	Faktor kuat lebih sistem Ω_o	Faktor pembesaran defleksi C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F ^e
1. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB

Proses analisis hanya dilakukan sesuai dengan parameter bangunan dan kategori desain seismik pada tabel 16 Pasal 7.7 SNI 1726 2019. Pasal 7.8.3 menyebutkan bahwa jika pemodelan 3D dilakukan, minimal 3 derajat kebebasan dua translasi arah dan satu untuk rotasi harus dipenuhi.

5. Penentuan Periode

Menurut Pasal 7.8.2 SNI 1726 2019 yang mengatur tentang percepatan periode 1 detik terhadap S_{D1} dan tinggi bangunan, periode desain tidak boleh kurang dari periode minimum dan tidak lebih besar dari periode maksimum struktur sebagaimana dimaksud. menurut jenis sistem struktur, periode percepatan 1 detik ke S_{D1} , dan tinggi bangunan.

Tabel 3.4. Koefisien Pembatas Periode Getar Struktur

Tipe Struktur	C_t	X
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka beton dengan bresing eksentris	0,0731	0,75

Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Tabel 3.5. Koefisien Pembatas Periode Getar Struktur

Parameter Percepatan Respon Spktra Desain Pada 1 detik, S_{D1}	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

6. Periode Gaya Lateral Ekuivalen

Gaya geser dasar gempa V harus dihitung menggunakan persamaan sesuai dengan Pasal 7.8 SNI 1726 2019.

$$V = C_s \times W$$

Penjelasan :

V = Gaya geser dsar seismik

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

7. Prosedur Analisa Dinamik Response Spektrum

a. Jumlah Ragam

Analisa harus mendapat partisipasi massa minimal 90% dari massa struktur untuk menyertakan jumlah ragam.

b. Skala Nilai Desain Apabila digunakan Analisa

Jika periode fundamental yang dihitung lebih besar dari T_u , maka T_u harus digunakan sebagai pengganti T pada arah tersebut. Respon gabungan geser dasar (V_t) harus dikalikan dengan 0,85 (V/V_t) karena kurang dari 85% dari geser dasar yang dihitung (V) dengan menggunakan pendekatan gaya lateral yang sebanding.

c. Parameter Response

Skala parameter respons gaya harus dikalikan dengan (I/R) di mana I adalah faktor prioritas bangunan dan R adalah koefisien modifikasi respons untuk setiap kali gerakan tanah dianalisis. Besarnya simpangan kemudian harus dikalikan dengan (C_d/I), dimana C_d adalah faktor pembesaran lendutan dan I adalah faktor prioritas bangunan.

d. Pengaruh Efek P – Delta

$$= \frac{P_x \Delta s I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$
 Sesuai dengan Pasal 7.8.7 SNI 1726 2019 kontrol kestabilan struktur terhadap efek P – Delta diperhitungkan.

Δ

Penjelasan :

P_x = Beban aksial tanpa faktor

Δs = Simpangan antar lantai

I_e = Faktor keutamaan bangunan

V = Gaya geser antar tingkat

h_{sx} = Tinggi tingkat

e. Ketidakteraturan Struktur

Menurut SNI 1726 2019 Pasal 7.3.2, struktur harus dikategorikan sebagai beraturan atau tidak beraturan, ketidakberaturan struktur sendiri dibagi menjadi ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal.

1. Ketidakteraturan Horizontal

Struktur yang mempunyai 1 atau lebih ketidakteraturan menurut pada Tabel 13 SNI 1726 2019 :

Tabel 3.6. Kategori ketidakberaturan Horizontal

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, 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 diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 Tabel 16 0	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. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 0 0 Tabel 16 0	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	0 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 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.	0 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.	0 0 0 Tabel 16 0	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 nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	0 0 Tabel 16 0	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

2. Ketidakteraturan Vertikal

Struktur yang mempunyai 1 atau lebih ketidakteraturan menurut pada Tabel 14 SNI 1726 2019 :

Tabel 3.7. Kategori ketidakberaturan Vertikal

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
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.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakteraturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang 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 seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat di dekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakteraturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul 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.	0 0 Tabel 16	B, C, D, E, 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 seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 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 seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 0 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Untuk menentukan apakah suatu struktur layak untuk masa depan, penilaian struktur yang ada dilakukan berdasarkan kebutuhan jangka panjang untuk menentukan kepraktisannya. Bangunan ini dibangun sekitar 30 tahun yang lalu, yang merupakan bangunan yang dianggap sudah tua. Karena bangunan ini dibangun hampir 30 tahun yang lalu, penilaian terhadap struktur yang ada dianggap perlu. Penilaian eksisting struktur ini akan dilakukan untuk menentukan apakah bangunan tersebut sesuai dengan rencana semula atau tidak, dan untuk menentukan kekuatan bangunan untuk tahun-tahun mendatang. Penting untuk diingat bahwa ada beberapa aspek perubahan struktural yang memerlukan pertimbangan saat ini atau tidak. Dapat terjadi perubahan struktur berupa pelapukan elemen struktur yang disebabkan oleh perubahan cuaca ekstrim yang terjadi karena perubahan tingkat energi atau faktor lainnya. Berdasarkan hasil pemeriksaan kondisi lapangan di gedung *Johar Shopping Center*, diperoleh data sebagai berikut:

1. Bangunan bertingkat 6 lantai dengan 1 lantai *basement*.
2. Elemen struktur menggunakan konstruksi beton bertulang.
3. Fungsi bangunan sebagai pusat perbelanjaan.

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 guna mengidentifikasi kerusakan pada struktur utama bangunan yang meliputi kolom, balok, dan pelat lantai. Temuan – temuan pada sruktur beserta ulasanya diperlihatkan pada Tabel 4.1. Hasil Pengamatan Visual Gedung *Johar Shopping Center*.



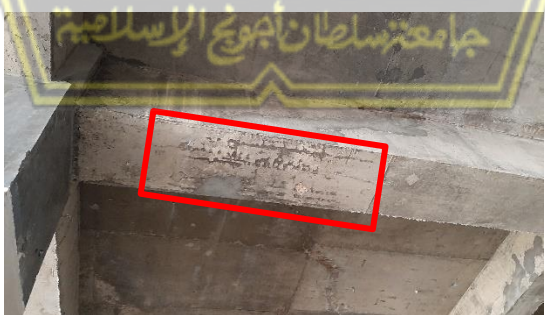
Gambar 4.1. Tampak Bangunan

Sumber : Dokumentasi Pengujian Lapangan

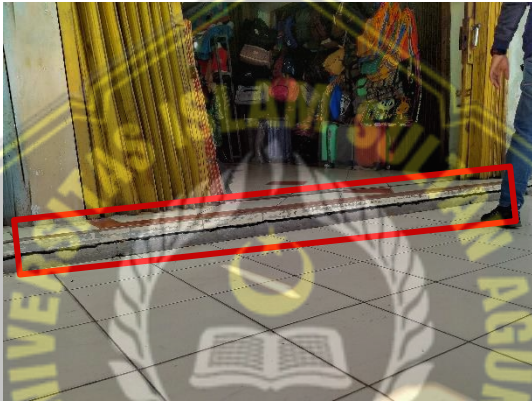
Tabel 4.1. Hasil Pengamatan Visual Gedung Johar Shopping Center

No.	Titik Tinjau	Tinjauan Visual	Kondisi Struktur
1	Kolom		☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total
			☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total

			☐ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☒ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total
			☐ Tidak Rusak ☒ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total
			☐ Tidak Rusak ☒ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total

			☐ Tidak Rusak ☒ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total
2	Balok	  	☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total ☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total ☐ Tidak Rusak ☒ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total

			☐ Tidak Rusak ☒ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total
3	Pelat Lantai		☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total
			☐ Tidak Rusak ☒ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total
			☐ Tidak Rusak ☒ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total

			☐ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☒ Rusak Berat ☐ Rusak Total
			☐ Tidak Rusak ☒ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total
			☐ Tidak Rusak ☒ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total

4	Dinding		☐ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☒ Rusak Berat ☐ Rusak Total
---	---------	--	---

Sumber : Hasil Pengujian Lapangan

Berdasarkan Tabel 4.1 pada saat tinjauan kolom, terdapat kolom pada tinjauan ketiga dan keenam yang dicirikan rusak berat karena memiliki keadaan keropos yang cukup dalam di bagian tengah kolom. Jika dibandingkan dengan penilaian pertama dan kedua, keduanya dapat mendemonstrasikan kolom yang ada dengan kokoh tanpa membahayakan. Karena komponen struktur yang mengalami kerusakan ringan atau berat berjumlah kurang dari setengah dari keseluruhan struktur pada saat peninjauan kolom, atau dengan kata lain, sebagian besar komponen struktur tidak mengalami kerusakan dibandingkan dengan komponen struktur yang mengalami kerusakan. mengalami kerusakan berat maupun ringan, struktur tersebut masih dapat dikatakan aman.

Berdasarkan pada Tabel 4.1 Pada titik tinjauan kolom terdapat kolom yang mengalami kerusakan struktur tingkat ringan maupun ringan karena mengalami kondisi keretakan yang cukup lebar. Sedangkan pada tinjauan pertama dan kedua kolom masih dapat menunjukan eksisisting yang kokoh tanpa kerusakan. Secara keseluruhan struktur pada titik tinjauan kolom masih dapat dikatan aman karena struktur yang mengalami kerusakan ringan maupun berat tidak melebihi 50% dari keseluruhan bangunan dengan kata lain kondisi struktur lebih banyak yang tidak mengalami kerusakan daripada yang mengalami kerusakan berat ataupun ringan.

Pada titik tinjauan balok tidak menunjukan bahwa balok mengalami kerusakan berat pada titik tinjauan pertama sampai terakhir pada balok hanya menunjukan kerusakan ringan dan tanpa kerusakan. Adapun kerusakan ringan yang terjadi pada balok yaitu pengeroposan yang terjadi pada selimut balok. Pengeroposan pada balok hanya terjadi pada beberapa balok atau tidak terjadi pada keseluruhan balok sehingga struktur eksisting balok bisa dikatan aman atau layak untuk digunakan.

Struktur eksisting pelat lantai pada titik tinjauan ketiga tidak menunjukkan kerusakan struktur berat kecuali pada titik tinjauan pelat lantai ke – 4 yang terdapat lubang pada pelat lantai disebabkan karena pengujian *core drill* yang dilakukan sebelumnya sehingga tidak akan mempengaruhi kondisi serta kekuatan struktur eksisting.

Pengamatan visual pada dinding mengalami keretakan yang cukup dalam yang terletak pada lantai pertama namun untuk kondisi dinding secara keseluruhan tidak menunjukkan rusak pada eksisting struktur kecuali pengamatan visual dinding yang terdapat pada Tabel 4.1 sehingga bisa dikatakan aman karena secara keseluruhan struktur eksisting pada dinding tidak mengalami masalah kecuali yang berada pada tabel dengan kata lain struktur yang mengalami kerusakan kurang dari 50%.

4.2.2. Data Geometrik Bangunan

Berdasarkan informasi yang kami dapatkan, data – data geometrik pada elemen struktur di Gedung Johar *Shopping Center* tidak lengkap terutama data pada struktur bawah bangunan, untuk itu dilakukan pengecekan ulang atau pengukuran terhadap kondisi eksisting dan diuraikan pada Tabel 4.2 tentang Data Geometrik Bangunan

Tabel 4.2. Data Geometrik Bangunan

No	Uraian	Besaran Eksisting
1	Dimensi Pondasi	Tidak dapat diamati, sehingga diasumsikan menggunakan pondasi dalam berdasarkan jenis struktur yang digunakan.
2	Kolom Struktur a. Tinggi Kolom – Lantai <i>Basement</i> – Lantai 1 – Lantai 2 – Lantai 3 – Lantai 4 – Lantai 5 – Lantai 6	3.000 mm 4.200 mm 4.200 mm 4.200 mm 4.200 mm 4.200 mm 4.200 mm

	b. Dimensi Kolom - Lantai <i>Basemet</i> – 1 - Lantai 2 – 3 - Lantai 4 – 6 - Kolom RAM	800 x 800 mm 700 x 700 mm 600 x 600 mm 450 x 500 mm
3	Dimensi Balok Strktur a. Balok Induk b. Balok Anak c. Balok Konsol	700 x 400 mm 600 x 300 mm 700 x 400 mm
4	Dimensi Pelat Lantai Pelat lantai menggunakan tebal yang tipikal atau sejenis mulai dari <i>basement</i> hingga lantai 6	Tebal 120 mm

Sumber : Hasil Pengujian Lapangan

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, namun dikarenakan terbatasnya alat dan sarana maka kami tidak dapat mengambil sampel uji tanah maka kami menggunakan data pengujian PT. Unitri Cipta dimana hasil tersebut ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. 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

Berdasarkan daya dukung SPT diatas maka dipastikan pondasi menggunakan daya dukung friksi (*friction pile*) karena hingga kedalaman 40 m belum ditemukan tanah keras.

4.2.4. Data Hasil Hammer Test

Pengujian *Hammer* pada permukaan beton ini bertujuan guna mendapat perkiraan nilai kuat beton karakteristik pada struktur eksisting. Titik pengujian *Hammer* dilakukan pada elemen kolom, balok, dan pelat lantai. Dokumentasi pengujian diperlihatkan pada Gambar 4.2.

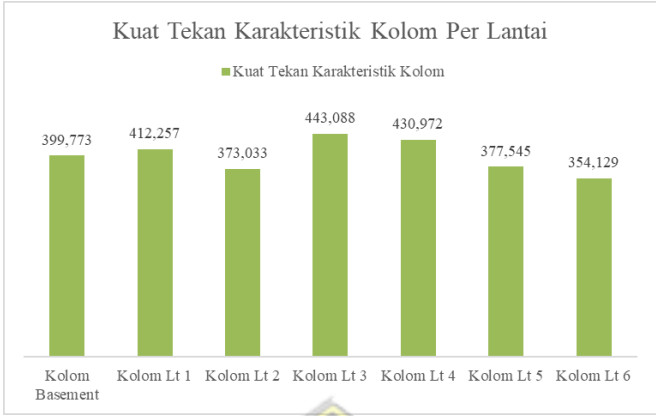
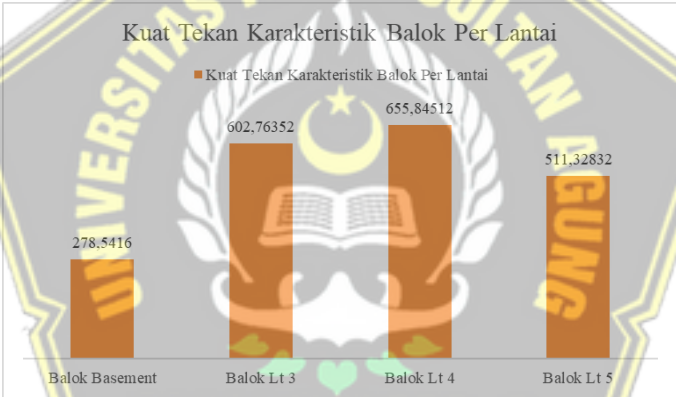
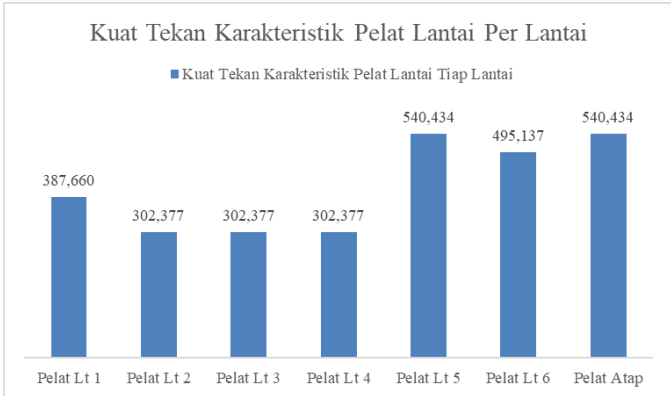


Gambar 4.2. Pengujian *Rebound Hammer*

Sumber : Dokumentasi Pengujian Lapangan

Hasil pengujian *Hammer* selanjutnya diinput dan diolah menggunakan *Microsoft Excel*, dapat dilihat pada tabel 4.4 dan data hasil lengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.4. Hasil *Hammer Test* Tiap Lantai

Kuat Tekan Karakteristik Kolom Tiap Lantai																	
 Kuat Tekan Karakteristik Kolom Per Lantai ■ Kuat Tekan Karakteristik Kolom <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lantai</th> <th>Kuat Tekan Karakteristik Kolom</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Kolom Basement</td> <td>399,773</td> </tr> <tr> <td>Kolom Lt 1</td> <td>412,257</td> </tr> <tr> <td>Kolom Lt 2</td> <td>373,033</td> </tr> <tr> <td>Kolom Lt 3</td> <td>443,088</td> </tr> <tr> <td>Kolom Lt 4</td> <td>430,972</td> </tr> <tr> <td>Kolom Lt 5</td> <td>377,545</td> </tr> <tr> <td>Kolom Lt 6</td> <td>354,129</td> </tr> </tbody> </table>		Lantai	Kuat Tekan Karakteristik Kolom	Kolom Basement	399,773	Kolom Lt 1	412,257	Kolom Lt 2	373,033	Kolom Lt 3	443,088	Kolom Lt 4	430,972	Kolom Lt 5	377,545	Kolom Lt 6	354,129
Lantai	Kuat Tekan Karakteristik Kolom																
Kolom Basement	399,773																
Kolom Lt 1	412,257																
Kolom Lt 2	373,033																
Kolom Lt 3	443,088																
Kolom Lt 4	430,972																
Kolom Lt 5	377,545																
Kolom Lt 6	354,129																
Kuat Tekan Karakteristik Balok Tiap Lantai																	
 Kuat Tekan Karakteristik Balok Per Lantai ■ Kuat Tekan Karakteristik Balok Per Lantai <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lantai</th> <th>Kuat Tekan Karakteristik Balok Per Lantai</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Balok Basement</td> <td>278,5416</td> </tr> <tr> <td>Balok Lt 3</td> <td>602,76352</td> </tr> <tr> <td>Balok Lt 4</td> <td>655,84512</td> </tr> <tr> <td>Balok Lt 5</td> <td>511,32832</td> </tr> </tbody> </table>		Lantai	Kuat Tekan Karakteristik Balok Per Lantai	Balok Basement	278,5416	Balok Lt 3	602,76352	Balok Lt 4	655,84512	Balok Lt 5	511,32832						
Lantai	Kuat Tekan Karakteristik Balok Per Lantai																
Balok Basement	278,5416																
Balok Lt 3	602,76352																
Balok Lt 4	655,84512																
Balok Lt 5	511,32832																
Kuat Tekan Karakteristik Pelat Lantai Tiap Lantai																	
 Kuat Tekan Karakteristik Pelat Lantai Per Lantai ■ Kuat Tekan Karakteristik Pelat Lantai Tiap Lantai <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lantai</th> <th>Kuat Tekan Karakteristik Pelat Lantai Tiap Lantai</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pelat Lt 1</td> <td>387,660</td> </tr> <tr> <td>Pelat Lt 2</td> <td>302,377</td> </tr> <tr> <td>Pelat Lt 3</td> <td>302,377</td> </tr> <tr> <td>Pelat Lt 4</td> <td>302,377</td> </tr> <tr> <td>Pelat Lt 5</td> <td>540,434</td> </tr> <tr> <td>Pelat Lt 6</td> <td>495,137</td> </tr> <tr> <td>Pelat Atap</td> <td>540,434</td> </tr> </tbody> </table>		Lantai	Kuat Tekan Karakteristik Pelat Lantai Tiap Lantai	Pelat Lt 1	387,660	Pelat Lt 2	302,377	Pelat Lt 3	302,377	Pelat Lt 4	302,377	Pelat Lt 5	540,434	Pelat Lt 6	495,137	Pelat Atap	540,434
Lantai	Kuat Tekan Karakteristik Pelat Lantai Tiap Lantai																
Pelat Lt 1	387,660																
Pelat Lt 2	302,377																
Pelat Lt 3	302,377																
Pelat Lt 4	302,377																
Pelat Lt 5	540,434																
Pelat Lt 6	495,137																
Pelat Atap	540,434																

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan hasil pengujian *hammer* diatas terlihat bahwa kuat tekan karakteristik beton bervariasi, pada kolom memiliki nilai 34,728 MPa hingga 43,452 MPa dengan nilai rata - rata 39,098 MPa, pada balok memiliki nilai 27,316 MPa hingga 64,316 MPa dengan nilai rata - rata 50,222 MPa, serta pada pelat lantai memiliki nilai 29,653 MPa hingga 52,998 MPa dengan nilai rata - rata 40,218 MPa. Secara keseluruhan rata – rata yang didapat dari kuat tekan karakteristik bernilai 43,179 MPa. Mengingat gedung ini dibangun sekitar tahun 1990-an, maka acuan perencanaan dan kemampuan membuat campuran beton struktural secara umum adalah sekitar 22,065 MPa, dengan demikian hasil uji *hammer* tersebut secara umum dapat disimpulkan bahwa material beton memenuhi syarat sebagai bahan struktural.

4.2.5. Pengujian *Rebar Detector*

Pengujian *Rebar Detector* dilakukan karena terbatasnya data *As Build Drawing*, untuk mendapatkan hasil pengujian yang sempurna maka diperlukan pengujian *Rebar Detector*. Pengujian dilakukan pada kolom struktur pada setiap lantai.



Gambar 4.3. Uji *Rebar Detector*

Sumber : Dokumentasi Pengujian Lapangan

Berdasarkan umur bangunan yang dibangun pada tahun 1990 – an, pada waktu itu struktur bangunan menggunakan baja tulangan jenis baja polos yang diameter dan jenis tulangnya tercantum pada tabel 4.5 yang diperoleh dari hasil pengujian *Rebar Detector*.

Tabel 4.5. Uji *Rebar Detector*

Lantai	Diameter Kolom	Jenis Tulangan
Lantai <i>Basement</i>	80 x 80	15 D22, ϕ 12 – 100 mm, ϕ 12 – 200 mm

Lantai 1	80 x 80	15 D22, $\phi 12 - 100$ mm, $\phi 12 - 200$ mm
Lantai 2	70 x 70	14 D22, $\phi 12 - 100$ mm, $\phi 12 - 200$ mm
Lantai 3	70x 70	14 D22, $\phi 12 - 100$ mm, $\phi 12 - 200$ mm
Lantai 4	60 x 60	13 D22, $\phi 12 - 100$ mm, $\phi 12 - 200$ mm
Lantai 5	60 x 60	13 D22, $\phi 12 - 100$ mm, $\phi 12 - 200$ mm
Lantai 6	60 x 60	13 D22, $\phi 12 - 100$ mm, $\phi 12 - 200$ mm

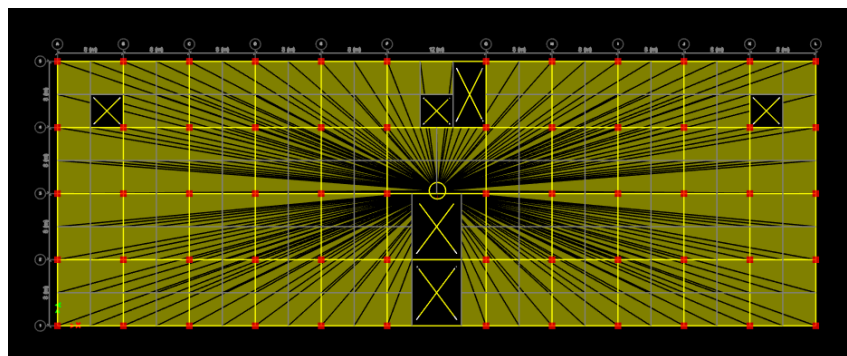
Sumber : Hasil Pengujian *Rebar Detector*

Berdasarkan tabel yang diperoleh dari hasil pengujian menggunakan *Rebar Detector* jenis tulangan yang digunakan sudah sesuai pada standart kala itu yaitu menggunakan SNI 07 – 0408 – 1998.

4.3. Permodelan Struktur Berdasarkan Kondisi Eksisting

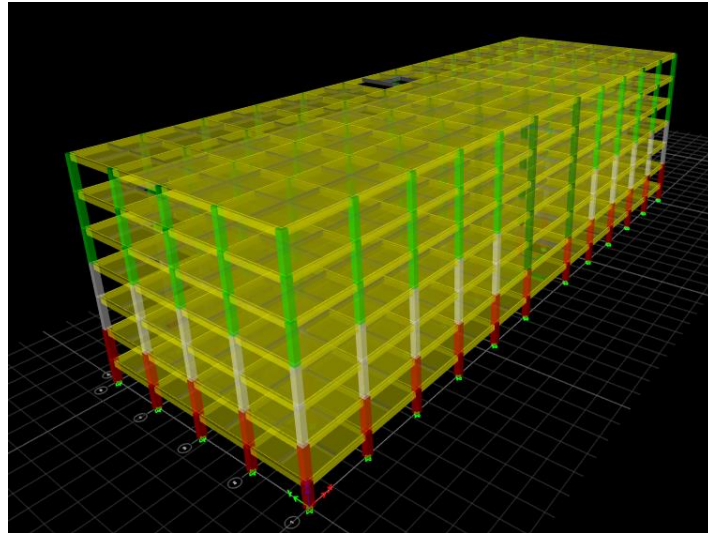
Struktur bangunan menggunakan sistem rangka pemikul momen yang dimodelkan untuk analisis tiga dimensi dengan menggunakan *software* ETABS. Model yang dianalisis berupa struktur atas. Berikut ini diperlihatkan beberapa gambar model struktur antara lain denah struktur pada Gambar 4.4 dan model tiga dimensi struktur pada Gambar 4.5. Model struktur terhadap beban vertikal menggunakan system pelat, balok dan kolom sebagai penahan beban lateral, dalam hal ini berupa beban gempa bumi. Sesuai sistem struktur yang digunakan maka diperoleh parameter R, Cd dan Ω_0 berdasarkan SNI 1726 2019 yaitu :

1. Faktor reduksi gempa, $R = 8$ (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)
2. Faktor pembesaran defleksi, $C_d = 5,5$
3. Faktor kuat lebih, $\Omega_0 = 3$



Gambar 4.4. Denah Struktur Lantai 1 sampai Lantai 6

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.5. Model Tiga Dimensi Struktur

Sumber : Hasil Analisis

4.4. Analisa Struktur

4.4.1. Pembebanan Gravitasi

Beberapa beban gravitasi yang diaplikasikan kedalam struktur bangunan didasarkan pada aspek fungsional dari setiap ruangan yang ada. Pengaplikasian struktur bangunan sesuai dengan denah arsitektural yang diperoleh dari *As Build Drawing*. Peraturan, standar atau data – data yang digunakan sebagai acuan besaran beban yang diaplikasikan yaitu :

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

Berdasarkan pada peraturan dan standar yang telah disebutkan , jenis dan besar beban gravitasi yang diaplikasikan pada struktur bangunan antara lain :

Tabel 4.6. Kategori Beban

LANTAI 1			
Berat Sendiri Struktur			
Elemen Balok	Luas Penampang	Panjang	Volume per Jenis Balok
	Balok Induk (0,4 m x 0,7 m = 0,28 m ²)	8 m x 98 = 784 m	236,32
		12 m x 5 = 60 m	
	Balok Anak (0,3 m x 0,5 m = 0,15 m ²)	8 m x 86 = 688 m	103,2
	Balok Basement (0,6 m x 0,6 m = 0,36 m ²)	8 m x 6 = 48 m	30,24
		12 m x 3 = 36 m	

	Volume Total Balok (m³) =		369,76
	Berat Total Balok (γ = 24 kN/m³) =		8874,24 kN/m³
Elemen Kolom	Luas Penampang	Panjang Elemen	Volume (Panjang x Luas)
	Kolom 80x80 (0,8 m x 0,8 m = 0,64 m²)	60 x 6,3 m = 378 m	241,92
	Volume Total Kolom (m³)=		241,92
	Berat Totak Kolom (γ = 24 kN/m³) =		5806,08 kN/m³
Elemen Pelat	Luas Total Penampang		Tebal Pelat
	Panjang x Lebar = 92 m x 32 m = 2944 m²		12 cm = 0,12 m
	Volume Total Pelat =		353,28 m³
	Berat Total Pelat (γ = 24 kN/m³) =		8478,72 kN/m³
Beban Mati Tambahan Pada Struktur			
Plesteran Keramik	Luas Penampang		Tebal Plesteran
	Luas Lantai yang Harus Diplester = Luas Pelat = 2944 m²		1,5 cm = 0,015 m
	Volume Total Plesteran Keramik =		44,16 m³
	Berat Total Plesteran Keramik (γ = 2000 kg/m³ = 20 kN/m³)=		883,2 kN
Plafond	Luas Penampang		
	Luas Plafond = Luas Pelat = 2944 m²		
	Berat Total Plesteran Keramik (W _{plaf} = 10 kg/m² = 0,1 kN/m²)=		294,4 kN
M & E	Beban Mechanical & Electrical pada Area Pelat Seluas = 2944 m2 Maka Berat M & E (W _{M&E} = 20 kg/m² = 0,2 kN/m²) = 588,8 kN		
Berat Sendiri Struktur + Beban Mati Tambahan = 24925,44 kN			
Beban Hidup yang Bekerja Pada Struktur			
Beban Hidup	Beban Hidup Area Pelat Seluas = 2846 m² & 48 m²		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup (W _{live} = 4,79 kN/m²) = 2846 x 4,79 = 13632,34 kN (untuk beban hidup koridor)		

	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{live} = 2,5 \text{ kN/m}^2$) = $48 \times 2,5 = 120 \text{ kN}$ (untuk beban hidup gudang)		
	Beban Hidup Tereduksi pada Struktur (30% Beban Hidup) = 4125,702 kN		
Berat Total Lantai 1 =		29051,142 kN	
LANTAI 2			
Berat Sendiri Struktur			
Elemen Balok	Luas Penampang	Panjang	Volume per Jenis Balok
	Balok Induk (0,4 m x 0,7 m = 0,28 m ²)	8 m x 98 = 784 m	236,32
		12 m x 5 = 60 m	
	Balok Anak (0,3 m x 0,5 m = 0,15 m ²)	8 m x 88 = 704 m	109,2
		12 m x 1 = 12 m	
		3 m x 4 = 12 m	
	Volume Total Balok (m ³) =		345,52
Berat Total Balok ($\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) =		8292,48 kN/m³	
Elemen Kolom	Luas Penampang	Panjang Elemen	Volume (Panjang x Luas)
	Kolom 80x80 (0,8 m x 0,8 m = 0,64 m ²)	60 x 2,1 m = 126 m	80,64
	Kolom 70x70 (0,7 m x 0,7 m = 0,49 m ²)	60 x 2,1 m = 126 m	61,74
	Volume Total Kolom (m ³) =		142,38
	Berat Total Kolom ($\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) =		3417,12 kN/m³
Elemen Pelat	Luas Total Penampang		Tebal Pelat
	Panjang x Lebar = 92 m x 32 m = 2944 m ²		12 cm = 0,12 m
	Volume Total Pelat =		353,28 m ³
	Berat Total Pelat ($\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) =		8478,72 kN/m³
Beban Mati Tambahan Pada Struktur			
Plesteran Keramik	Luas Penampang		Tebal Plesteran
	Luas Lantai yang Harus Diplester = Luas Pelat = 2944 m ²		1,5 cm = 0,015 m
	Volume Total Plesteran Keramik =		44,16 m ³
	Berat Total Plesteran Keramik ($\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3$)=		883,2 kN
Plafond	Luas Penampang		
	Luas Plafond = Luas Pelat = 2944 m ²		

	Berat Total Plesteran Keramik ($W_{\text{plaf}} = 10 \text{ kg/m}^2 = 0,1 \text{ kN/m}^2$)=	294,4 kN	
M & E	Beban Mechanical & Electrical pada Area Pelat Seluas = 2944 m ² Maka Berat M & E ($W_{\text{M\&E}} = 20 \text{ kg/m}^2 = 0,2 \text{ kN/m}^2$) = 588,8 kN		
Berat Sendiri Struktur + Beban Mati Tambahan = 21950,72 kN			
Beban Hidup yang Bekerja Pada Struktur			
Beban Hidup	Beban Hidup Area Pelat Seluas = 1792 m ² , 96 m ² , 48 m ² , 832 m ²		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 4,79 \text{ kN/m}^2$) = 832 x 4,79 = 3985,28 kN (untuk beban hidup koridor)		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 2,5 \text{ kN/m}^2$) = 48 x 2,5 = 120 kN (untuk beban hidup gudang)		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 1,92 \text{ kN/m}^2$) = 96 x 1,92 = 184,32 kN (untuk beban hidup kamar mandi)		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 3,59 \text{ kN/m}^2$) = 1792 x 3,59 = 6207,11 kN (untuk beban hidup grosir)		
	Beban Hidup Tereduksi pada Struktur (30% Beban Hidup) = 3149,013 kN		
Berat Total Lantai 2 =		25099,733 kN	
LANTAI 3			
Berat Sendiri Struktur			
Elemen Balok	Luas Penampang	Panjang	Volume per Jenis Balok
	Balok Induk (0,4 m x 0,7 m = 0,28 m ²)	8 m x 98 = 784 m	236,32
		12 m x 5 = 60 m	
	Balok Anak (0,3 m x 0,5 m = 0,15 m ²)	8 m x 88 = 704 m	109,2
		12 m x 1 = 12 m	
		3 m x 4 = 12 m	
	Volume Total Balok (m ³) =		345,52
	Berat Total Balok ($\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) =		8292,48 kN/m ³
Elemen Kolom	Luas Penampang	Panjang Elemen	Volume (Panjang x Luas)
	Kolom 70x70 (0,7 m x 0,7 m = 0,49 m ²)	60 x 4,2 m = 252 m	123,48
	Volume Total Kolom (m ³) =		123,48
	Berat Totak Kolom ($\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) =		2963,52 kN/m ³
Elemen Pelat	Luas Total Penampang		Tebal Pelat
	Panjang x Lebar = 92 m x 32 m = 2944 m ²		12 cm = 0,12 m

	Volume Total Pelat =	353,28 m ³	
	Berat Total Pelat ($\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) =	8478,72 kN/m³	
Beban Mati Tambahan Pada Struktur			
Plesteran Keramik	Luas Penampang	Tebal Plesteran	
	Luas Lantai yang Harus Diplester = Luas Pelat = 2944 m ²	1,5 cm = 0,015 m	
	Volume Total Plesteran Keramik =	44,16 m ³	
	Berat Total Plesteran Keramik ($\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3$)=	883,2 kN	
Plafond	Luas Penampang		
	Luas Plafond = Luas Pelat = 2944 m ²		
	Berat Total Plesteran Keramik ($W_{\text{plaf}} = 10 \text{ kg/m}^2 = 0,1 \text{ kN/m}^2$)=	294,4 kN	
M & E	Beban Mechanical & Electrical pada Area Pelat Seluas = 2944 m ² Maka Berat M & E ($W_{\text{M\&E}} = 20 \text{ kg/m}^2 = 0,2 \text{ kN/m}^2$) = 588,8 kN		
Berat Sendiri Struktur + Beban Mati Tambahan = 21501,12 kN			
Beban Hidup yang Bekerja Pada Struktur			
Beban Hidup	Beban Hidup Area Pelat Seluas = 1792 m ² , 96 m ² , 48 m ² , 832 m ²		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 4,79 \text{ kN/m}^2$) = 832 x 4,79 = 3985,28 kN (untuk beban hidup koridor)		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 2,5 \text{ kN/m}^2$) = 48 x 2,5 = 120 kN (untuk beban hidup gudang)		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 1,92 \text{ kN/m}^2$) = 96 x 1,92 = 184,32 kN (untuk beban hidup kamar mandi)		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 3,59 \text{ kN/m}^2$) = 1792 x 3,59 = 6207,11 kN (untuk beban hidup grosir)		
	Beban Hidup Tereduksi pada Struktur (30% Beban Hidup) = 3149,013 kN		
Berat Total Lantai 3 =		24650,133 kN	
LANTAI 4			
Berat Sendiri Struktur			
Elemen Balok	Luas Penampang	Panjang	Volume per Jenis Balok
		8 m x 98 = 784 m	236,32

	Balok Induk (0,4 m x 0,7 m = 0,28 m ²)	12 m x 5 = 60 m	109,2
	Balok Anak (0,3 m x 0,5 m = 0,15 m ²)	8 m x 88 = 704 m	
		12 m x 1 = 12 m	
		3 m x 4 = 12 m	
	Volume Total Balok (m ³) =		
Berat Total Balok (γ = 24 kN/m ³) =			8292,48 kN/m³
Elemen Kolom	Luas Penampang	Panjang Elemen	Volume (Panjang x Luas)
	Kolom 70x70 (0,7 m x 0,7 m = 0,49 m ²)	60 x 2,1 m = 126 m	61,74
	Kolom 60x60 (0,6 m x 0,6 m = 0,36 m ²)	60 x 2,1 m = 126 m	45,36
	Volume Total Kolom (m ³) =		107,1
	Berat Totak Kolom (γ = 24 kN/m ³) =		2570,4 kN/m³
Elemen Pelat	Luas Total Penampang		Tebal Pelat
	Panjang x Lebar = 92 m x 32 m = 2944 m ²		12 cm = 0,12 m
	Volume Total Pelat =		353,28 m ³
	Berat Total Pelat (γ = 24 kN/m ³) =		8478,72 kN/m³
Beban Mati Tambahan Pada Struktur			
Plesteran Keramik	Luas Penampang		Tebal Plesteran
	Luas Lantai yang Harus Diplester = Luas Pelat = 2944 m ²		1,5 cm = 0,015 m
	Volume Total Plesteran Keramik =		44,16 m ³
	Berat Total Plesteran Keramik (γ = 2000 kg/m ³ = 20 kN/m ³)=		883,2 kN
Plafond	Luas Penampang		
	Luas Plafond = Luas Pelat = 2944 m ²		
	Berat Total Plesteran Keramik (W _{plaf} = 10 kg/m ² = 0,1 kN/m ²)=		294,4 kN
M & E	Beban Mechanical & Electrical pada Area Pelat Seluas = 2944 m ² Maka Berat M & E (W _{M&E} = 20 kg/m ² = 0,2 kN/m ²) = 588,8 kN		

Berat Sendiri Struktur + Beban Mati Tambahan = 21108 kN			
Beban Hidup yang Bekerja Pada Struktur			
Beban Hidup	Beban Hidup Area Pelat Seluas = 1840 m ² , 48 m ² , 48 m ² , 832 m ²		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup (W _{live} = 4,79 kN/m ²) = 832 x 4,79 = 3985,28 kN (untuk beban hidup koridor)		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup (W _{live} = 2,5 kN/m ²) = 48 x 2,5 = 120 kN (untuk beban hidup gudang)		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup (W _{live} = 1,92 kN/m ²) = 48 x 1,92 = 92,16 kN (untuk beban hidup kamar mandi)		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup (W _{live} = 3,59 kN/m ²) = 1840 x 3,59 = 6605,6 kN (untuk beban hidup grosir)		
	Beban Hidup Tereduksi pada Struktur (30% Beban Hidup) = 3240,91 kN		
Berat Total Lantai 4 =			24348,91 kN
LANTAI 5			
Berat Sendiri Struktur			
Elemen Balok	Luas Penampang	Panjang	Volume per Jenis Balok
	Balok Induk (0,4 m x 0,7 m = 0,28 m ²)	8 m x 98 = 784 m	236,32
		12 m x 5 = 60 m	
	Balok Anak (0,3 m x 0,5 m = 0,15 m ²)	8 m x 87 = 696 m	108,6
		12 m x 1 = 12 m	
		3 m x 4 = 12 m	
		4 m x 1 = 4 m	
	Volume Total Balok (m ³) =		344,92
Berat Total Balok (γ = 24 kN/m ³) =		8278,08 kN/m ³	
Elemen Kolom	Luas Penampang	Panjang Elemen	Volume (Panjang x Luas)
	Kolom 60x60 (0,6 m x 0,6 m = 0,36 m ²)	60 x 4,2 m = 252 m	90,72
	Volume Total Kolom (m ³) =		90,72
	Berat Totak Kolom (γ = 24 kN/m ³) =		2177,28 kN/m ³
Elemen Pelat	Luas Total Penampang		Tebal Pelat
	Panjang x Lebar = 92 m x 32 m = 2944 m ²		12 cm = 0,12 m
	Volume Total Pelat =		353,28 m ³
	Berat Total Pelat (γ = 24 kN/m ³) =		8478,72 kN/m ³
Beban Mati Tambahan Pada Struktur			
Plesteran Keramik	Luas Penampang		Tebal Plesteran

	Luas Lantai yang Harus Diplester = Luas Pelat = 2944 m ²		1,5 cm = 0,015 m
	Volume Total Plesteran Keramik =		44,16 m ³
	Berat Total Plesteran Keramik ($\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3$)=		883,2 kN
Plafond	Luas Penampang		
	Luas Plafond = Luas Pelat = 2944 m ²		
	Berat Total Plesteran Keramik ($W_{\text{plaf}} = 10 \text{ kg/m}^2 = 0,1 \text{ kN/m}^2$)=		294,4 kN
M & E	Beban Mechanical & Electrical pada Area Pelat Seluas = 2944 m ² Maka Berat M & E ($W_{\text{M\&E}} = 20 \text{ kg/m}^2 = 0,2 \text{ kN/m}^2$) = 588,8 kN		
Berat Sendiri Struktur + Beban Mati Tambahan = 20700,48 kN			
Beban Hidup yang Bekerja Pada Struktur			
Beban Hidup	Beban Hidup Area Pelat Seluas = 1536 m ² , 144 m ² , 176 m ² , 896 m ²		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 4,79 \text{ kN/m}^2$) = 1536 x 4,79 = 7357,44 kN (untuk beban hidup koridor)		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 2,5 \text{ kN/m}^2$) = 144 x 2,5 = 360 kN (untuk beban hidup gudang)		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 1,92 \text{ kN/m}^2$) = 176 x 1,92 = 337,92 kN (untuk beban hidup kamar mandi)		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 3,59 \text{ kN/m}^2$) = 896 x 3,59 = 3216,641 kN (untuk beban hidup grosir)		
	Beban Hidup Tereduksi pada Struktur (30% Beban Hidup) = 3500,4 kN		
Berat Total Lantai 5 =			24200,88 kN
LANTAI 6			
Berat Sendiri Struktur			
Elemen Balok	Luas Penampang	Panjang	Volume per Jenis Balok
	Balok Induk (0,4 m x 0,7 m = 0,28 m ²)	8 m x 98 = 784 m	236,32
		12 m x 5 = 60 m	
	Balok Anak (0,3 m x 0,5 m = 0,15 m ²)	8 m x 88 = 704 m	109,2
		12 m x 1 = 12 m	
		3 m x 4 = 12 m	
Volume Total Balok (m ³) =			345,52

	Berat Total Balok ($\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) =		8292,48 kN/m ³
Elemen Kolom	Luas Penampang	Panjang Elemen	Volume (Panjang x Luas)
	Kolom 60x60 (0,6 m x 0,6 m = 0,36 m ²)	60 x 4,2 m = 252 m	90,72
	Volume Total Kolom (m ³) =		90,72
	Berat Totak Kolom ($\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) =		2177,28 kN/m ³
Elemen Pelat	Luas Total Penampang		Tebal Pelat
	Panjang x Lebar = 92 m x 32 m = 2944 m ²		12 cm = 0,12 m
	Volume Total Pelat =		353,28 m ³
	Berat Total Pelat ($\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) =		8478,72 kN/m ³
Beban Mati Tambahan Pada Struktur			
Plesteran Keramik	Luas Penampang		Tebal Plesteran
	Luas Lantai yang Harus Diplester = Luas Pelat = 2944 m ²		1,5 cm = 0,015 m
	Volume Total Plesteran Keramik =		44,16 m ³
	Berat Total Plesteran Keramik ($\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3$)=		883,2 kN
Plafond	Luas Penampang		
	Luas Plafond = Luas Pelat = 2944 m ²		
	Berat Total Plesteran Keramik ($W_{\text{plaf}} = 10 \text{ kg/m}^2 = 0,1 \text{ kN/m}^2$)=		294,4 kN
M & E	Beban Mechanical & Electrical pada Area Pelat Seluas = 2944 m ² Maka Berat M & E ($W_{\text{M\&E}} = 20 \text{ kg/m}^2 = 0,2 \text{ kN/m}^2$) = 588,8 kN		
Berat Sendiri Struktur + Beban Mati Tambahan = 20714,88 kN			
Beban Hidup yang Bekerja Pada Struktur			
Beban Hidup	Beban Hidup Area Pelat Seluas = 1427 m ² , 896 m ² , 368 m ² , 48 m ²		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 4,79 \text{ kN/m}^2$) = 1472 x 4,79 = 7050,88 kN (untuk beban hidup koridor)		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{\text{live}} = 2,5 \text{ kN/m}^2$) = 368 x 2,5 = 920 kN (untuk beban hidup gudang)		

	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{live} = 1,92 \text{ kN/m}^2$) = $48 \times 1,92 = 92,16 \text{ kN}$ (untuk beban hidup kamar mandi)		
	Maka Berat Akibat Beban Hidup ($W_{live} = 3,59 \text{ kN/m}^2$) = $896 \times 3,59 = 3216,641 \text{ kN}$ (untuk beban hidup grosir)		
	Beban Hidup Tereduksi pada Struktur (30% Beban Hidup) = 3383,9 kN		
Berat Total Lantai 6 =		24098,78 kN	
LANTAI ATAP			
Berat Sendiri Struktur			
Elemen Balok	Luas Penampang	Panjang	Volume per Jenis Balok
	Balok Induk (0,4 m x 0,7 m = 0,28 m ²)	8 m x 98 = 784 m	236,32
		12 m x 5 = 60 m	
	Balok Anak (0,3 m x 0,5 m = 0,15 m ²)	8 m x 86 = 688 m	108,6
		12 m x 3 = 36 m	
	Volume Total Balok (m ³) =		344,92
Berat Total Balok ($\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) =		8278,08 kN/m ³	
Elemen Kolom	Luas Penampang	Panjang Elemen	Volume (Panjang x Luas)
	Kolom 60x60 (0,6 m x 0,6 m = 0,36 m ²)	60 x 2,1 m = 126 m	45,36
	Volume Total Kolom (m ³) =		45,36
	Berat Totak Kolom ($\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) =		1088,64 kN/m ³
Elemen Pelat	Luas Total Penampang		Tebal Pelat
	Panjang x Lebar = 92 m x 32 m = 2944 m ²		12 cm = 0,12 m
	Volume Total Pelat =		353,28 m ³
	Berat Total Pelat ($\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$) =		8478,72 kN/m ³
Beban Mati Tambahan Pada Struktur			
Plesteran Keramik	Luas Penampang		Tebal Plesteran
	Luas Lantai yang Harus Diplester = Luas Pelat = 2944 m ²		1,5 cm = 0,015 m
	Volume Total Plesteran Keramik =		44,16 m ³
	Berat Total Plesteran Keramik ($\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3$)=		883,2 kN
Plafond	Luas Penampang		
	Luas Plafond = Luas Pelat = 2944 m ²		
			294.4 kN

	Berat Total Plesteran Keramik ($W_{\text{plaf}} = 10 \text{ kg/m}^2 = 0,1 \text{ kN/m}^2$)=	
M & E	Beban Mechanical & Electrical pada Area Pelat Seluas = 2944 m2 Maka Berat M & E ($W_{\text{M\&E}} = 20 \text{ kg/m}^2 = 0,2 \text{ kN/m}^2$) = 588,8 kN	
Berat Sendiri Struktur + Beban Mati Tambahan = 19611,84 kN		
Berat Total Lantai Atap =		19611,84 kN

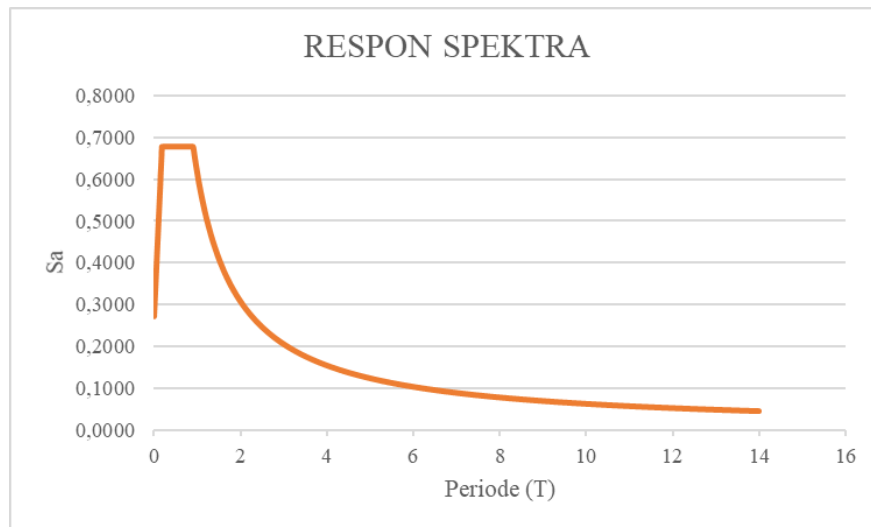
Sumber : Hasil Analisa

4.4.2. Pembebanan Gempa pada Struktur

Beberapa beban gempa yang diterapkan pada struktur bangunan ditentukan oleh aturan, standar, atau statistik yang menjadi patokan besaran beban yang dikenakan. SNI 1726 2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non-Bangunan, adalah seperangkat aturan, metrik, atau data yang digunakan.

Tingkat gempa menggunakan kategori gempa parah, yaitu gempa bumi yang periode ulangnya 2500 tahun ($T_R = 2500$ tahun) atau gempa yang kemungkinan terjadi selama periode desain bangunan 50 tahun adalah 2% ($R_N = 2\%$). Struktur bangunan dapat mengalami kerusakan struktural yang parah jika terjadi gempa bumi besar, namun harus tetap berdiri dan tidak runtuh untuk mencegah terjadinya korban jiwa (SNI 1726: 2019). Data lokasi struktur gedung di Kota Semarang digunakan untuk menganalisis beban gempa menggunakan spektra respon. Program ETABS V.18.20 digunakan untuk melakukan analisis ini. Parameter yang digunakan dalam analisis respon spektra diperoleh dari data situs web <http://puskim.go.id/> sesuai dengan koordinat lokasi yang diambil berada dikota Semarang. Beberapa parameter yang digunakan dalam analisis respon spektra yang digunakan sebagai acuan sebagai berikut :

1. Katageori tanah *on site* : E (Tanah lunak, berdasarkan hasil pengujian tanah)
2. Percepatan respon spektra MCE periode pendek, S_s : 0,8112 g
3. Percepatan respon spektra MCE periode 1 detik, S_{d1} : 0,3571 g
4. Koefisien situs untuk periode pendek, F_a : 1,251
5. Koefisien situs untuk periode 1 detik, F_v : 2,5716
6. Percepatan respon spektra pada periode pendek, S_{DS} : 0,6766 g
7. Percepatan respon spektra pada periode 1 detik, S_{D1} : 0,6122 g
8. Faktor keutamaan bangunan, I_e : 1.0
9. Kategori resiko : tipe II (Pasar)
10. Periode Panjang, T_L : 12 detik



Gambar 4.6. Respon Spektrum Desain

Sumber : Hasil Analisa

Berdasarkan hasil desain respon spektrum tersebut, dilakukan analisis dengan menggunakan nilai faktor skala sesuai dengan rumus berikut :

$$Scale Factor = \frac{g \times I_e}{R}$$

Diketahui :

g = Percepatan gravitasi (9.8 m/s^2)

I_e = Faktor Keutamaan (1.0)

R = Faktor reduksi gempa (8)

Dengan demikian, maka perhitungan nilai faktor menjadi :

$$Scale Factor = \frac{9.8 \times 1}{8} = 1.22$$

Respon dinamik struktur gedung terhadap beban gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana pada arah tertentu tidak boleh melebihi 85% dari nilai respon varians awal. Selain itu, studi harus memperhitungkan jumlah modifikasi yang diperlukan untuk menghasilkan keterlibatan massa setidaknya 90% dari massa struktur (SNI 1726 2019 Pasal 7.10.3.2.1).

4.4.3. Kombinasi Pembebanan

Dengan menggunakan kombinasi - kombinasi pembebanan tersebut, nilai $S_{DS} = 0.6766$ g dan nilai faktor redundansi (ρ) sebesar 1.0 diperoleh kombinasi pembebanan yang diterapkan pada struktur bangunan ialah sebagai berikut :

$$U1 = 1,4D$$

$$U2 = 1,2D + 1,6L$$

$$U3 = 1,2D + 1,6W + L + 0,5 Lr$$

$$U4 = 0,9D + 1,6W$$

$$U5 = (1,2 + 0,2Sds)D \pm \rho Q_e + L$$

$$U6 = (0,9 - 0,2Sds)D \pm \rho Q_e$$

4.4.4. Faktor Reduksi Kekuatan Beton

Pada perencanaan beton bertulang seperti balok dan kolom maka faktor dari material ditentukan sebagai faktor kuat lebih struktur dimana nilai dari sifat struktur direduksi hal – hal yang diinginkan tidak terjadi. SNI 2847 – 2019, menetapkan berbagai nilai ϕ untuk berbagai jenis besaran gaya yang didapat dan perhitungan struktur.

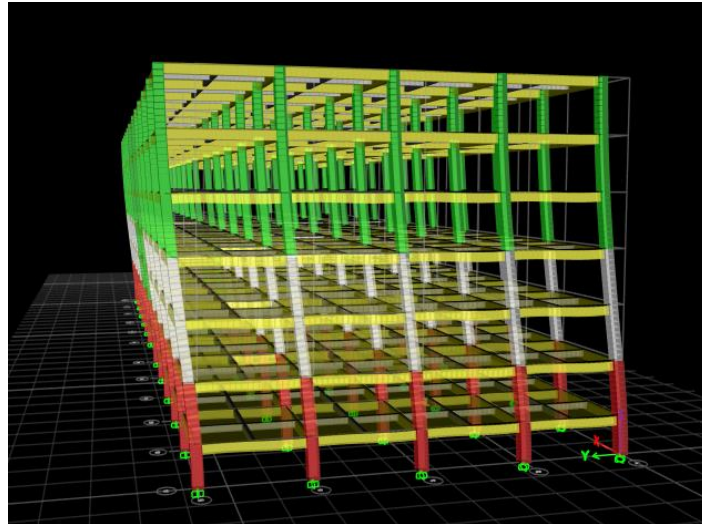
Tabel 4.7. Tabel Faktor Reduksi Kekuatan Beton

Kondisi Pembebanan	Faktor Reduksi
Penampang terkontrol – Tarik	0.90
Penampang terkontrol – tekan : - Dengan tulangan spiral - Dengan tulangan lainnya	0.75 0.70
Geser dan Torsi	0.75
Geser Seismik	0.60
Tumpuan Pada Beton	0.70

Sumber : Tabel 21.2.1 SNI 2847 – 2019

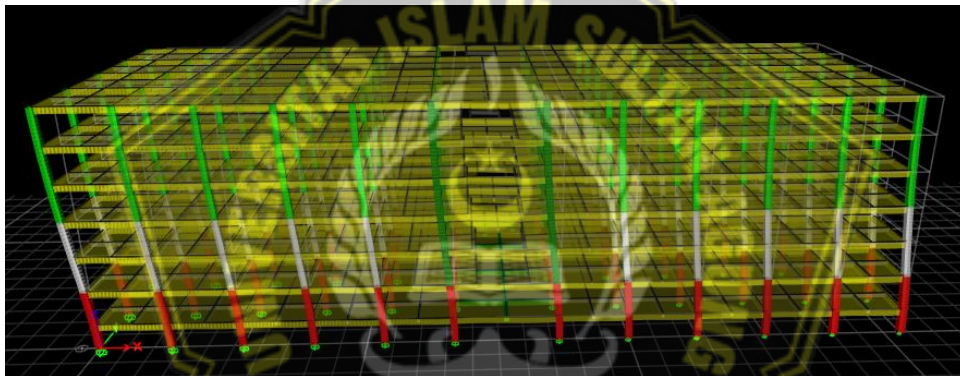
4.4.5. Analisis Ragam Getar Struktur

Permodelan 3 dimensi yang dilakukan minimal 3 derajat kebebasan terpenuhi terdiri dari dua arah translasi dan rotasi boleh terjadi pada mode ke – 3 menurut pasal 7.7.3. pada SNI 1726 – 2019.



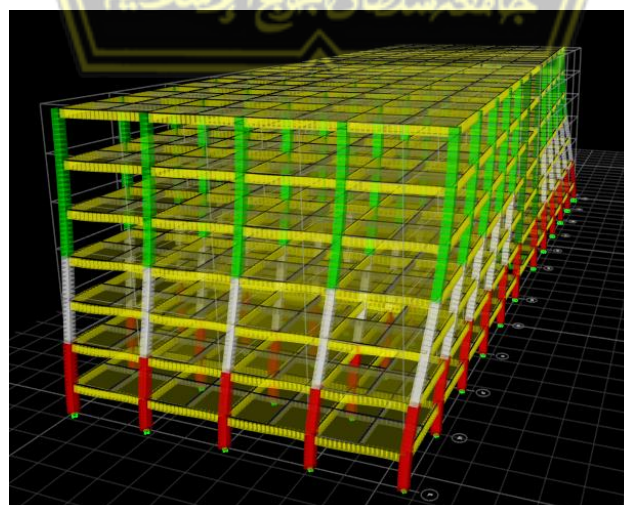
Gambar 4.7. Mode 1 Translasi Arah Y

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.8. Mode 2 Translasi Arah X

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.9. Mode 3 Translasi Arah Z

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.8. Modal Getar Struktur

Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
		sec			
Modal	1	1,141	0,00001146	0,7487	0,001
Modal	2	1,1	0,7204	0,0001	0,0316
Modal	3	1,079	0,0313	0,0008	0,7196
Modal	4	0,361	0,00000081	0,1056	0,00003869
Modal	5	0,35	0,1006	6,1E-06	0,004
Modal	6	0,343	0,0039	0,0001	0,1014
Modal	7	0,198	0	0,047	0,00001063
Modal	8	0,194	0,0456	1,14E-06	0,001
Modal	9	0,189	0,0011	1,26E-05	0,0452
Modal	10	0,129	8,697E-07	0,0289	0,00001892
Modal	11	0,127	0,028	2,62E-06	0,0005
Modal	12	0,123	0,0006	2,01E-05	0,0274
Modal	13	0,092	0,000004633	0,0186	0,0000297
Modal	14	0,091	0,0177	8,81E-06	0,0004
Modal	15	0,089	0,0005	1,91E-05	0,017
Modal	16	0,072	0,0001	0,0091	0,0001
Modal	17	0,072	0,0085	0,0001	0,0002
Modal	18	0,07	0,0003	0,0001	0,0078
Modal	19	0,057	0	0,0409	0
Modal	20	0,057	0,0411	0	0,0001

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan pada Tabel 4.8. menunjukan bahwa mode 1 dan mode 2 yang di tunjukan pada Gambar 4.7 dan 4.8 menunjukan dominan translasi sedangkan pada mode 3 menunjukan rotasi yang di tunjukan pada Gambar 4.9 sehingga telah memenuhi syarat yang ditentukan oleh SNI 1726 Pasal 7.7.3

4.4.6. Periode Getar Struktur

Periode desain tidak boleh kurang dari periode minimum dan tidak boleh melebihi periode maksimum struktur yang ditentukan sesuai dengan jenis sistem struktur, percepatan periode 1 detik S_{d1} dan ketinggian bangunan (Pasal 7.8.2 SNI 1726 2019).

1. Penentuan Batas Bawah Periode Getar Struktur

$$T_{a \min} = C_t \times H_n^x \quad (4.1)$$

Diketahui,

$T_{a \min}$ = Periode Batas Bawah (S)

C_t = Koefisien Batas Bawah

H_n = Ketinggian Total Struktur (M)

X = Koefisien Tipikal Struktur

Sehingga :

$$\begin{aligned} T_{a \text{ min}} &= 0,0466 \times 28,2^{0,9} \\ &= 0,9410 \text{ detik} \end{aligned}$$

2. Penentuan Batas Atas Periode Getar Struktur

$$T_{a \text{ maks}} = C_u \times T_a \quad (4.2)$$

Diketahui,

$$T_{a \text{ maks}} = \text{Periode Batas Atas (S)}$$

$$T_a = \text{Periode Batas Bawah (S)}$$

$$C_u = \text{Koefisien Batas Atas}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} T_{a \text{ maks}} &= 1,4 \times 0,9410 \\ &= 1,317 \text{ detik} \end{aligned}$$

Tabel 4.9. Periode Getar Struktur

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	1,141	0,877	5,5075	30,3323
Modal	2	1,1	0,909	5,7112	32,6175
Modal	3	1,079	0,927	5,8257	33,939
Modal	4	0,361	2,769	17,397	302,6569
Modal	5	0,35	2,859	17,9626	322,6565
Modal	6	0,343	2,92	18,3446	336,5258
Modal	7	0,198	5,038	31,657	1002,1668
Modal	8	0,194	5,165	32,4531	1053,205
Modal	9	0,189	5,293	33,2556	1105,938
Modal	10	0,129	7,76	48,757	2377,2498
Modal	11	0,127	7,897	49,6193	2462,0724
Modal	12	0,123	8,116	50,9947	2600,4562
Modal	13	0,092	10,822	67,994	4623,1891
Modal	14	0,091	10,933	68,6911	4718,4693
Modal	15	0,089	11,253	70,7072	4999,5072
Modal	16	0,072	13,849	87,0152	7571,6389
Modal	17	0,072	13,905	87,3673	7633,0482
Modal	18	0,07	14,328	90,0263	8104,7394
Modal	19	0,057	17,579	110,4499	12199,1909
Modal	20	0,057	17,629	110,7667	12269,2622

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan pada Tabel 4.9 periode maksimum hasil analisis sebesar 1,141 detik. Struktur mempunyai kekakuan yang mencukupi karena periode desain berada diantara periode batas bawah dan periode batas atas.

4.4.7. Partisipasi Massa Struktur

Untuk keterlibatan massa 100% atau setidaknya 90% dari massa struktur, analisis harus memperhitungkan jumlah variasi yang diperlukan.

Tabel 4.10. Partisipasi Massa Struktur

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
Case	ItemType	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	100	99,99
Modal	Acceleration	UY	100	100
Modal	Acceleration	UZ	0	0

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan Tabel 4.10. partisipasi massa struktur sudah mencapai 100% sehingga sudah memenuhi persyaratan yang disebutkan pada SNI 1726 2019.

4.4.8. Gaya Lateral Ekuivalen

Distribusi gaya gempa lateral (F) pada tiap lantai yang diatur pada pasal 7.8.3 dengan rumus :

$$F = C_v \times V, \text{ dan}$$

$$C_v = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Interpolasi nilai k untuk arah x nilai perioda desain pada rentang $0,5 < T < 2,5$ adalah :

$$k = 0,5 \times T + 0,75$$

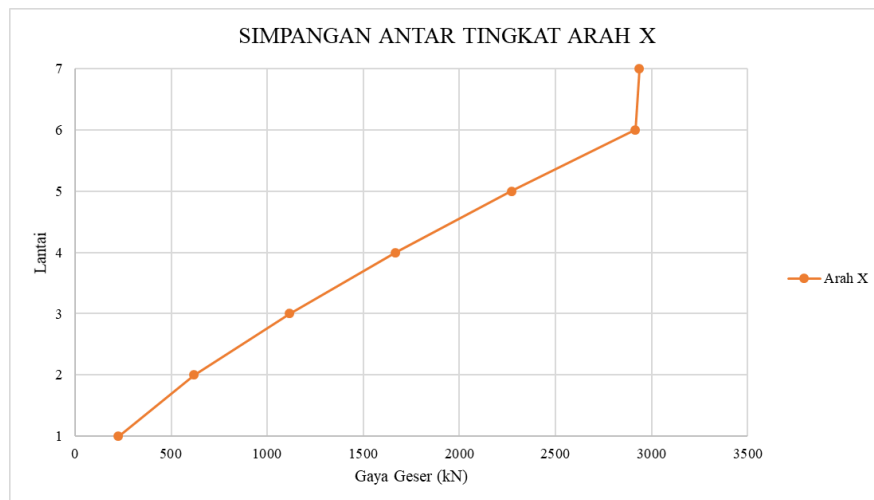
$$k = 0,5 \times 1,141 + 0,75$$

$$k = 1,3205$$

Tabel 4.11. Gaya Geser Antar Tingkat Arah – X

LANTAI	TINGGI	BERAT	k	$W_i \times h_i^k$ (kN/m)	C_v	LATERAL
	h_i (m)	W_i (kN)				Fi-X (kN)
Atap	28,2	19611,84	1,3205	1612769,453	0,249832	2935,8699
6	24	24098,78		1601636,663	0,248108	2915,60387
5	19,8	24200,88		1247606,251	0,193265	2271,13034
4	15,6	24348,91		916221,6643	0,141931	1667,88105
3	11,4	24650,133		613002,3269	0,09496	1115,9035
2	7,2	25099,733		340233,1791	0,052705	619,357185
1	3	29051,142		123937,2416	0,019199	225,614155
JUMLAH		171061,418		6455406,779		

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.10 Gaya Geser Antar Tingkat Arah – X

Sumber : Hasil Analisis

Interpolasi nilai k untuk arah y nilai perioda desain pada rentang $0,5 < T < 2,5$ adalah :

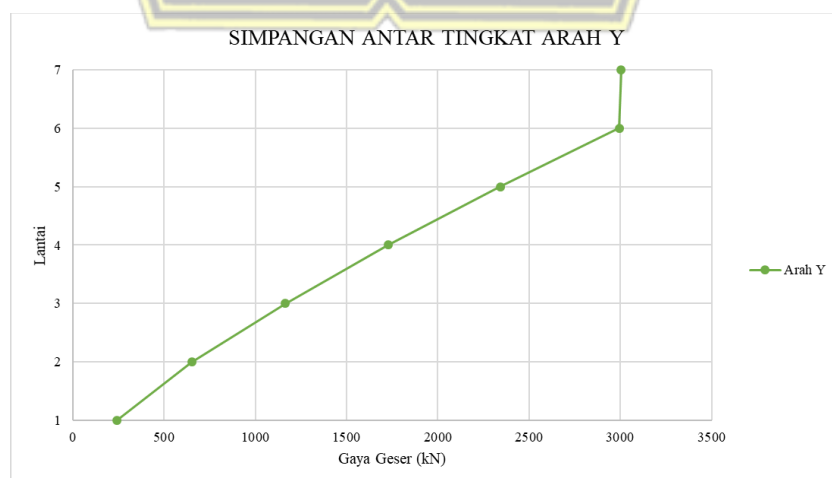
$$k = 0,5 \times 1,1 + 0,75$$

$$k = 1,3$$

Tabel 4.12. Gaya Geser Antar Tingkat Arah – Y

LANTAI	TINGGI h_i (m)	BERAT W_i (kN)	k	$W_i \times h_i^k$ (kN/m)	C_v	LATERAL Fi-Y (kN)
Atap	28,2	19611,84	1,3	1506059,682	0,247815	3004,64539
6	24	24098,78		1500616,34	0,24692	2993,78572
5	19,8	24200,88		1173534,619	0,1931	2341,24545
4	15,6	24348,91		866047,0811	0,142504	1727,79632
3	11,4	24650,133		583170,5359	0,095958	1163,44703
2	7,2	25099,733		326739,2795	0,053763	651,857083
1	3	29051,142		121177,1797	0,019939	241,753005
JUMLAH		171061,418		6077344,717		

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.11 Gaya Geser Antar Tingkat Arah – Y

Sumber : Hasil Analisis

Contoh penjabaran perhitungan tabel Gaya Lateral Ekvivalen Arah Y =

Diketahui :

k : 1,3

hi : 28,2 m (Lantai Atap)

W_i : 19611,84 kN

C_s × W : 0,0680 × 172376

: 12124, 53 kN

Dicari :

1. Momen dari W_i × h_i^k

2. C_v

3. Lateral Arah – Y

Jawaban :

1. Momen : W_i × h_i^k
: 19611,84 × 28,2^{1,3}
: 1506059,682 kN/m

2. C_v : $\frac{Momen}{Momen\ total}$
: $\frac{1506059,682}{6077344,717}$
: 0,247815

3. Lateral Arah – Y : C_v × C_s × W
: 0,247815 × 12124,53 kN
: 3004,645 kN

4.4.9. Gaya Geser Tiap Lantai

Gaya geser pada tiap- tiap lantai akibat beban gempa desain dapat dihitung sesuai pasal 7.8.4 dengan menggunakan persamaan :

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

Gaya geser merupakan komulatif dari penjumlahan gaya lateral ekivalen tiap lantai.

Tabel 4.13. Gaya Geser Tiap Lantai

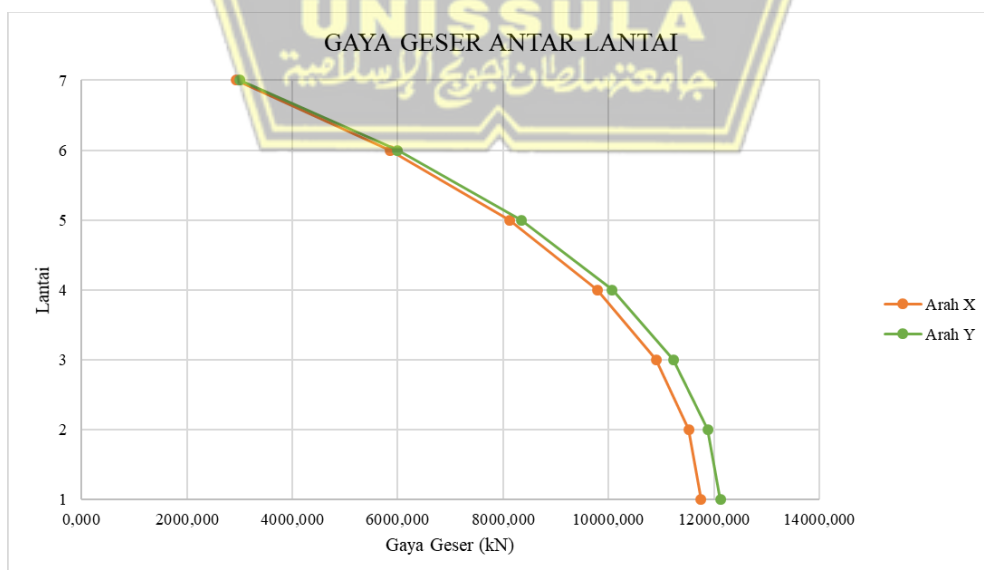
Gaya Geser Tiap Lantai				
LANTAI	F_x	V_x	F_y	V_y
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
Atap	2935,87	2935,870	3004,645	3004,645
6	2915,604	5851,474	2993,786	5998,431
5	2271,13	8122,604	2341,245	8339,677
4	1667,881	9790,485	1727,796	10067,473
3	1115,904	10906,389	1163,447	11230,920
2	619,357	11525,746	651,857	11882,777
1	225,614	11751,360	241,753	12124,530

Sumber : Hasil Analisis

Gaya Geser Lantai, $V_6 = V_{\text{Atap}} + F_6 = 2927,205 \text{ kN} = V_{\text{Gaya Geser}}$

Contoh penjabaran perhitungan pada tabel gaya geser tiap lantai arah – x :

1. Gaya geser lantai Atap, $V_{\text{atap}} = F_{\text{atap}} = 2927,205 \text{ kN}$
2. Gaya geser lantai 6, $V_6 = V_{\text{atap}} + F_6 = 5837,721 \text{ kN}$
3. Gaya geser lantai 5, $V_5 = V_6 + F_5 = 8108,162 \text{ kN}$
4. Gaya geser lantai 4, $V_4 = V_5 + F_4 = 9778,521 \text{ kN}$
5. Gaya geser lantai 3, $V_3 = V_4 + F_3 = 10898,715 \text{ kN}$
6. Gaya geser lantai 2, $V_2 = V_3 + F_2 = 11522,599 \text{ kN}$
7. Gaya geser lantai 1, $V_1 = V_2 + F_1 = 11751,360 \text{ kN}$
8. Gaya geser lantai *Basement*, $V_{\text{Basement}} = V_1 + F_{\text{Basement}} = 11751,360 \text{ kN}$



Gambar 4.12. Grafik Gaya Geser Tiap Lantai

Sumber : Hasil Analisis

4.4.10. Relasi Beban Gempa Statik – Dinamik

SNI 1726-2019 Pasal 7.9.2.5.1 menyatakan bahwa beban gempa dinamik harus minimal 85% dari beban gempa statis, atau $V_{DINAMIK} \geq 0.85V_{STATIK}$. Jika persyaratan ini tidak dipenuhi, beban gempa dinamis harus ditingkatkan dengan faktor skala:

$$Scale\ factor = \frac{0,85 \times V_{BASESTATIK}}{V_{BASEDINAMIK}}$$

Pada analisis sebelumnya, nilai beban gempa dihitung secara manual sesuai dengan SNI 1726 2019 menggunakan teknik gaya lateral ekuivalen dan spektrum respon dinamik. Nilai beban gempa statik ekuivalen, yang ditentukan secara manual menggunakan tabel 4.13 dan spektrum respons beban gempa dinamik, akan digunakan dalam perhitungan desain ini.

Tabel 4.14. Gaya Geser Statik dan Dinamik Tiap Lantai

Story	STATIK		85 % Statik		DINAMIK	
	Vx	Vy	Vx	Vy	Vspec-X	Vspec-Y
	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Atap	2935,870	3004,645	2495,489	2553,949	1808,136	1769,739
Lt 6	5851,474	5998,431	4973,753	5098,666	3994,501	3876,822
Lt 5	8122,604	8339,677	6904,213	7088,725	5804,848	5609,970
Lt 4	9790,485	10067,473	8321,912	8557,352	7251,788	6991,914
Lt 3	10906,389	11230,920	9270,430	9546,282	8329,667	8024,579
Lt 2	11525,746	11882,777	9796,884	10100,360	8982,608	8656,061
Lt 1	11751,36	12124,530	9988,656	10305,851	9184,158	8852,418

Sumber : Hasil Analisis

Dari Tabel 4.14 diatas dapat dilihat bahwa gaya geser dinamik masih lebih kecil dari 85% gempa statik, dengan demikian perlu ditamhkan faktor skala.

Contoh perhitungan faktor skala :

$$Scale\ Factor\ arah\ X\ (pada\ lantai\ 1) = \frac{85\% V_{STATIK-X}}{V_{DINAMIK-X}} = \frac{9988,656}{9184,158} = 1,088$$

$$Scale\ Factor\ arah\ Y\ (pada\ lantai\ 1) = \frac{85\% V_{STATIK-Y}}{V_{DINAMIK-Y}} = \frac{10305,85}{8852,418} = 1,164$$

Hasil perhitungan lengkap faktor skala (*scale factor*) ditunjukan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15. Gaya Geser Antar Tingkat *Dinamik Correction*

Story	85 % Statik		Dinamik		Skala Gaya		Dinamik <i>Correction</i>	
	V _x	V _y	V _{SPEC-X}	V _{SPEC-Y}	X-Dir	Y-Dir	V _{SPEC-X}	V _{SPEC-Y}
	kN	kN	kN	kN			kN	kN
Atap	2495,489	2553,949	1808,1363	1769,7388	1,380	1,443	2495,489	2553,949
Lt 6	4973,753	5098,666	3994,5006	3876,8217	1,245	1,315	4973,753	5098,666
Lt 5	6904,213	7088,725	5804,8479	5609,9697	1,189	1,264	6904,213	7088,725
Lt 4	8321,912	8557,352	7251,7884	6991,9136	1,148	1,224	8321,912	8557,352
Lt 3	9270,430	9546,282	8329,6669	8024,5787	1,113	1,190	9270,430	9546,282
Lt 2	9796,884	10100,360	8982,6077	8656,0611	1,091	1,167	9796,884	10100,360
Lt 1	9988,656	10305,851	9184,1582	8852,418	1,088	1,164	9988,656	10305,851

Sumber : Hasil Analisis

Dari hasil faktor skala tiap lantai yang tercantum dalam Tabel 4.15 maka didapatkan pula hasil perhitungan dinamik *correction*, dengan penjabaran sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Dinamik Correction Arah X} &= \text{Dinamik} - X \times \text{Faktor Skala} - X && (\text{Lantai 1}) \\
 &= 9184,158 \times 1,088 \\
 &= 9988,656 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dinamik Correction Arah Y} &= \text{Dinamik} - Y \times \text{Faktor Skala} - Y && (\text{Lantai 1}) \\
 &= 8852,418 \times 1,164 \\
 &= 10305,851 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan gaya geser desain antar tingkat menggunakan hasil perhitungan dinamik *correction*.

Tabel 4.16. Gaya Geser Desain Antar Tingkat

Story	Statik		85 % Statik		Dinamik <i>Correction</i>		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
Atap	2935,870	3004,645	2495,489	2553,949	2495,489	2553,949	2495,489	2553,949
Lt 6	5851,474	5998,431	4973,753	5098,666	4973,753	5098,666	4973,753	5098,666
Lt 5	8122,604	8339,677	6904,213	7088,725	6904,213	7088,725	6904,213	7088,725
Lt 4	9790,485	10067,473	8321,912	8557,352	8321,912	8557,352	8321,912	8557,352
Lt 3	10906,389	11230,920	9270,430	9546,282	9270,43	9546,282	9270,430	9546,282
Lt 2	11525,746	11882,777	9796,884	10100,360	9796,884	10100,360	9796,884	10100,360
Lt 1	11751,36	12124,530	9988,656	10305,851	9988,656	10305,851	9988,656	10305,851

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan hasil gaya geser desain antar tingkat pada Tabel 4.16, digunakan untuk perhitungan gaya lateral desain.

Tabel 4.17. Gaya Lateral Desain

Story	Gaya Geser Desain		F, Gempa Desain	
	V _x	V _y	F _x	F _y
	kN	kN	kN	kN
Atap	2495,489	2553,949	2495,489	2553,949
Lt 6	4973,753	5098,666	2478,263	2544,718
Lt 5	6904,213	7088,725	1930,461	1990,059
Lt 4	8321,912	8557,352	1417,699	1468,627
Lt 3	9270,430	9546,282	948,518	988,930
Lt 2	9796,884	10100,360	526,454	554,079
Lt 1	9988,656	10305,851	191,772	205,490

Sumber : Hasil Analisis

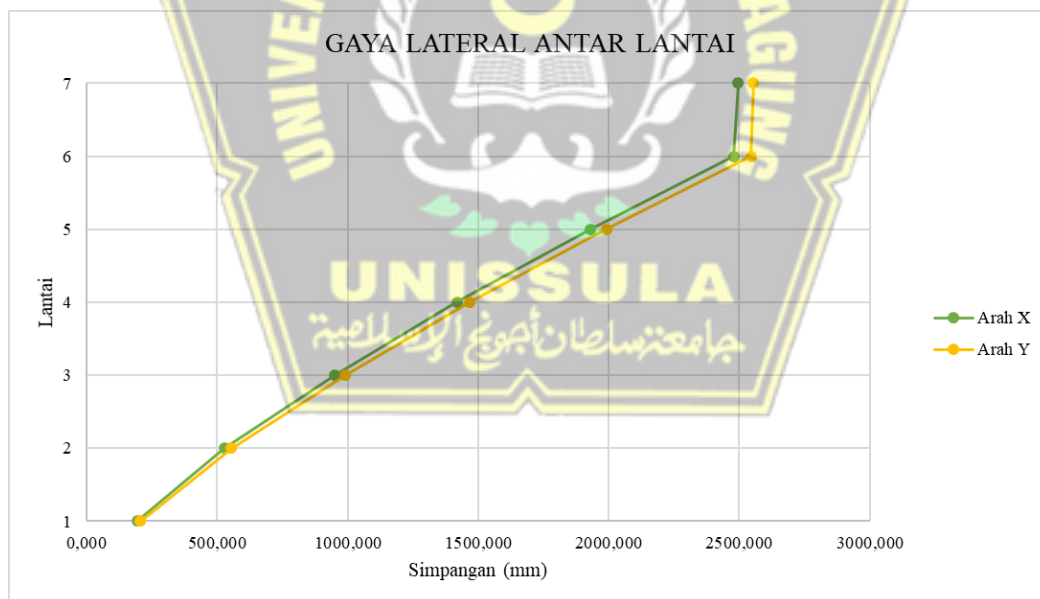
Contoh perhitungan Gaya Lateral Desain arah X (F_x) :

$$F_{Atap} = V_{Atap} = 2495,489 \text{ kN}$$

$$F_6 = V_6 - V_{Atap} = 4973,753 - 2495,489 = 2478,263 \text{ kN}$$

$$F_5 = V_5 - V_6 = 6904,213 - 4973,753 = 1930,461 \text{ kN} \dots \text{Dst.}$$

Berdasarkan hasil perhitungan gaya lateral desain diatas didapatkan grafik pada Gambar 4.14.



Gambar 4.13. Grafik Gaya Lateral Desain Antar Lantai

Sumber : Hasil Analisis

4.4.11. Simpangan Antar Lantai

Untuk mengetahui layan bangunan diperlukan pengecekan simpangan antar lantai yang terjadi.

Tabel 4.18. Simpangan Antar Lantai Arah – X

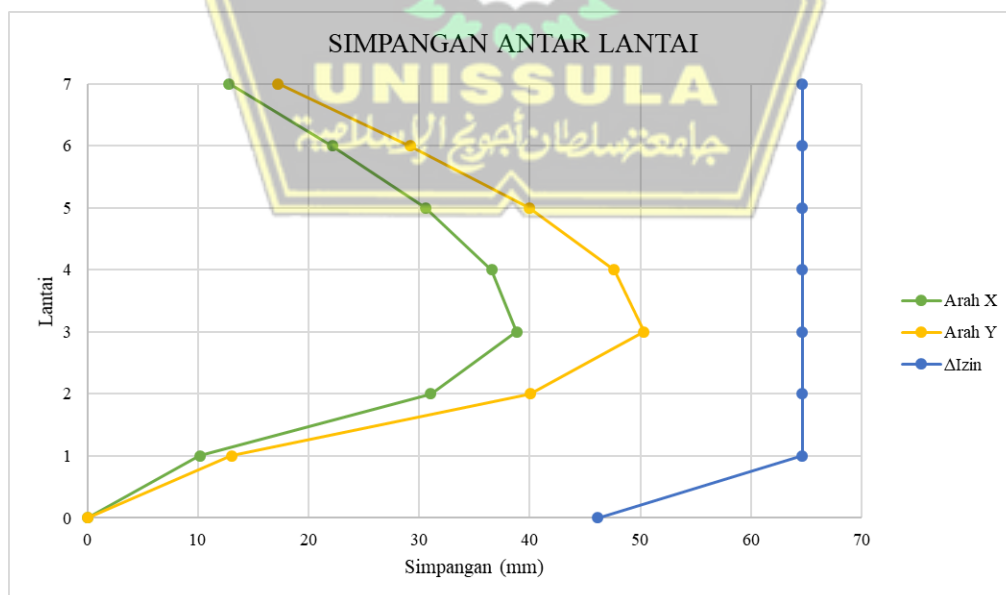
Story	Load Case/Combo	Direction	δ_e	Δ_{xe}	Cd	Δ_x	h	Δ_{Izin}	Cek
			mm	mm		mm		mm	
Atap	Ex Max	X	33,107	2,326	5,5	12,793	4200	64,615	AMAN
6	Ex Max	X	30,781	4,03	5,5	22,165	4200	64,615	AMAN
5	Ex Max	X	26,751	5,553	5,5	30,5415	4200	64,615	AMAN
4	Ex Max	X	21,198	6,644	5,5	36,542	4200	64,615	AMAN
3	Ex Max	X	14,554	7,059	5,5	38,8245	4200	64,615	AMAN
2	Ex Max	X	7,495	5,643	5,5	31,0365	4200	64,615	AMAN
1	Ex Max	X	1,852	1,852	5,5	10,186	4200	64,615	AMAN
Base	Ex Max	X	0	0	5,5	0	3000	46,154	AMAN

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.19. Simpangan Antar Lantai Arah – Y

Story	Load Case/Combo	Direction	δ_e	Δ_{ye}	Cd	Δ_y	h	Δ_{Izin}	Cek
			mm	mm		mm		mm	
Atap	Ey Max	Y	43,167	3,136	5,5	17,248	4200	64,615	AMAN
6	Ey Max	Y	40,031	5,308	5,5	29,194	4200	64,615	AMAN
5	Ey Max	Y	34,723	7,264	5,5	39,952	4200	64,615	AMAN
4	Ey Max	Y	27,459	8,661	5,5	47,6355	4200	64,615	AMAN
3	Ey Max	Y	18,798	9,148	5,5	50,314	4200	64,615	AMAN
2	Ey Max	Y	9,65	7,279	5,5	40,0345	4200	64,615	AMAN
1	Ey Max	Y	2,371	2,371	5,5	13,0405	4200	64,615	AMAN
Base	Ey Max	Y	0	0	5,5	0	3000	46,154	AMAN

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.14. Gambar simpangan antar lantai Arah X dan Y

Sumber : Hasil Analisis

Contoh perhitungan simpangan antar lantai :

❖ Diketahui :

Δ total : 33,107 mm (Atap)
30,781 mm (Lantai 6)
26,751 mm (Lantai 5)
21,198 mm (Lantai 4)
14,554 mm (Lantai 3)
7,495 mm (Lantai 2)
1,852 mm (Lantai 1)
0 mm (Basement)

Tinggi lantai : 4200 mm (Atap – Lantai 1)
3000 mm (Basement)

Cd : 5,5

❖ Dicari :

Δx : ...?

❖ Jawab :

- Δ izin : $\frac{h \times 0,02}{1,3}$
: $\frac{4200 \times 0,020}{1,3}$
: 64,615 mm (Atap – Lantai 1)
: $\frac{3000 \times 0,020}{1,3}$
: 46,154 mm (Basement)
- Δ xe : Δ total Atap - Δ total Lantai 6
: 33,107 – 30,781
: 2,326 mm
: Δ total Lantai 6 - Δ total Lantai 5
: 30,781 – 26,751
: 4,03 mm
: Δ total Lantai 5 - Δ total Lantai 4
: 26,751 – 21,198
: 5,553
: Δ total Lantai 4 - Δ total Lantai 3

- : 21,198 – 14,554
- : 6,644
- : Δ total Lantai 3 - Δ total Lantai 2
- : 14,554 – 7,495
- : 7,059
- : Δ total Lantai 2 - Δ total Lantai 1
- : 7,495 – 1,852
- : 5,643
- : Δ total Lantai 1 - Δ total Basement
- : 1,852 – 0
- : 1,852
- : Δ total Basement
- : 0
- Δx : $\Delta x_e \text{ Atap} \times C_d$
- : $2,326 \times 5,5$
- : 12,793
- : $\Delta x_e \text{ Lantai 6} \times C_d$
- : $4,03 \times 5,5$
- : 22,165
- : $\Delta x_e \text{ Lantai 5} \times C_d$
- : $5,553 \times 5,5$
- : 30,542
- : $\Delta x_e \text{ Lantai 4} \times C_d$
- : $6,644 \times 5,5$
- : 36,542
- : $\Delta x_e \text{ Lantai 3} \times C_d$
- : $7,059 \times 5,5$
- : 38,825
- : $\Delta x_e \text{ Lantai 2} \times C_d$
- : $5,643 \times 5,5$
- : 31,037
- : $\Delta x_e \text{ Lantai 1} \times C_d$
- : $1,852 \times 5,5$
- : 10,186

$$\begin{aligned}
 &: \Delta x_{\text{Basement}} \times C_d \\
 &: 0 \times 5,5 \\
 &: 0
 \end{aligned}$$

Pada tahapan pengecekan dapat dikatakan AMAN apabila $\Delta x \leq \Delta$ izin

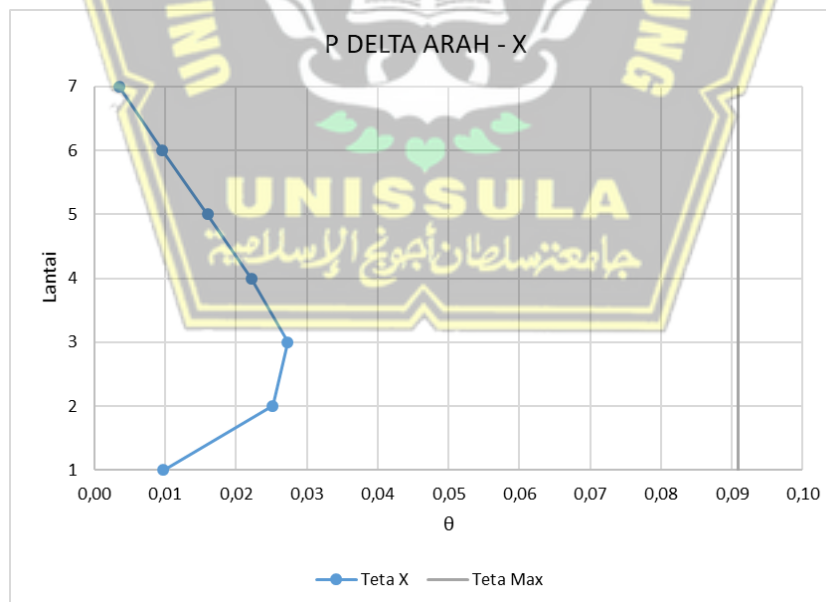
4.4.12. Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa

Untuk mengetahui layan bangunan tidak hanya dari menentukan simpangan antar lantai tetapi juga harus mengetahui tingkat kestabilan struktur yang terjadi akibat gempa.

Tabel 4.20. Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa Arah – X

Arah X								
Story	Px	Delta	Ie	Vx	hsx	Cd	Teta	Cek
	kN	mm		kN	mm			
Atap	15834,4	12,793	1	2495,5	4200	5,5	0,0035	Aman
6	49691,3	22,165	1	4973,8	4200	5,5	0,0096	Aman
5	83470,3	30,542	1	6904,2	4200	5,5	0,0160	Aman
4	116837,9	36,542	1	8321,9	4200	5,5	0,0222	Aman
3	150412,9	38,825	1	9270,4	4200	5,5	0,0273	Aman
2	183811,7	31,037	1	9796,9	4200	5,5	0,0252	Aman
1	221703,6	10,186	1	9988,7	4200	5,5	0,0098	Aman

Sumber : Hasil Analisis



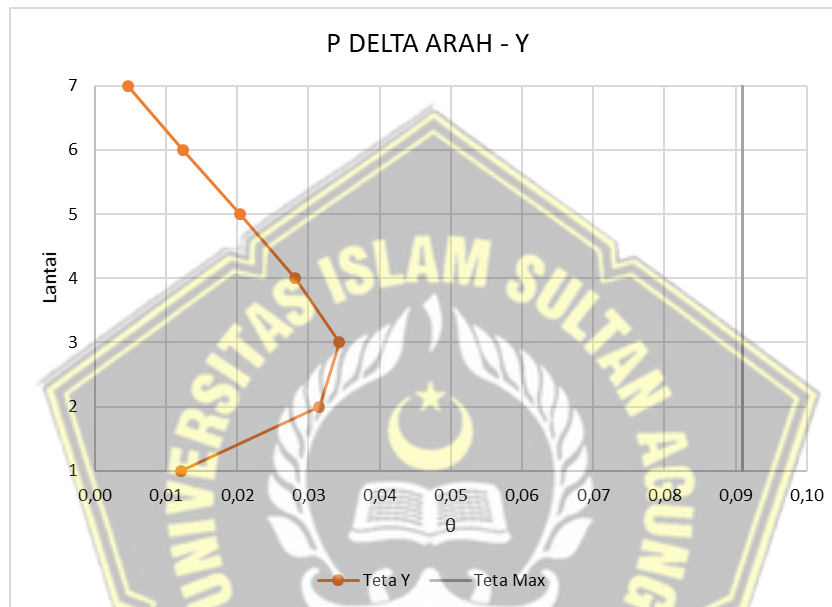
Gambar 4.15. Grafik P Delta Arah – X

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.21. Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa Arah – Y

Arah Y								
Story	Px	Delta	Ie	Vy	hsx	Cd	Teta	Cek
	kN	mm		kN	mm			
Atap	15834,4	17,248	1	2553,9	4200	5,5	0,0046	Aman
6	49691,3	29,194	1	5098,7	4200	5,5	0,0123	Aman
5	83470,3	39,952	1	7088,7	4200	5,5	0,0204	Aman
4	116837,9	47,636	1	8557,4	4200	5,5	0,0282	Aman
3	150412,9	50,314	1	9546,3	4200	5,5	0,0343	Aman
2	183811,7	40,035	1	10100,4	4200	5,5	0,0315	Aman
1	221703,6	13,041	1	10305,9	4200	5,5	0,0121	Aman

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.16. Grafik P Delta Arah – Y

Sumber : Hasil Analisis

Contoh perhitungan cek kestabilan struktur akibat gempa arah – y :

❖ Diketahui :

Px, Vx dan Vy : Hasil Analisis *Software* Etabs

Δ : Hasil Perhitungan Simpangan Antar Lantai

Ie : 1

Cd : 5,5

hsx : 4200 mm

❖ Ditanya

θ : ...?

❖ Jawab

θ Lantai Atap :
$$\frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)}$$

$$\begin{aligned}
 &: \frac{15834,4 \times 17,248 \times 1}{(2553,9 \times 4200 \times 5,5)} \\
 &: 0,0046 \\
 \theta \text{ Lantai 6} &: \frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)} \\
 &: \frac{49691,3 \times 29,194 \times 1}{(5098,7 \times 4200 \times 5,5)} \\
 &: 0,0123 \\
 \theta \text{ Lantai 5} &: \frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)} \\
 &: \frac{83470,3 \times 39,952 \times 1}{(7088,7 \times 4200 \times 5,5)} \\
 &: 0,0204 \\
 \theta \text{ Lantai 4} &: \frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)} \\
 &: \frac{116837,9 \times 47,636 \times 1}{(8557,4 \times 4200 \times 5,5)} \\
 &: 0,0282 \\
 \theta \text{ Lantai 3} &: \frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)} \\
 &: \frac{150412,9 \times 50,314 \times 1}{(9546,3 \times 4200 \times 5,5)} \\
 &: 0,0343 \\
 \theta \text{ Lantai 2} &: \frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)} \\
 &: \frac{183811,7 \times 40,035 \times 1}{(10100,4 \times 4200 \times 5,5)} \\
 &: 0,0315 \\
 \theta \text{ Lantai 1} &: \frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)} \\
 &: \frac{221703,6 \times 13,041 \times 1}{(10305,9 \times 4200 \times 5,5)} \\
 &: 0,0121
 \end{aligned}$$

Akan dikatakan Aman apabila $\theta < \theta_{\max}$.

4.4.13. Cek Ketidakberaturan Struktur

Struktur harus dikategorikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan kriteria dalam pasal-pasal dalam SNI 1726 2019, yang meliputi ketidakberaturan struktur secara horizontal dan vertikal. Hal ini sesuai dengan Pasal 7.3.2 SNI 1726 2019 yang meliputi klasifikasi bangunan beraturan dan tidak beraturan.

1. Ketidakberaturan struktur Horizontal

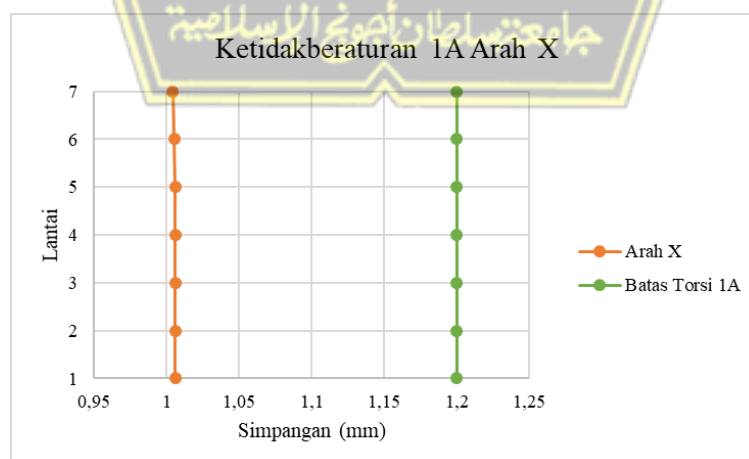
a. Ketidakberaturan torsi 1A

Sesuai dengan SNI 1726 2019 ketidakberaturan torsi 1A didefinisikan jika simpangan maksimum yang terjadi lebih besar dari 1,2 dari simpangan lantai rata - rata.

Tabel 4.22. Cek Ketidakberaturan Torsi 1A Arah X

Lantai	Arah X	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
Atap	1,004	OK
6	1,005	OK
5	1,006	OK
4	1,006	OK
3	1,006	OK
2	1,006	OK
1	1,006	OK

Sumber : Hasil Analisis



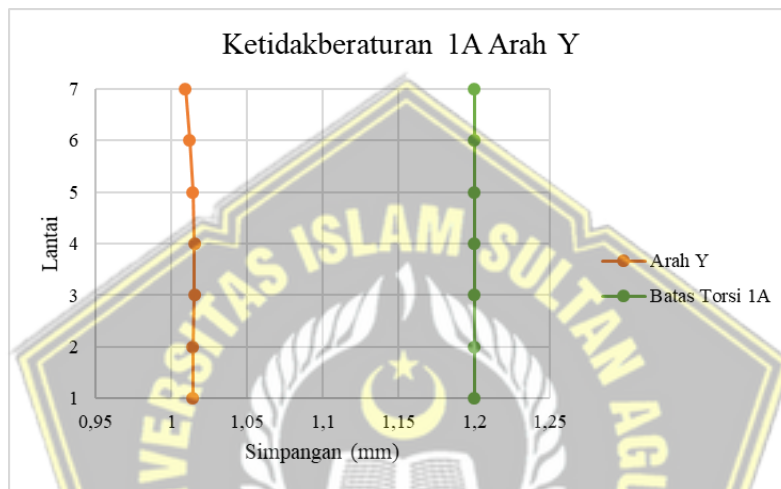
Gambar 4.17. Diagram Ketidakberaturan Torsi 1A Arah X

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.23. Cek Ketidakberaturan Torsi 1A Arah Y

Lantai	Arah Y	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
Atap	1,009	OK
6	1,012	OK
5	1,014	OK
4	1,015	OK
3	1,015	OK
2	1,014	OK
1	1,014	OK

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.18. Diagram Ketidakberaturan Torsi 1A Arah Y

Sumber : Hasil Analisis

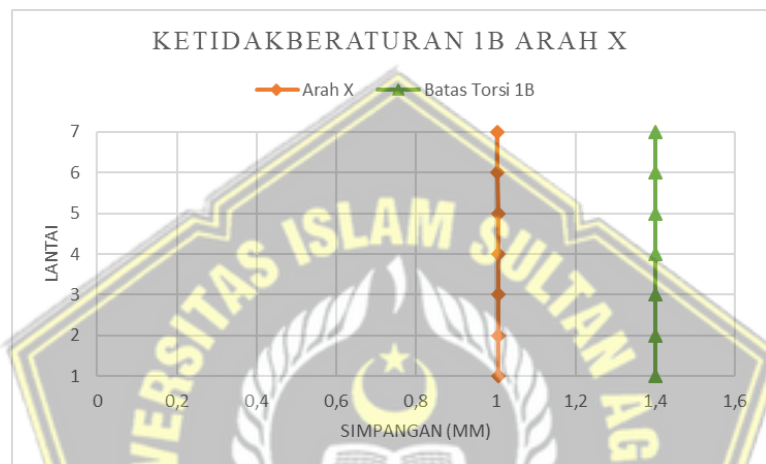
b. Ketidakberaturan torsi 1B

Mengacu pada SNI 1726 2019 ketidakberaturan torsi 1B didefinisikan jika simpangan maksimum yang terjadi lebih besar dari 1,4 simpangan lantai rata – rata.

Tabel 4.24. Cek Ketidakberaturan Torsi 1B Arah X

Lantai	Arah X	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
Atap	1,004	OK
6	1,005	OK
5	1,006	OK
4	1,006	OK
3	1,006	OK
2	1,006	OK
1	1,006	OK

Sumber : Hasil Analisis



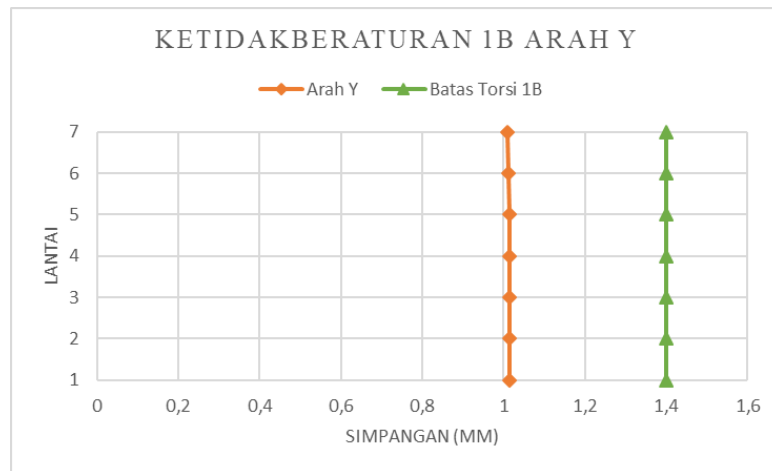
Gambar 4.19. Diagram Ketidakberaturan Torsi 1B Arah X

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.25. Cek Ketidakberaturan Torsi 1B Arah Y

Lantai	Arah Y	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
Atap	1,009	OK
6	1,012	OK
5	1,014	OK
4	1,015	OK
3	1,015	OK
2	1,014	OK
1	1,014	OK

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.20. Diagram Ketidakberaturan Torsi 1B Arah Y

Sumber : Hasil Analisis

c. Ketidakberaturan 2 (Ketidakberaturan Sudut Dalam)

Berdasarkan geometri bangunan ketidakberaturan ini tidak ada karena bangunan berbentuk persegi atau dengan kata lain bangunan ini tidak memiliki sudut dalam.

d. Ketidakberaturan 3 (Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma)

Berdasarkan rasio daerah bukaan tidak mencapai 50% atau lebih dari luasan total keseluruhan bangunan atau rasio bukaan lebih kecil dari luasan total bangunan, maka ketidakberaturan ini tidak ada.

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

Bangunan tidak memiliki dinding geser, maka dapat disimpulkan ketidakberaturan ini tidak ada.

f. Ketidakberaturan 5 (Ketidakberaturan Sistem Non Paralel)

Bangunan tidak memiliki dinding geser, maka dapat disimpulkan ketidakberaturan ini tidak ada.

2. Ketidakberaturan struktur vertikal

a. Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1A

Berdasarkan SNI 1726 2019 ketidakberaturan ini 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.

Tabel 4.26. Cek Ketidakberaturan 1A Arah X

Lantai	Arah X	
	Kekakuan	Cek
	kN/m	
Atap	1104397,611	
6	1271815,103	OK
5	1282449,178	OK
4	1291914,721	OK
3	1354991,822	OK
2	1790394,909	OK
1	5561610,746	OK

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.27. Cek Ketidakberaturan 1A Arah Y

Lantai	Arah Y	
	Kekakuan	Cek
	kN/m	
Atap	984726,482	
6	1161955,073	OK
5	1179876,104	OK
4	1193905,949	OK
3	1261183,952	OK
2	1674887,909	OK
1	5248180,538	OK

Sumber : Hasil Analisis

b. Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1B

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 4.28. Cek Ketidakberaturan 1B Arah X

Lantai	Arah X	
	Kekakuan	Cek
	kN/m	
Atap	1104397,611	
6	1271815,103	OK
5	1282449,178	OK
4	1291914,721	OK
3	1354991,822	OK
2	1790394,909	OK
1	5561610,746	OK

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.29. Cek Ketidakberaturan 1B Arah Y

Lantai	Arah Y	
	Kekakuan	Cek
	kN/m	
Atap	984726,482	
6	1161955,073	OK
5	1179876,104	OK
4	1193905,949	OK
3	1261183,952	OK
2	1674887,909	OK
1	5248180,538	OK

Sumber : Hasil Analisis

c. Ketidakberaturan 2 (Ketidakberaturan Massa)

Didefinisikan ada jika massa disembarang tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat didekatnya. Dengan catatan jika massa pada atap lebih ringan dari massa lantai dibawahnya maka tidak perlu ditinjau atau dengan kata lain ketidakberaturan 2 pada struktur ini tidak ada karena berat massa pada atap lebih ringan dari berat massa lantai bawahnya, dapat dilihat pada tabel 4.30.

Tabel 4.30. Cek Ketidakberaturan Massa Tingkat

Lantai	Massa	Cek
	kg	
Atap	1999850,71	V.2
6	2457391,17	OK
5	2467802,47	OK
4	2482897,32	OK
3	2513613,51	OK
2	2559459,95	OK
1	2962391,45	OK

Sumber : Hasil Analisis

d. Ketidakberaturan 3 (Ketidakberaturan Geometri Vertikal)

Dikarenakan struktur ini tidak memiliki dinding geser maka ketidakberaturan ini tidak ada.

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

Struktur ini tidak memiliki dinding geser maka ketidakberaturan ini tidak ada.

f. Ketidakberaturan 5A (Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat)

Didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80% kekuatan lateral tingkat di atasnya.

Tabel 4.31. Cek Ketidakberaturan Tingkat Lemah

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	kN		kN	
Atap	1971,6051		2064,8245	
6	4349,267	OK	4516,4484	OK
5	6316,5351	OK	6531,0489	OK
4	7891,9115	OK	8140,8641	OK
3	9065,346	OK	9343,6996	OK
2	9775,6258	OK	10078,5166	OK
1	10005,1277	OK	10318,5028	OK

Sumber : Hasil Analisis

- g. Ketidakberaturan 5B (Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas Pada Kekakuan Lateral Tingkat Lemah)

Tabel 4.32. Cek Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan kN	Cek	Kekuatan kN	Cek
Atap	1971,6051		2064,8245	
6	4349,267	OK	4516,4484	OK
5	6316,5351	OK	6531,0489	OK
4	7891,9115	OK	8140,8641	OK
3	9065,346	OK	9343,6996	OK
2	9775,6258	OK	10078,5166	OK
1	10005,1277	OK	10318,5028	OK

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.33. Rekapitulasi Cek Ketidakberaturan Struktur

No	Tipe Ketidakberaturan	Hasil
Ketidakberaturan Horizontal		
1	1A	Tidak Ada / Teratur
2	1B	Tidak Ada / Teratur
3	2	Tidak Ada / Teratur
4	3	Tidak Ada / Teratur
5	4	Tidak Ada / Teratur
6	5	Tidak Ada / Teratur
Ketidakberaturan Vertikal		
1	1A	Tidak Ada / Teratur
2	1B	Tidak Ada / Teratur
3	2	Tidak Ada / Teratur
4	3	Tidak Ada / Teratur
5	4	Tidak Ada / Teratur
6	5A	Tidak Ada / Teratur
7	5B	Tidak Ada / Teratur

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.34. Tabel Konsekuensi ketidakberaturan Horizontal

Poin	Pasal	KDS B	KDS C	KDS D	KDS E	KDS F
H.1a	11.3.4	1	1	1	1	1
H.1a	7.12.1		1	1	1	1
H.1a	7.3.3.4			1	1	1
H.1a	7.7.3	1	1	1	1	1
H.1a	7.8.4.3		1	1	1	1
H.1a	Tabel 16			1	1	1
H.1b	11.3.4	1	1	1		
H.1b	7.12.1		1	1		
H.1b	7.3.3.1				1	1
H.1b	7.3.3.4			1		
H.1b	7.3.4.2			1		
H.1b	7.7.3	1	1	1		
H.1b	7.8.4.3		1	1		
H.1b	Tabel 16			1		
H.2	7.3.3.4			1	1	1
H.2	Tabel 16			1	1	1
H.3	7.3.3.4			1	1	1
H.3	Tabel 16			1	1	1
H.4	11.3.4	1	1	1	1	1
H.4	7.3.3.3	1	1	1	1	1
H.4	7.3.3.4			1	1	1
H.4	7.7.3	1	1	1	1	1
H.4	Tabel 16			1	1	1
H.5	11.3.4	1	1	1	1	1
H.5	7.5.3		1	1	1	1
H.5	7.7.3	1	1	1	1	1
H.5	Tabel 16			1	1	1

Sumber : SNI 1726 2019

Tabel 4.35. Tabel Konsekuensi ketidakberaturan Vertikal

Poin	Pasal	KDS B	KDS C	KDS D	KDS E	KDS F
V.1b	7.3.3.1				1	1
V.5a	7.3.3.1				1	1
V.5b	7.3.3.1			1	1	1
V.5b	7.3.3.2	1	1			
V.4	7.3.3.3	1	1	1	1	1
V.4	7.3.3.4			1	1	1
V.1a	Tabel 16			1	1	1
V.1b	Tabel 16			1	1	1
V.2	Tabel 16			1	1	1
V.3	Tabel 16			1	1	1
V.4	Tabel 16			1	1	1
V.5a	Tabel 16			1	1	1
V.5b	Tabel 16			1	1	1

Sumber : SNI 1726 2019

Konsekuensi ketidakberaturan struktur horizontal maupun vertikal mengacu pada SNI 1726 2019 pasal 7.3.3.4 yang telah terlampir pada tabel 3.6 dan tabel 3.7.

4.4.14. Cek Eksentrisitas

SNI 1726 2019 pasal 7.8.4.1 Sebagai dasar Karena adanya eksentrisitas antara letak pusat massa dan pusat kekakuan, untuk diafragma tidak fleksibel, distribusi gaya lateral pada setiap tingkat harus memperhitungkan dampak momen puntir internal , M_t . Penempatan dan distribusi massa yang didukung oleh diafragma fleksibel harus diperhitungkan saat mendistribusikan gaya ke bagian vertikal.

Tabel 4.36. Momen Torsi Arah X

Arah X	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	A_x	%	Ecc. (m)
Atap	1,004	0,700	3,5%	1,120
6	1,005	0,701	3,5%	1,122
5	1,006	0,703	3,5%	1,124
4	1,006	0,703	3,5%	1,124
3	1,006	0,703	3,5%	1,124
2	1,006	0,703	3,5%	1,124
1	1,006	0,703	3,5%	1,124

Sumber : Hasil analisis

Tabel 4.37. Momen Torsi Arah Y

Arah Y	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	A_x	%	Ecc. (m)
Atap	1,009	0,707	3,5%	3,252
6	1,012	0,711	3,6%	3,272
5	1,014	0,714	3,6%	3,285
4	1,015	0,715	3,6%	3,291
3	1,015	0,715	3,6%	3,291
2	1,014	0,714	3,6%	3,285
1	1,014	0,714	3,6%	3,285

Sumber : Hasil analisis

Rumus yang digunakan untuk pembesaran momen torsi (A_x) : $(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}})^2$

Contoh perhitungan :

$$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} = 1,009$$

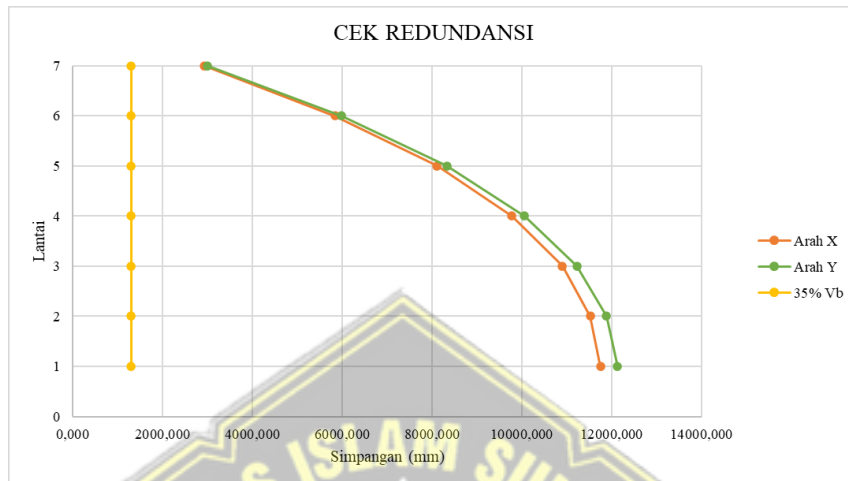
$$A_x = (\frac{1,009}{1,2})^2 = 0,707$$

$$\text{Rasio (\%)} = \text{Torsi tak terduga (SNI 1726 2019)} \times A_x = 5\% \times 0,707 = 3,5\%$$

$$\text{Eksentrisitas (Ecc)} = \text{Rasio} \times \text{Lebar struktur arah Y} = 3,5\% \times 32 = 3,252 \text{ m}$$

4.4.15. Cek Redundansi

Bangunan tersebut termasuk dalam kategori desain seismik D, sehingga menurut SNI 1726 2019 Pasal 7.3.4.2 memiliki redundansi sebesar 1.3. Namun, jika setiap level dapat menahan lebih dari 35% geser dasar pada arah yang sama, redundansinya bisa menjadi 1,0. Review harus mengikuti pedoman SNI 1726 2019 Tabel 15.



Gambar 4.21 Grafik Cek Redundansi

Sumber : Hasil analisis

Dari hasil analisis didapatkan masing – masing tingkat mulai dari lantai 1 sampai dengan lantai atap atau lantai 7 memiliki gaya geser yang lebih besar dari 35% gaya geser dasar seismik. Namun berdasarkan SNI 1726 2019 Tabel 15 karena struktur tidak mempunyai ketidakberaturan torsi 1b sehingga redundansi yang digunakan sebesar 1,0.

4.4.16. Cek Kapasitas Penampang Struktur

Tahap pertama sebelum melakukan pengecekan terhadap kapasitas penampang struktur adalah melakukan definisi terlebih dahulu terhadap *Load Combination* pada perangkat lunak Etabs. Kombinasi pembebanan untuk setiap elemen struktur diatur dalam SNI 1726 2019 Pasal 4.7. Berikut adalah kombinasi pembebanan yang digunakan untuk analisis struktur :

$S_{Ds} (g)$ = 0,6765 (Semarang, Tanah Lunak)

P = 1,3 (Faktor Redundansi)

U_1 = 1,4 DL

U_2 = 1,2 DL + 1,6 LL

U_3 = (1,2 + 0,2 S_{Ds}) DL + 1,0 LL + ρ Ex + 0,3 ρ Ey

U_4 = (1,2 + 0,2 S_{Ds}) DL + 1,0 LL + ρ Ex – 0,3 ρ Ey

$$\begin{aligned}
U5 &= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL - \rho Ex + 0,3 \rho Ey \\
U6 &= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL - \rho Ex - 0,3 \rho Ey \\
U7 &= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL + 0,3 \rho Ex + \rho Ey \\
U8 &= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL - 0,3 \rho Ex + \rho Ey \\
U9 &= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL + 0,3 \rho Ex - \rho Ey \\
U10 &= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL - 0,3 \rho Ex - \rho Ey \\
U11 &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + \rho Ex + 0,3 \rho Ey \\
U12 &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + \rho Ex - 0,3 \rho Ey \\
U13 &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - \rho Ex + 0,3 \rho Ey \\
U14 &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - \rho Ex - 0,3 \rho Ey \\
U15 &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + 0,3 \rho Ex + \rho Ey \\
U16 &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - 0,3 \rho Ex + \rho Ey \\
U17 &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + 0,3 \rho Ex - \rho Ey \\
U18 &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - 0,3 \rho Ex - \rho Ey
\end{aligned}$$

Dengan emnggunakan nilai S_{DS} dan ρ , menghasilkan perhitungan *Load Combination* yang akan digunakan dapat dilihat dalam Tabel 4.38.

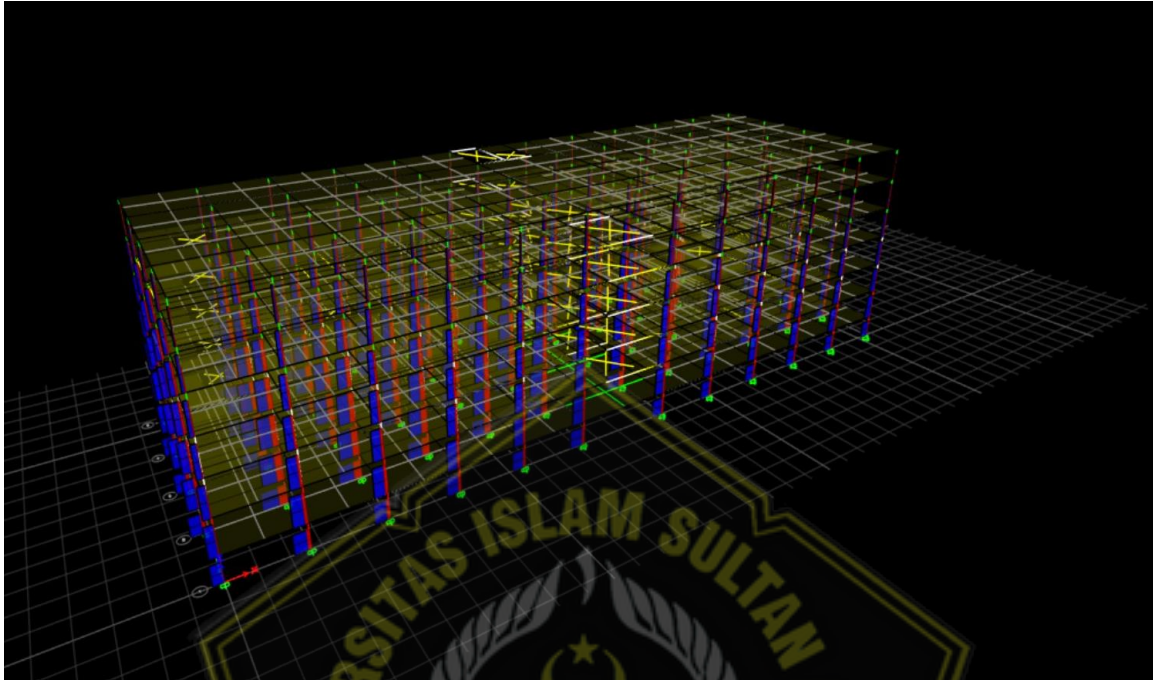
Tabel 4.38. Kombinasi Pembebanan

U1	1,4	DL									
U2	1,2	DL	+	1,6	LL						
U3	1,335	DL	+	1	LL	+	1,3	Ex	+	0,39	Ey
U4	1,335	DL	+	1	LL	+	1,3	Ex	-	0,39	Ey
U5	1,335	DL	+	1	LL	-	1,3	Ex	+	0,39	Ey
U6	1,335	DL	+	1	LL	-	1,3	Ex	-	0,39	Ey
U7	1,335	DL	+	1	LL	+	0,39	Ex	+	1,3	Ey
U8	1,335	DL	+	1	LL	-	0,39	Ex	+	1,3	Ey
U9	1,335	DL	+	1	LL	+	0,39	Ex	-	1,3	Ey
U10	1,335	DL	+	1	LL	-	0,39	Ex	-	1,3	Ey
U11	0,765	DL				+	1,3	Ex	+	0,39	Ey
U12	0,765	DL				+	1,3	Ex	-	0,39	Ey
U13	0,765	DL				-	1,3	Ex	+	0,39	Ey
U14	0,765	DL				-	1,3	Ex	-	0,39	Ey
U15	0,765	DL				+	0,39	Ex	+	1,3	Ey
U16	0,765	DL				-	0,39	Ex	+	1,3	Ey
U17	0,765	DL				+	0,39	Ex	-	1,3	Ey
U18	0,765	DL				-	0,39	Ex	-	1,3	Ey

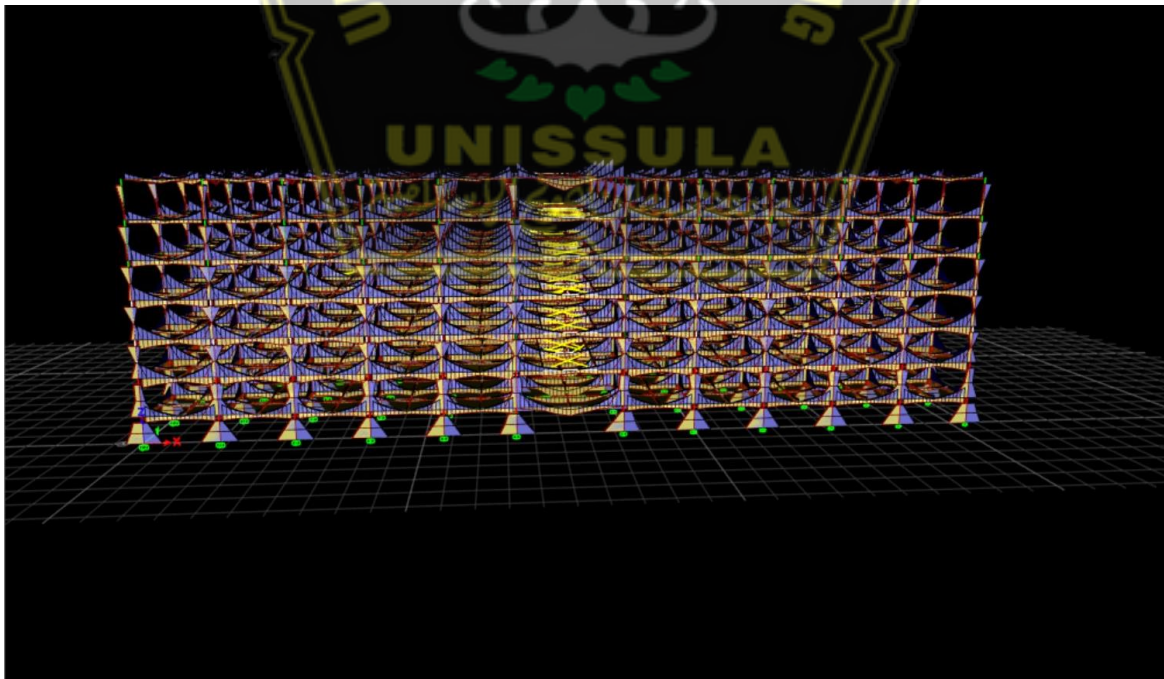
Sumber : Hasil Analisis

Kombinasi pembebanan yang telah dianalisis digunakan untuk mencari nilai gaya – gaya dalam pada struktur.

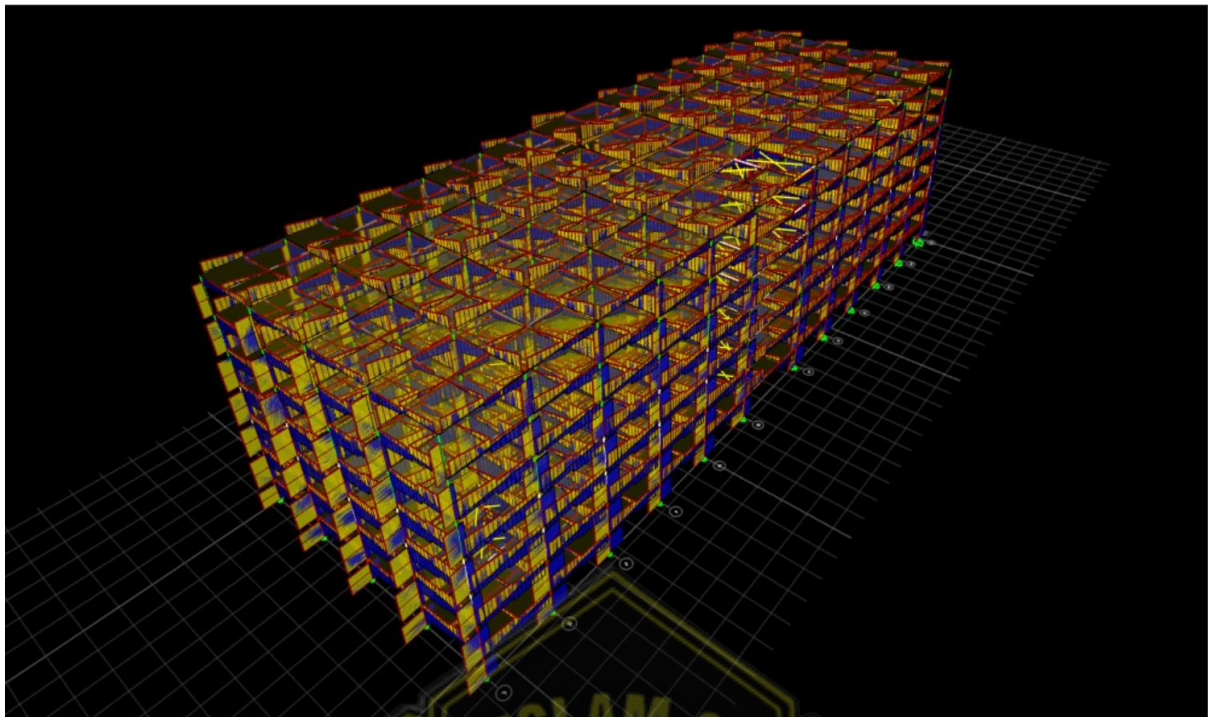
1. Gaya – Gaya Dalam Struktur



Gambar 4.22. Diagram Aksial Kombinasi *Envelope*
Sumber : Hasil Analisis

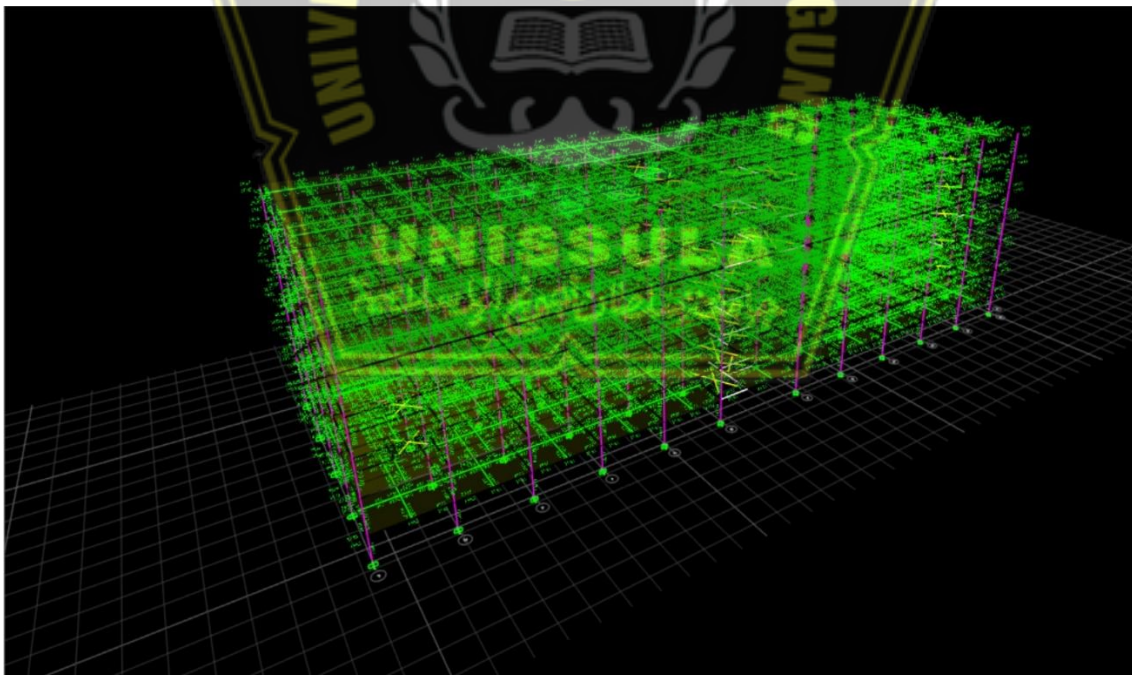


Gambar 4.23. Diagram Gaya Momen Kombinasi *Envelope*
Sumber : Hasil Analisis

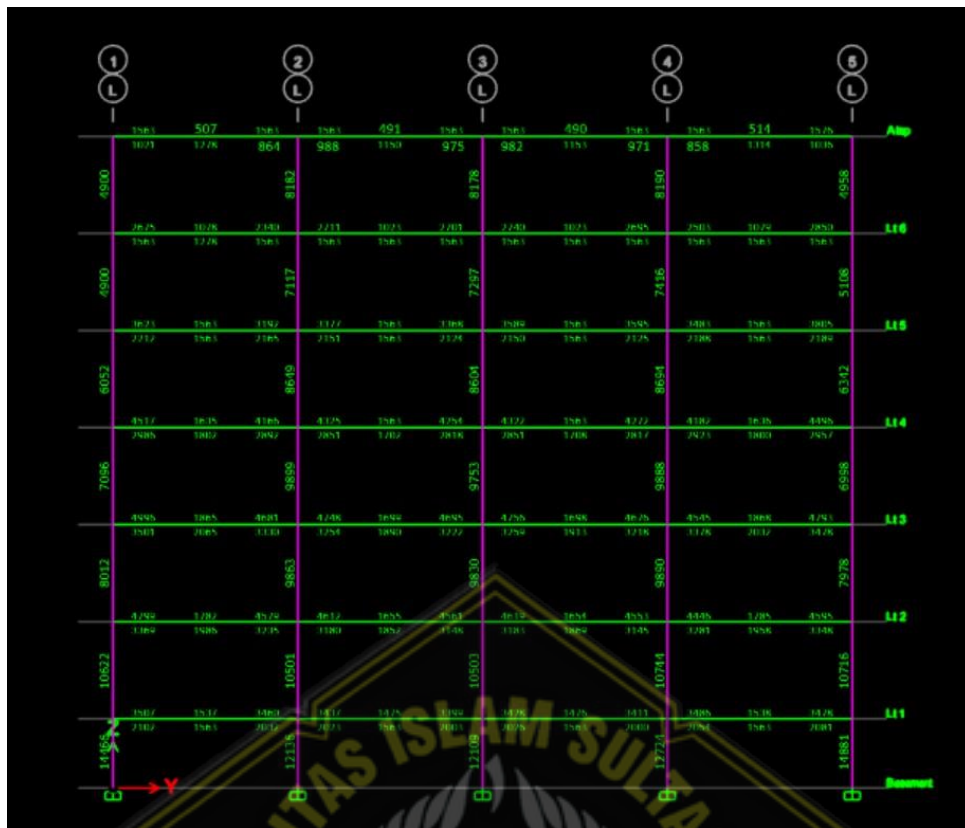


Gambar 4.24. Diagram Gaya Geser Kombinasi *Envelope*
Sumber : Hasil Analisis

2. Rasio Kapasitas Beton



Gambar 4.25. Rasio Kapasitas Beton Akibat Beban Tetap Secara Tiga Dimensi
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.26 Rasio Kapasitas Beton Akibat Beban Tetap Secara Dua Dimensi
Sumber : Hasil Analisis

4.4.16.1 Cek Kapasitas Penampang Balok

Sistem penahan gaya gempa yang dijelaskan dalam SNI 2847 2019 pasal 18.6.1.1, termasuk balok sistem rangka tahan momen khusus yang pada prinsipnya dibuat untuk menahan lentur geser dan memiliki batasan dimensi yang tercantum dalam pasal 18.6.2.1. Balok harus memenuhi :

- Bentang bersih ℓ_n , harus minimal $4d$
- Lebar penampang b_w , harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm
- Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing – masing sisi kolom

Tabel 4.39. Kapasitas Penampang Balok

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang Balok, L			Input	mm	8000
Lebar Balok, b			Input	mm	400
Tinggi Balok, h			Input	mm	700
Panjang Tumpuan	21,5,3,1	18,6,4,1	2 * h	mm	1400
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b			Input	mm	19
Diameter Tulangan Pinggang, d _{bt}			Input	mm	13
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Input	mm	13
Selimit Bersih, c _c			Input	mm	30
Tinggi Efektif Balok, d			h - c _c - d _s - d _b /2	mm	647,5
Kuat Tekan Beton, f _c '			Input	MPa	20,75
Kuat Leleh Tul, Longitudinal, f _y			Input	MPa	420
Kuat Leleh Tul, Transversal, f _y			Input	MPa	420
β ₁	10,2,7,3	Tabel 22,2,2,4,3	0,65 <= 0,85 - 0,05 * (f _c ' - 28) / 7 <= 0,85		0,8500
Panjang Kolom, c ₁			Input (Sisi tegak lurus lebar balok)	mm	800
Lebar Kolom, c ₂			Input (Sisi yang ditempel balok/sejajar lebar balok)	mm	800
L _n			L - c ₁	mm	7200
λ			Asumsi tidak menggunakan beton ringan		1
Gaya Dalam					
M _{u,tumpuan} (-)			Input	kN-m	-763,013
M _{u,tumpuan} (+)			Input	kN-m	481,6568
M _{u,lapangan} (-)			Input	kN-m	-352,672
M _{u,lapangan} (+)			Input	kN-m	333,1835
P _u			Input	kN	0
Syarat Gaya dan Geometri					
Syarat Gaya Aksial	21,5,1,1	Tidak dipersyaratkan, Baca R18,6,1 dan 18,6,4,7	P _u <= 0,1 A _g f _c ' ?		OK
Syarat Tinggi Efektif	21,5,1,2	18,6,2,1	L _n >= 4d ?		OK
Syarat Lebar 1	21,5,1,3	18,6,2,1	b >= min(0,3h, 250 mm) ?		OK
Syarat Lebar 2	21,5,1,4	18,6,2,1	b <= c ₂ + 2 * min(c ₂ , 0,75 c ₁) ?		OK

Sumber : Hasil Analisis

4.4.16.2 Cek Kapasitas Penampang Kolom

Sistem penahan gaya gempa yang dijelaskan dalam SNI 2847 2019 Pasal 18.7.1.1, meliputi kolom dengan rangka penahan momen tertentu yang terutama dibuat untuk menangani gaya lentur, geser, dan aksial. Kolom harus mematuhi batasan dimensi yang dinyatakan dalam pasal 18.7.2.1.

- Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm
- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0,4

Tabel 4.40. Kapasitas Penampang Kolom 60x60

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang/Tinggi Kolom, L			Input	mm	4200
Sisi Pendek Kolom, b			Input	mm	600
Sisi Panjang Kolom, h			Input	mm	600
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b			Input	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Input	mm	10
Selinit Bersih, c _c			Input	mm	40
Kuat Tekan Beton, f _c '			Input	MPa	20,75
Kuat Leleh Baja Tulangan, f _y			Input	MPa	420
Tinggi Balok, hb			Input	mm	700
L _n			L - hb	mm	3500
Syarat Gaya dan Geometri					
Syarat Gaya Aksial	21.6.1	Tidak dipersyaratkan. Baca R18.7.1	Pu > 0.1 Ag f _c ' ?		OK
Syarat Sisi Terpendek	21.6.1.1	18.7.2.1	b >= 300 mm ?		OK
Syarat Rasio Dimensi Penampang	21.6.1.2	18.7.2.1	b/h >= 0.4 ?		OK
Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll.)					
Jumlah Tulangan, n			Input		20
Luas Tulangan Longitudinal, A _s			n *π/4 *d _b ²	mm ²	7602,7
Rasio Tulangan, ρ			As / (b * h)		2,11%
Cek ρ _{min} dan ρ _{max}	21.6.3.1	18.7.4.1	1% <= ρ <= 6%		OK

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.41. Kapasitas Penampang Kolom 70x70

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang/Tinggi Kolom, L			Input	mm	4200
Sisi Pendek Kolom, b			Input	mm	700
Sisi Panjang Kolom, h			Input	mm	700
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b			Input	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Input	mm	10
Selimit Bersih, c _c			Input	mm	40
Kuat Tekan Beton, f _c '			Input	MPa	20,75
Kuat Leleh Baja Tulangan, f _y			Input	MPa	420
Tinggi Balok, hb			Input	mm	700
L _n			L - hb	mm	3500
Syarat Gaya dan Geometri					
Syarat Gaya Aksial	21.6.1	Tidak dipersyaratkan. Baca R18.7.1	P _u > 0.1 A _g f _c ' ?		OK
Syarat Sisi Terpendek	21.6.1.1	18.7.2.1	b >= 300 mm ?		OK
Syarat Rasio Dimensi Penampang	21.6.1.2	18.7.2.1	b/h >= 0.4 ?		OK
Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll.)					
Jumlah Tulangan, n			Input		20
Luas Tulangan Longitudinal, A _s			n *π/4 *d _b ²	mm ²	7602,7
Rasio Tulangan, ρ			A _s / (b * h)		1,55%
Cek ρ _{min} dan ρ _{max}	21.6.3.1	18.7.4.1	1% <= ρ <= 6%		OK

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.42. Kapasitas Penampang Kolom 75x75

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang/Tinggi Kolom, L			Input	mm	4200
Sisi Pendek Kolom, b			Input	mm	750
Sisi Panjang Kolom, h			Input	mm	750
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b			Input	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Input	mm	10
Selimit Bersih, c _c			Input	mm	40
Kuat Tekan Beton, f _c '			Input	MPa	20,75
Kuat Leleh Baja Tulangan, f _y			Input	MPa	420
Tinggi Balok, hb			Input	mm	700
L _n			L - hb	mm	3500
Syarat Gaya dan Geometri					
Syarat Gaya Aksial	21.6.1	Tidak dipersyaratkan. Baca R18.7.1	Pu > 0.1 A _g f _c ' ?		OK
Syarat Sisi Terpendek	21.6.1.1	18.7.2.1	b >= 300 mm ?		OK
Syarat Rasio Dimensi Penampang	21.6.1.2	18.7.2.1	b/h >= 0.4 ?		OK
Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll.)					
Jumlah Tulangan, n			Input		20
Luas Tulangan Longitudinal, A _s			n *π/4 *d _b ²	mm ²	7602,7
Rasio Tulangan, ρ			A _s / (b * h)		1,35%
Cek ρ _{min} dan ρ _{max}	21.6.3.1	18.7.4.1	1% <= ρ <= 6%		OK

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.43. Kapasitas Penampang Kolom 80x80

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang/Tinggi Kolom, L			Input	mm	4200
Sisi Pendek Kolom, b			Input	mm	800
Sisi Panjang Kolom, h			Input	mm	800
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b			Input	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Input	mm	10
Selinit Bersih, c _c			Input	mm	40
Kuat Tekan Beton, f _c '			Input	MPa	20,75
Kuat Leleh Baja Tulangan, f _y			Input	MPa	420
Tinggi Balok, hb			Input	mm	700
L _n			L - hb	mm	3500
Syarat Gaya dan Geometri					
Syarat Gaya Aksial	21.6.1	Tidak dipersyaratkan. Baca R18.7.1	$P_u > 0.1 A_g f_c' ?$		OK
Syarat Sisi Terpendek	21.6.1.1	18.7.2.1	$b \geq 300 \text{ mm} ?$		OK
Syarat Rasio Dimensi Penampang	21.6.1.2	18.7.2.1	$b/h \geq 0.4 ?$		OK
Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll.)					
Jumlah Tulangan, n			Input		20
Luas Tulangan Longitudinal, A _s			$n * \pi/4 * d_b^2$	mm ²	7602,7
Rasio Tulangan, ρ			$A_s / (b * h)$		1,19%
Cek ρ _{min} dan ρ _{max}	21.6.3.1	18.7.4.1	$1\% \leq \rho \leq 6\%$		OK

Sumber : Hasil Analisis

4.5. Pushover

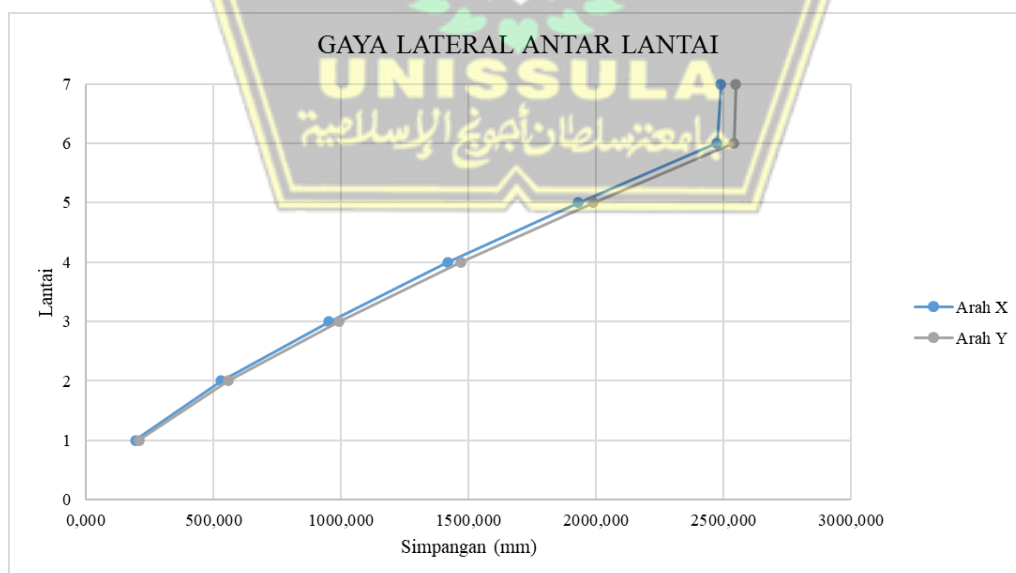
4.5.1. Pembebanan Gravitasi

Pembebanan gravitasi harus dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan pembebanan dorong. Beban gravitasi memberikan pengaruh cukup besar terhadap perilaku struktur utama akibat efek P – Delta dan beban gempa. Beban gravitasi yang digunakan ketentuannya diatur dalam SNI 1726 2019 Pasal 7.7.2 sebagai berikut :

1. Di tempat parkir umum, beban tidak perlu termasuk dalam berat efektif seismik serta beban lantai hidup di bagian yang digunakan untuk penyimpanan yang membentuk setidaknya 25% dari beban lantai hidup, kecuali jika beban penyimpanan mewakili tidak lebih dari 5 % dari berat gempa efektif pada level tersebut. dan struktur parkir terbuka tidak diharuskan hadir.
2. Bobot partisi aktual terbesar atau bobot luas lantai minimum $0,48 \text{ kN/m}^2$ digunakan jika kelonggaran partisi diperlukan dalam desain beban lantai.
3. Berat operasional total dari peralatan yang permanen.
4. Berat lanskap dan beban lainnya pada taman atap dan area sejenisnya.

4.5.2. Pembebanan Dorong

Pembebanan dilakukan dengan cara melanjutkan pembebanan gravitasi dan menghitung parameter P – Delta.

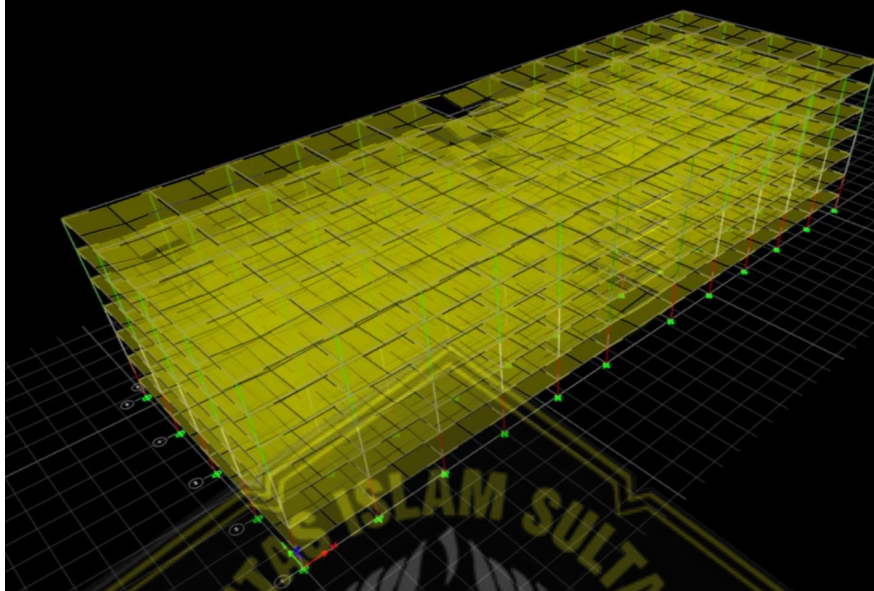


Gambar 4.27. Distribusi Beban Dorong Analisis Statik Non Linear

Sumber : Hasil Analisis

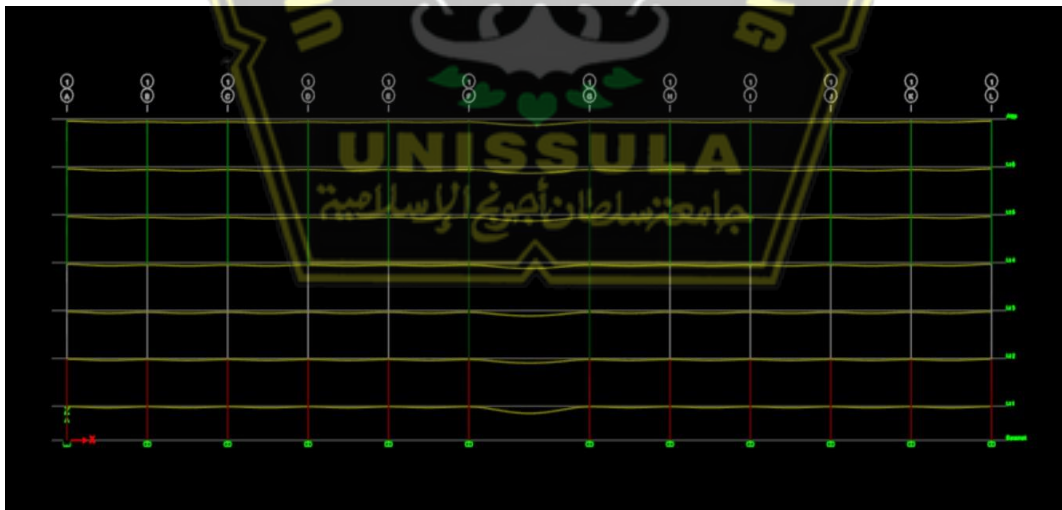
4.5.3. Hasil Analisis Statik Non Linear (Pushover)

Hasil analisis statik non linear atau *Pushover* merupakan kurva kapasitas dari struktur untuk masing – masing arah beban dorong yang diberikan. Adapun hal yang perlu diperhatikan yaitu saat melakukan pembebanan gravitasi, tidak boleh terjadi sendi plastis pada elemen.

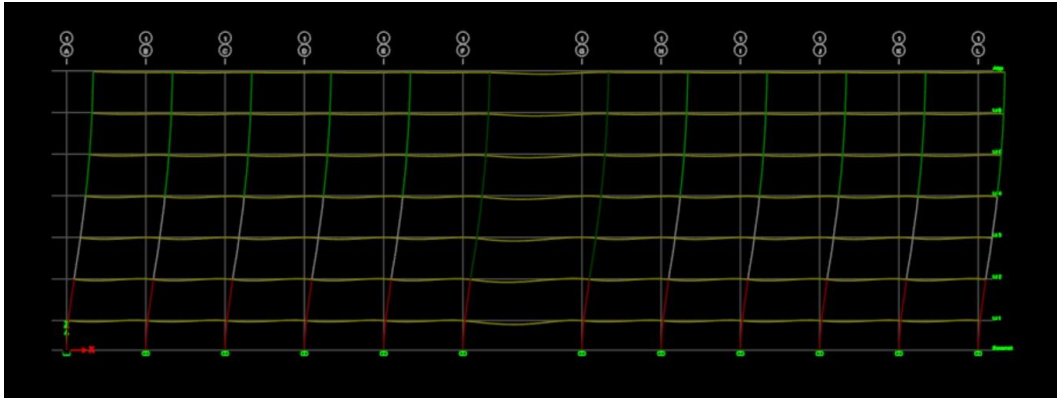


Gambar 4.28. Kondisi Awal Struktur Akibat Beban Gravitasi Tiga Dimensi
Sumber : Hasil Analisis

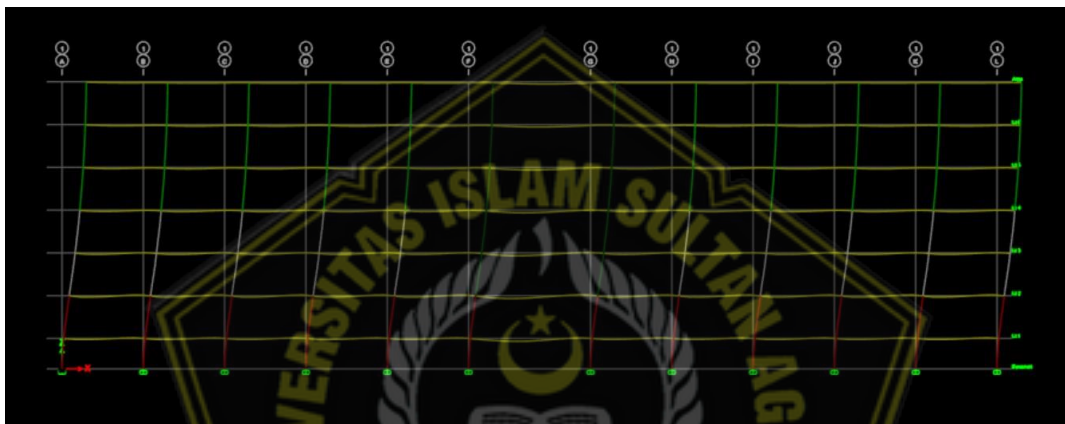
4.5.3.1. Hasil Analisis *Pushover* Arah X



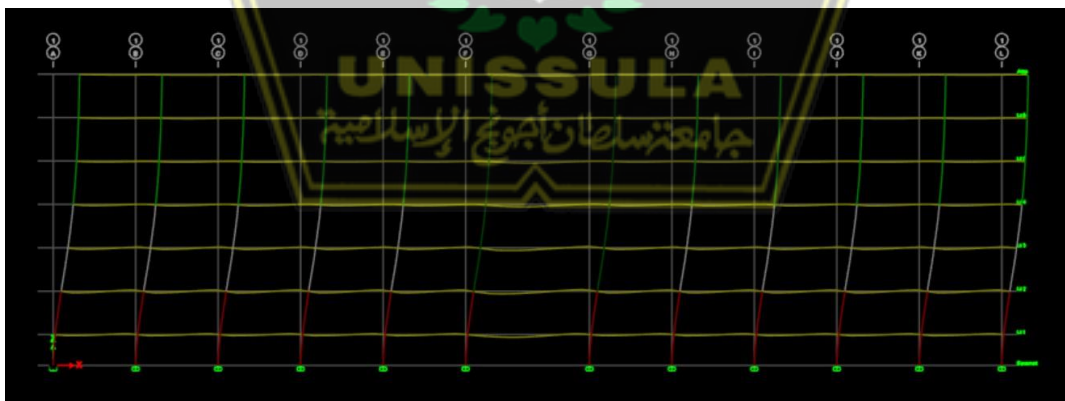
Gambar 4.29. Kondisi Awal Struktur Akibat Beban Gravitasi
Sumber : Hasil Analisis



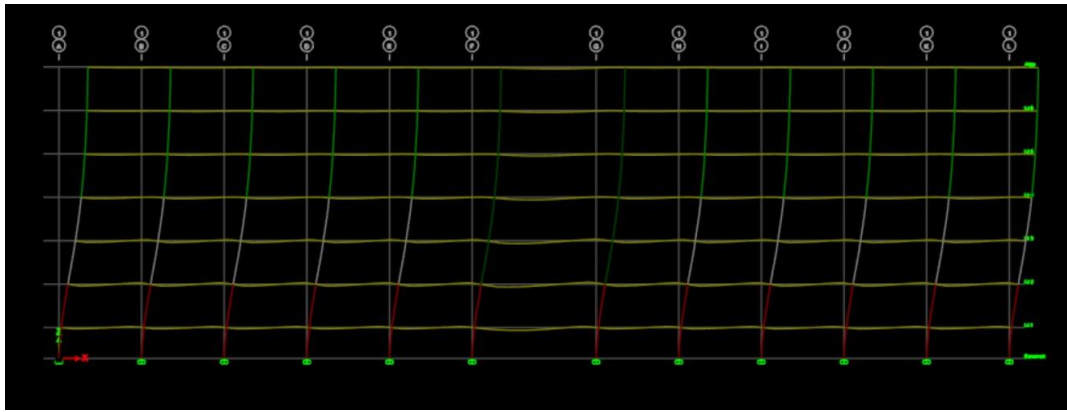
Gambar 4.30. Hasil *Pushover* Tahap 1
Sumber : Hasil Analisis



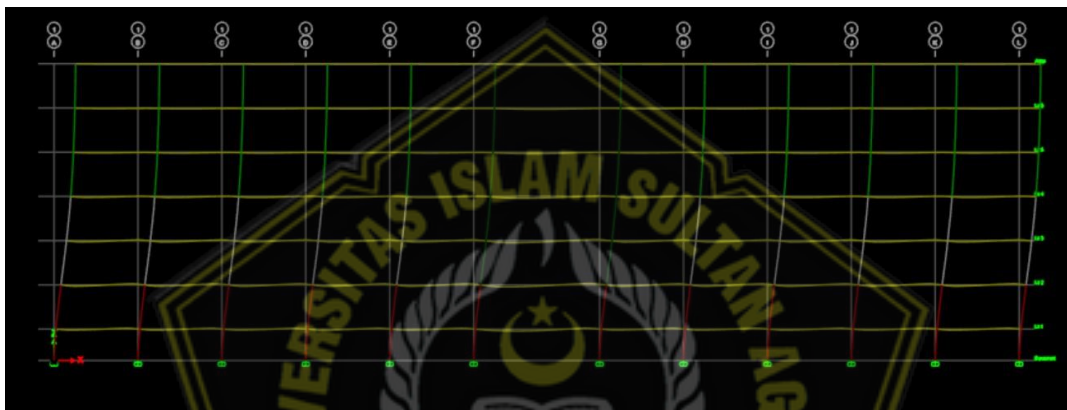
Gambar 4.31. Hasil *Pushover* Tahap 2
Sumber : Hasil Analisis



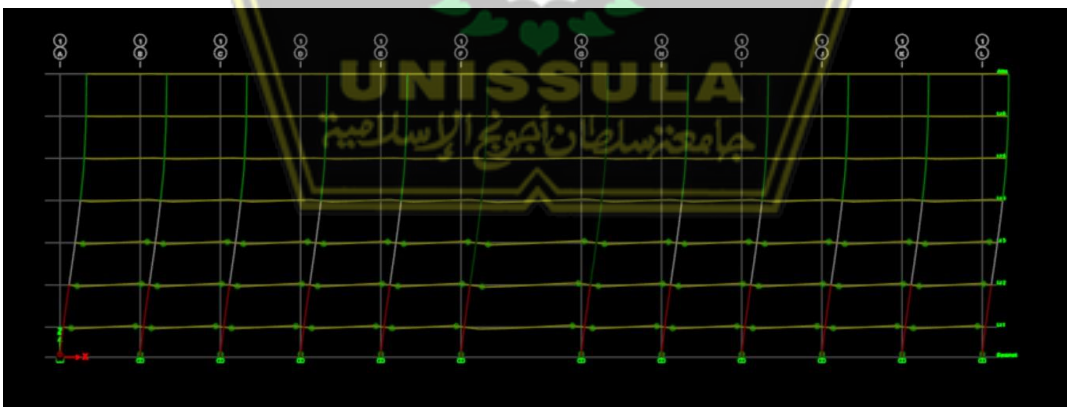
Gambar 4.32. Hasil *Pushover* Tahap 3
Sumber : Hasil Analisis



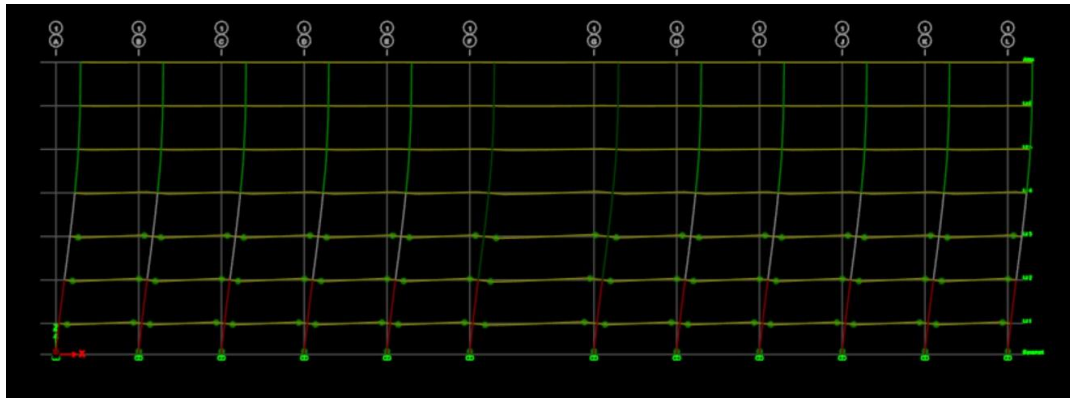
Gambar 4.33. Hasil *Pushover* Tahap 4
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.34. Hasil *Pushover* Tahap 5
Sumber : Hasil Analisis

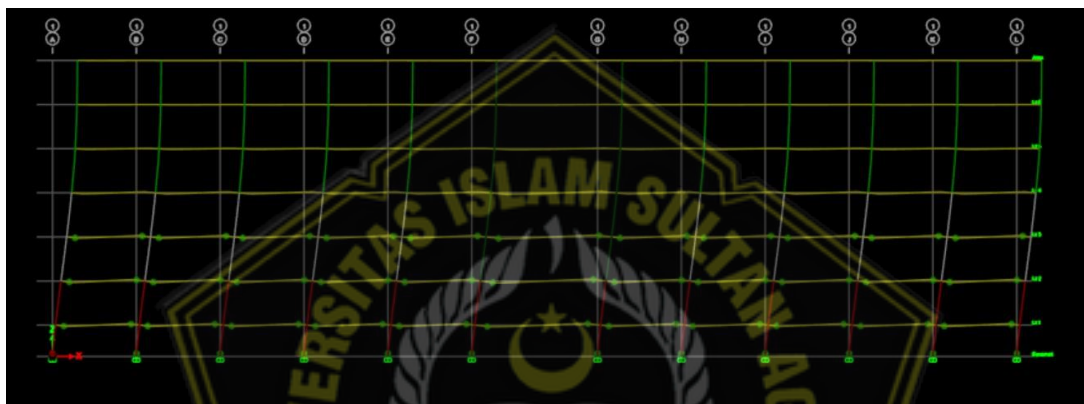


Gambar 4.35. Hasil *Pushover* Tahap 11
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.36. Hasil *Pushover* Tahap 15

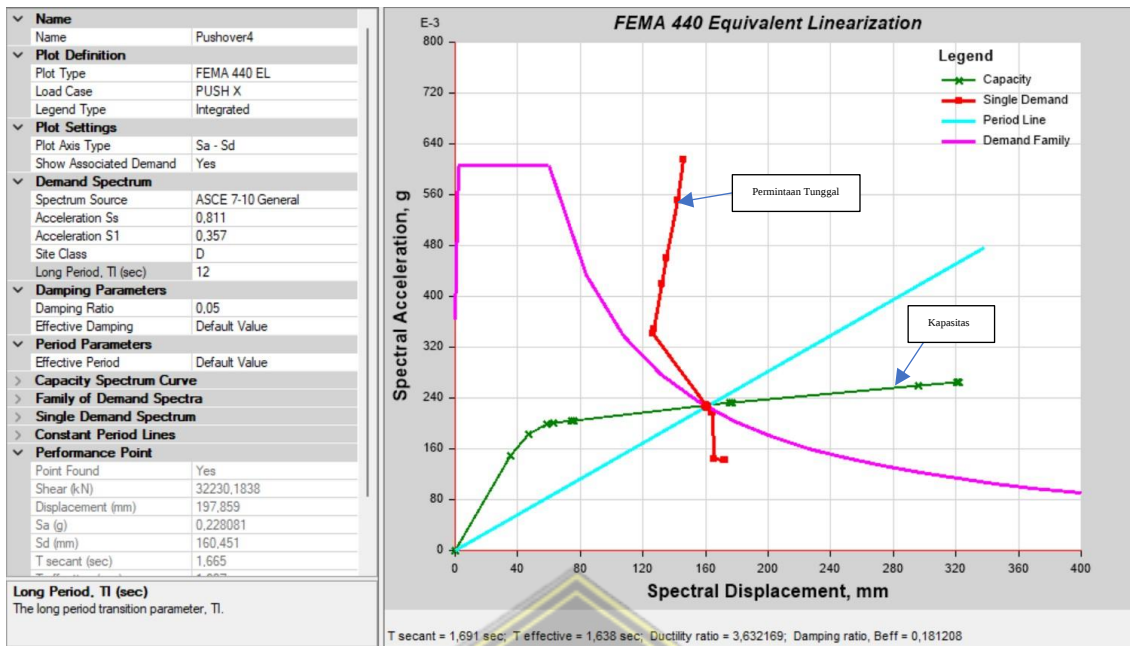
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.37. Hasil *Pushover* Tahap 18 (Akhir)

Sumber : Hasil Analisis

Hasil analisis *pushover* memberikan gambaran bahwa sendi plastis pertama terjadi pada balok lantai 1 sampai dengan lantai 3, pelelehan pertama terjadi pada gambar 4.35 pada hasil *Pushover* tahap 11. Hasil analisis *pushover* arah X dapat dikatakan aman jika garis kapasitas bersinggungan dengan garis permintaan tunggal yang didapat pada analisis *static pushover curve* pada tipe FEMA 440 EL.



Gambar 4.38. Static Pushover Curve Tipe FEMA 440 EL Arah X

Sumber : Hasil Analisis

Dari Gambar 4.38 maka *pushover* arah X aman, karena garis permintaan tunggal bersinggungan dengan garis kapasitas.

Pada *performance level* atau level kinerja struktur pada tabel 4.44 *pushover* arah X tergolong pada level performa *damage control* yang didapat dari :

Tabel 4.44. Level Kinerja Struktur

PERFORMANCE LEVEL				
INTERSTORY DRIFT LIMIT	IMMEDIATE OCCUPANCY	DAMAGE CONTROL	LIFE SAFETY	STRUCTURAL STABILITY
MAXIMUM TOTAL DRIFT	0,01	0,01 - 0,02	0,02	0,33 Vi/Pi
MAXIMUN INELASTIC DRIFT	0,005	0,005 - 0,015	no limit	no limit

Sumber : ATC-40

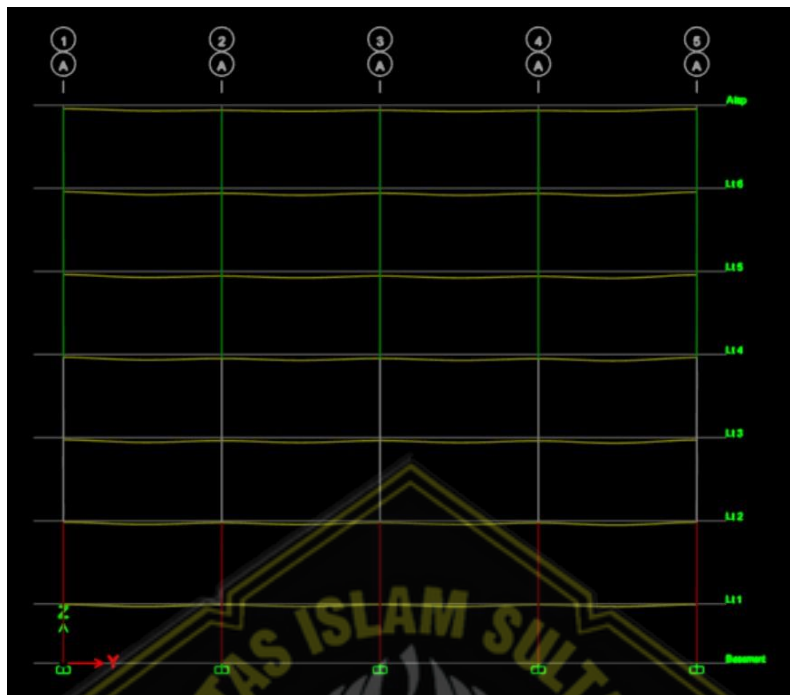
Dengan perhitungan yang dijabarkan sebagai berikut :

Rasio = *Control Displacement* / Tinggi Struktur

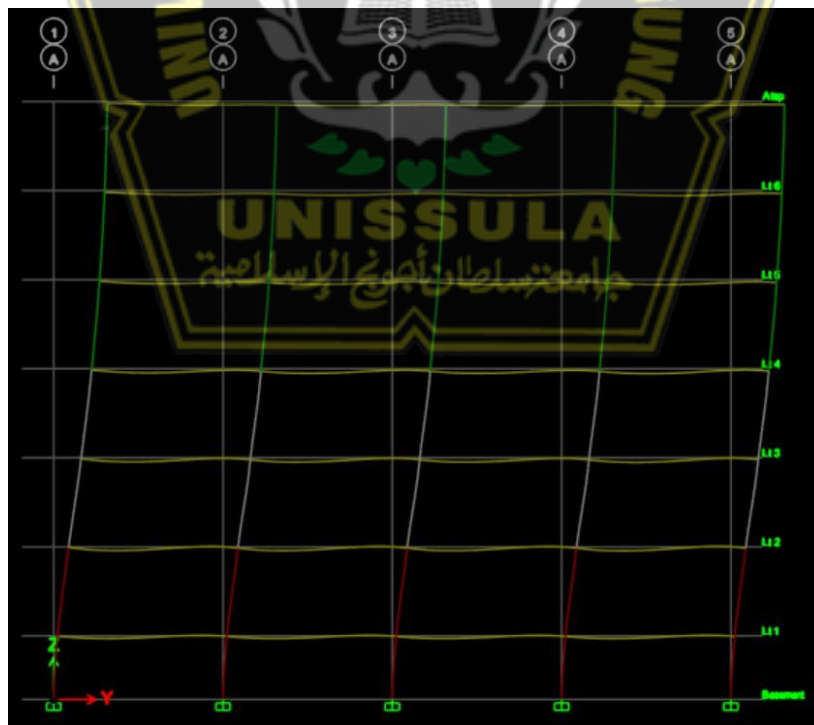
$$= 395,599 / 28200$$

$$= 0,014 \text{ (Damage Control)}$$

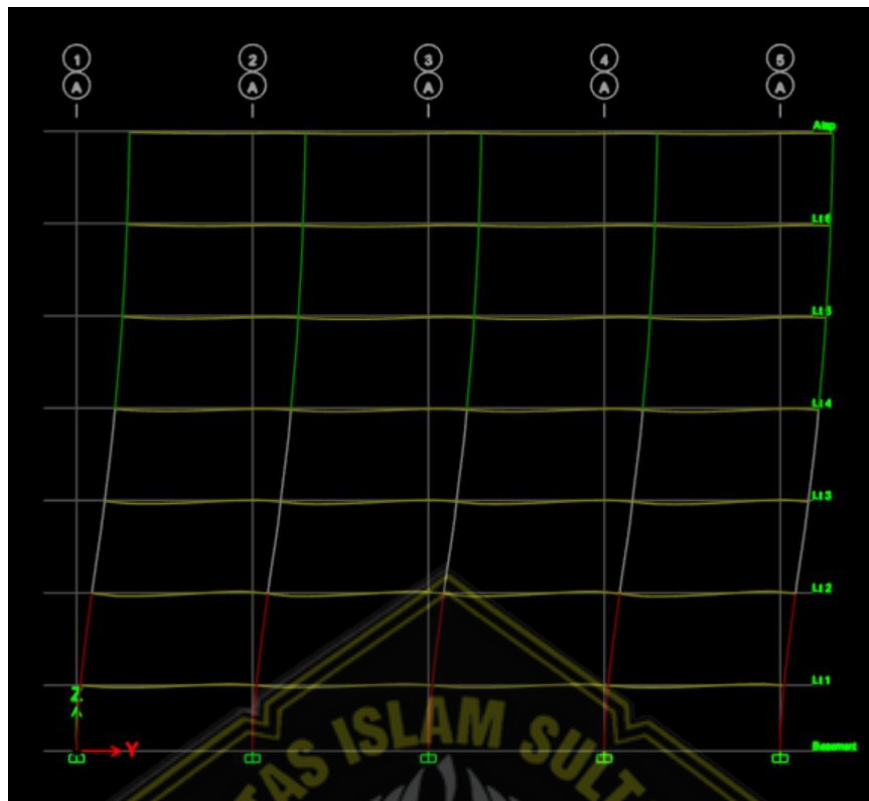
4.5.3.2. Hasil Analisis *Pushover* Arah Y



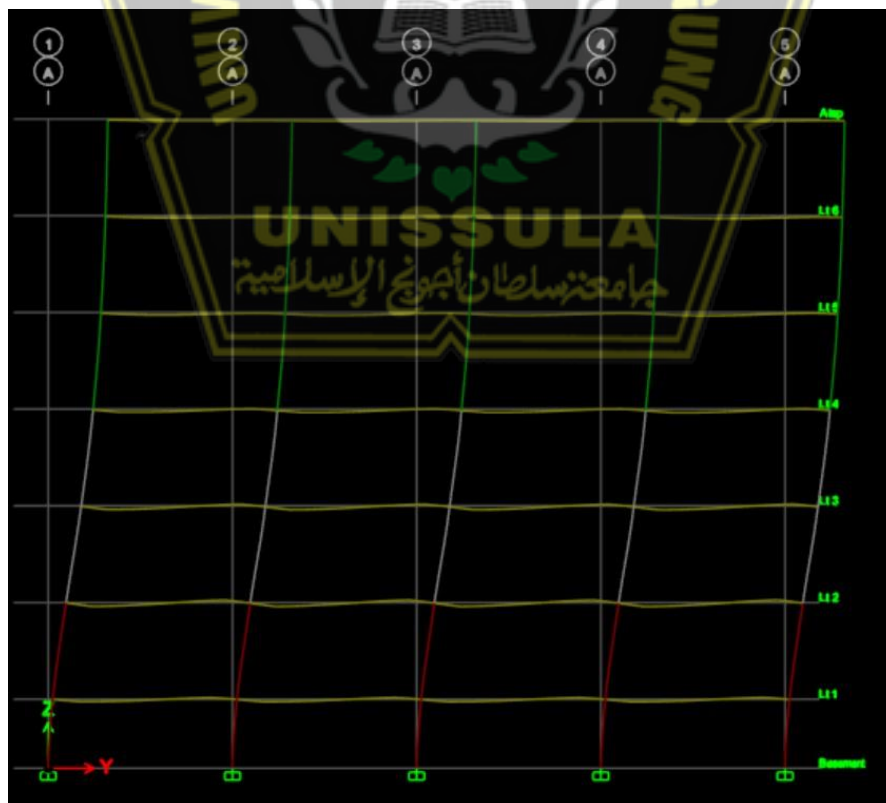
Gambar 4.39. Kondisi Awal Struktur Akibat Beban Gravitasi
Sumber : Hasil Analisis



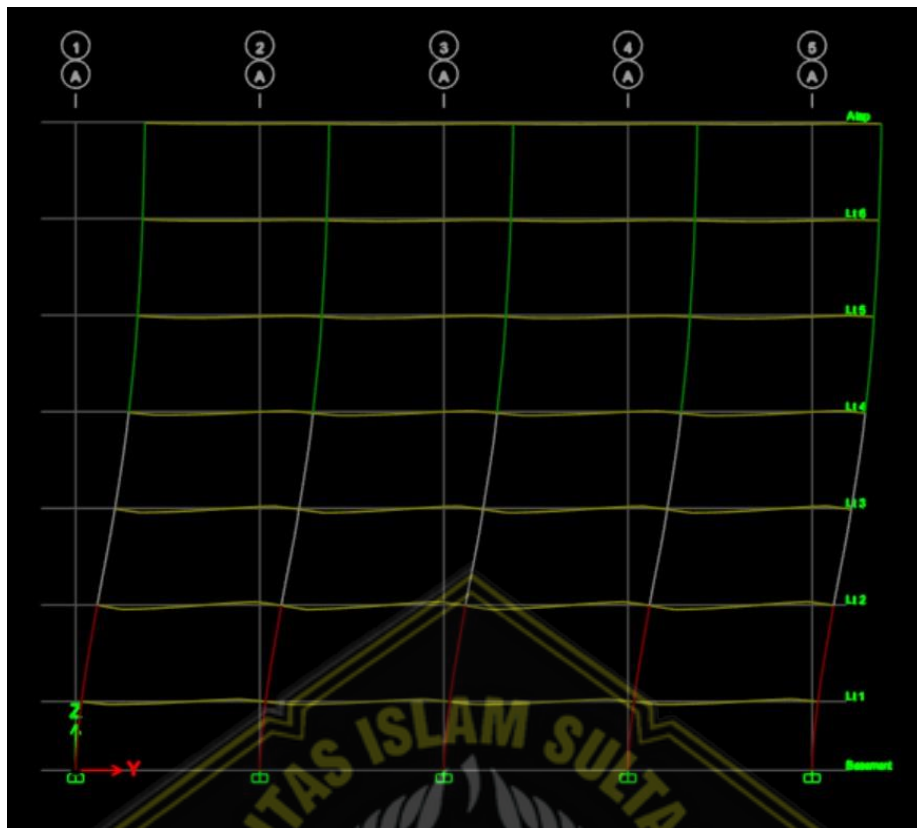
Gambar 4.40. Hasil *Pushover* Tahap 1
Sumber : Hasil Analisis



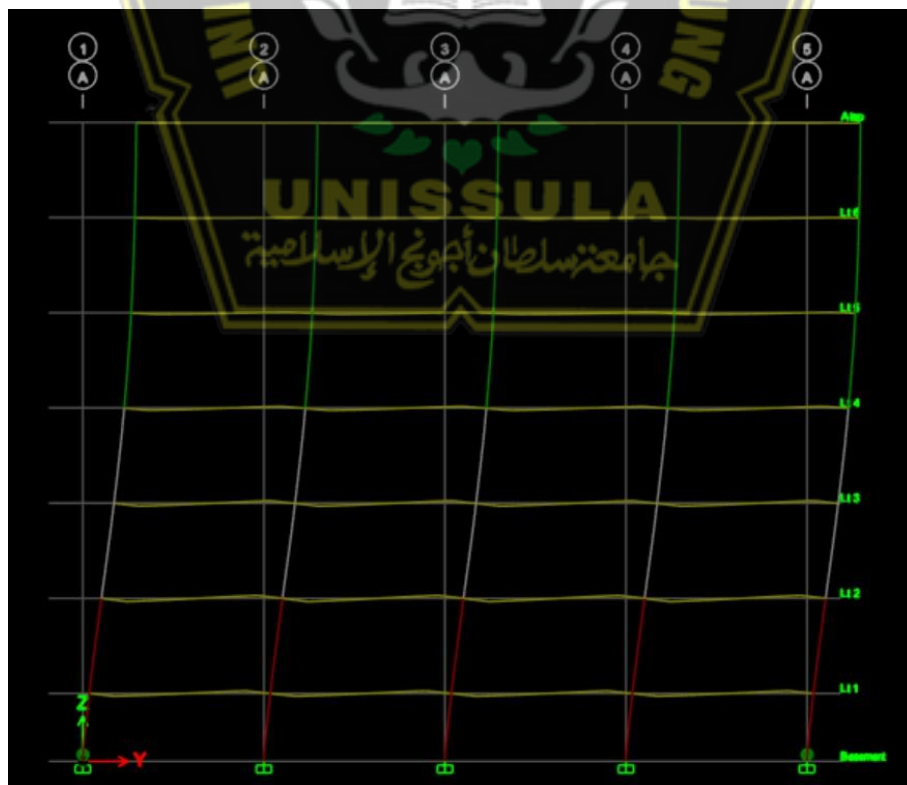
Gambar 4.41. Hasil *Pushover* Tahap 2
Sumber : Hasil Analisis



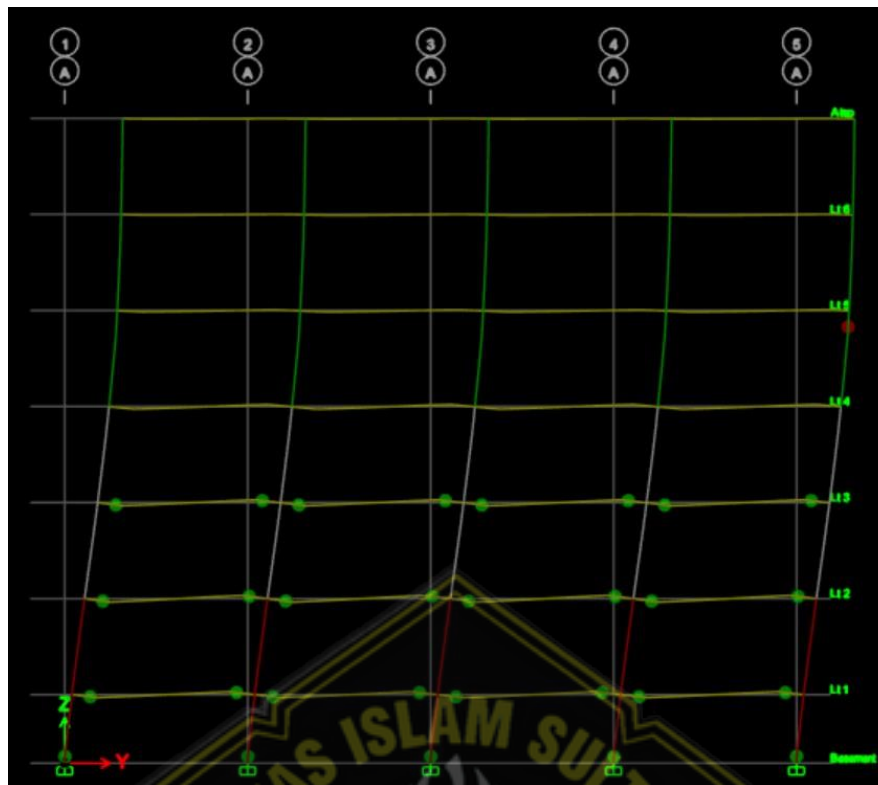
Gambar 4.42. Hasil *Pushover* Tahap 3
Sumber : Hasil Analisis



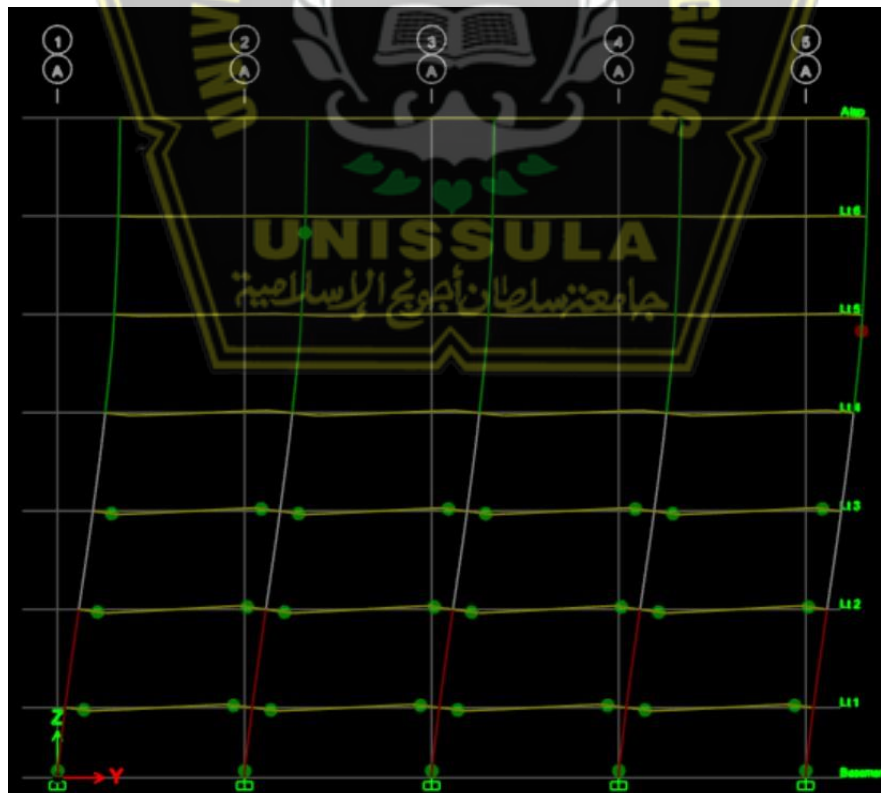
Gambar 4.43. Hasil *Pushover* Tahap 4
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.44. Hasil *Pushover* Tahap 10
Sumber : Hasil Analisis

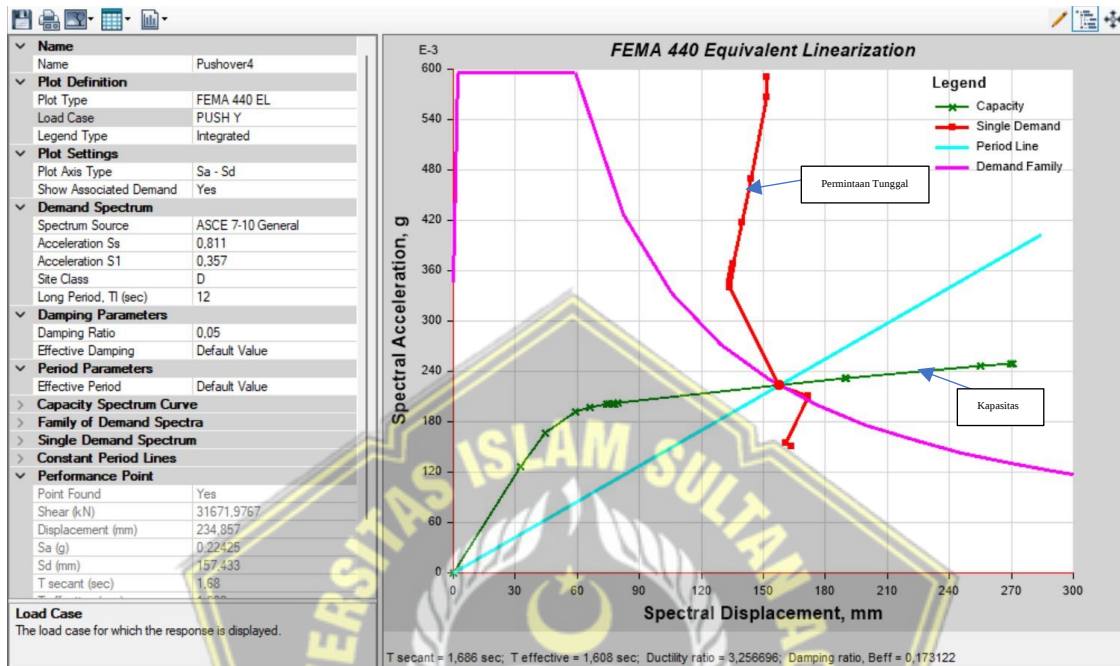


Gambar 4.45. Hasil *Pushover* Tahap 13
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.46. Hasil *Pushover* Tahap 18 (Akhir)
Sumber : Hasil Analisis

Hasil analisis *pushover* memberikan gambaran bahwa sendi plastis pertama terjadi pada balok lantai 1 sampai dengan lantai 3, pelelehan pertama terjadi pada gambar 4.45 pada hasil *Pushover* tahap 13. Hasil analisis *pushover* arah Y dapat dikatakan aman jika garis kapasitas bersinggungan dengan garis permintaan tunggal yang didapat pada analisis *static pushover curve* pada tipe FEMA 440 EL.



Gambar 4.47. Static Pushover Curve Tipe FEMA 440 EL Arah Y

Sumber : Hasil Analisis

Dari Gambar 4.47 maka *pushover* arah Y aman, karena garis permintaan tunggal bersinggungan dengan garis kapasitas.

Pada *performance level* atau level kinerja struktur pada tabel 4.45 *pushover* arah Y tergolong pada level performa *damage control* yang didapat dari :

Tabel 4.45. Level Kinerja Struktur

PERFORMANCE LEVEL				
INTERSTORY DRIFT LIMIT	IMMEDIATE OCCUPANCY	DAMAGE CONTROL	LIFE SAFETY	STRUCTURAL STABILITY
MAXIMUM TOTAL DRIFT	0,01	0,01 - 0,02	0,02	0,33 Vi/Pi
MAXIMUN INELASTIC DRIFT	0,005	0,005 - 0,015	no limit	no limit

Sumber : ATC-40

Dengan perhitungan yang dijabarkan sebagai berikut :

Rasio = *Control Displacement* / Tinggi Struktur

$$= 382,794 / 28200$$

$$= 0,014 \text{ (Damage Control)}$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian lapangan struktur eksisting yang meliputi pengujian visual, pengujian *Rebound Hammer*, pengujian *Rebar Detector* serta telah dilakukan analisa struktur eksisting, maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Secara visual struktur mengalami kerusakan ringan dan berat, namun tidak ada perubahan ataupun deformasi elemen struktur yang signifikan atau membahayakan struktur, terutama bangunan utama.
2. Gambar *As Build Drawing* tidak lengkap, sehingga pendimensian penampang menggunakan hasil pengukuran lapangan.
3. Material beton eksisting di beberapa tempat memiliki mutu beton rendah, namun secara garis besar masih baik, mempunyai kuat tekan sesuai standar struktur berdasarkan hasil *Hammer Test*.
4. Kemampuan layan struktur meliputi analisa struktur terhadap beban dinamik (gempa), simpangan antar lantai, analisa P-Delta, ketidakberaturan struktur horizontal dan vertikal, serta analisa cek penampang struktur dapat disimpulkan aman karena sudah memenuhi syarat sesuai acuan yang tertera pada SNI 1726 2019 dan SNI 2847 2019.
5. Hasil analisa *non-linier static (Pushover)* bangunan untuk arah X dan arah Y berada pada level *Damage Control*. Pada hasil analisa *non-linier static (Pushover)* pada arah Y terdapat hasil yang kurang aman yaitu pada kolom lantai 4, namun secara keseluruhan hasil analisa *non-linier static* dapat dikatakan aman.
6. Secara garis besar struktur bangunan Johar *Shopping Center* memiliki hasil analisa yang aman sehingga bangunan ini masih layak untuk digunakan.

5.2. Saran

Berdasar pada hasil pengujian serta analisis struktur yang telah dilakukan dan dikaji, di dalam pengujian ini disarankan sebagai berikut :

1. Berdasarkan pengamatan visual terdapat kerusakan struktur ringan maupun berat, walaupun tidak mengalami deformasi elemen struktur, alangkah lebih baik jika tetap dilakukan perbaikan agar tidak menjadi kerusakan total struktur pada bangunan *Johar Shopping Center* di kemudian hari.
2. Perlu dibuat kembali atau dilengkapinya gambar *As Build Drawing*, agar memudahkan jika dilakukannya renovasi maupun perbaikan bangunan.
3. Berdasarkan hasil evaluasi struktur eksisting ada beberapa elemen kolom pada lantai 4 diperlukan perkuatan kolom, disarankan untuk melakukan perkuatan kolom dengan jenis perkuatan yang efisien.



DAFTAR PUSTAKA

- Fadli, Hamzah. (2015). *APLIKASI ETABS PADA PERANCANGAN GEDUNG 15 LANTAI DENGAN STRUKTUR BETON BERTULANG MENGGUNAKAN SISTEM GANDA SEBAGAI PENAHAN BEBAN GEMPA SESUAI SNI 1726:2012*. Jakarta: *Structure Engineer*.
- Imran, Iswandi dan Fajar Hendrik. (2016). *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*. Bandung: ITB Press.
- Budiono, Bambang dkk. (2017). *Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktur Khusus Di Jakarta*. Bandung: ITB Press.
- Mustofa, Rizal dan Agus Purwinto Moestasmin. (2018). *STUDI KELAYAKAN PEMBANGUNAN APARTEMEN BIZ SQUARE SURABAYA*. (Tugas Akhir, Universitas Wijaya Kusuma Surabaya).
- Ariyanto, Arief Subakti. (2020). *ANALISIS JENIS KERUSAKAN PADA BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT (Studi Kasus pada Gedung Apartemen dan Hotel Candiland Semarang)*. (Tugas Akhir, Politeknik Negeri Semarang).
- Pranoto, Yudi dan Riza Setiabudi. (2019). *EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG (Studi Kasus pada Bangunan Gedung SMPN 19 Samarinda, Kalimantan Timur)*. (Tugas Akhir, Politeknik Negeri Samarinda).
- Sulendera, I Ketut. (2008). *EVALUASI STRUKTUR BANGUNAN ADMINISTRASI RSUD UNDATA*. Tadulako: Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako.
- Antonius. (2020). *LAPORAN HASIL KAJIAN STRUKTUR LIPPO CIKARANG ORANGE COUNTY TOWER C D & E F*. Cikarang : CV. CAHAYA KARYA UTAMA.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Gedung dan Nongedung*. SNI 1726 2019. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. SNI 1727 2020. Jakarta

Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. SNI 2847 2019. Jakarta

Antonius. (2020). *Konsep Dasar dan Desain Struktur Beton Bertulang*. Unissula Press. Semarang.

Enggartiasto, Lintang (2021). *STUDI KELAYAKAN STRUKTUR BANGUNAN LAMA BERDASARKAN STANDAR BANGUNAN GEDUNG TERBARU YANG BERLAKU DI INDONESIA*. (Tesis, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).

Bachtiar, Shabri Helmi dan Ahmad Ibrahim (2020). *DESAIN STRUKTUR GEDUNG MENGGUNAKAN TULANGAN GFRP (GLASS FIBER REINFORCED POLIYMER)*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).

