

HALAMAN JUDUL

TUGAS AKHIR

**INVESTIGASI DAN ANALISA STRUKTUR BANGUNAN
GEDUNG BERTINGKAT EKSISTING
(STUDI KASUS GEDUNG BEA CUKAI TANJUNG EMAS)**

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



Disusun Oleh :

Ahida Nur Rizkana

NIM : 3.02.019.00024

Oktaria Lestari

NIM : 3.02.019.00163

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN

INVESTIGASI DAN ANALISA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT EKSISTING (STUDI KASUS GEDUNG BEA CUKAI TANJUNG EMAS)



Ahida Nur Rizkana
NIM : 3.02.019.00024



Oktaria Lestari
NIM : 3.02.019.00163

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 12 Januari 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

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

2. **Lisa Fitriyana, ST., M.Eng**
NIDN: 0607046802

3. **M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng**
NIDN: 0625059102

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

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

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 10/A.2/SA-T/IX/2022

Pada hari ini tanggal 16 September 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 : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Ahida Nur Rizkana
NIM : 3.02.019.00024

Oktaria Lestari
NIM : 3.02.019.00163

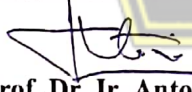
Judul : NVESTIGASI DAN ANALISA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT EKSISTING (STUDI KASUS GEDUNG BEA CUKAI TANJUNG MAS)

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	16/09/2022	ACC
2	Pengumpulan data	Oktober 2022	ACC
3	Seminar Proposal	01/11/2022	ACC
4	Analisis data	November 2022	ACC
5	Penyusunan laporan	Desember 2022	ACC
6	Selesai laporan	05/01/2023	ACC

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

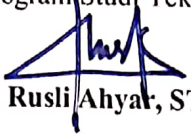
Dosen Pembimbing Utama


Prof. Dr. Ir. Antonius, MT.

Dosen Pembimbing Pendamping


Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

1. NAMA : Ahida Nur Rizkana
NIM : 3.02.019.00024
2. NAMA : Oktaria Lestari
NIM : 3.02.019.00163

JUDUL TUGAS AKHIR :

INVESTIGASI DAN ANALISA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT EKSISTING (STUDI KASUS GEDUNG BEA CUKAI TANJUNG EMAS)

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 12 Januari 2023

Yang membuat pernyataan,

Mahasiswa I

Mahasiswa II



Ahida Nur Rizkana
NIM: 3.02.019.00024

Oktaria Lestari
NIM: 3.02.019.00163

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

1. NAMA : Ahida Nur Rizkana
NIM : 3.02.019.00024
2. NAMA : Oktaria Lestari
NIM : 3.02.019.00163

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

**INVESTIGASI DAN ANALISA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG
BERTINGKAT EKSISTING (STUDI KASUS GEDUNG BEA CUKAI
TANJUNG EMAS)**

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



Semarang, 12 Januari 2023

Yang membuat pernyataan,

Mahasiswa I

Mahasiswa II

Ahida Nur Rizkana
NIM: 3.02.019.00024

Oktaria Lestari
NIM: 3.02.019.00163

MOTTO

“Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik.”
(Al – Imran Ayat 110)

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

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kemampuannya”
(Q.S. Al-Baqarah : 286)

“Harga kebaikan manusia adalah diukur menurut apa yang telah dilaksanakan/diperbuatnya.”
(Ali Bin Abi Thalib)

“Jangan hanya menunggu, tapi ciptakan waktumu sendiri”
“Perjalanan seribu batu bermula dari satu langkah”
(Lao Tze)

“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)

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. Kepada Ibu saya, Ibu Nur'aisih Narwiyah 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 keluarga besar saya K-23, yang selalu mendoakan, men-*support*, dan memfasilitasi apapun yang saya butuhkan dalam *progress* pembuatan Tugas Akhir ini.
3. Kepada Dosen Pembimbing Tugas Akhir saya, Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng yang telah membimbing saya dengan sepenuh hati dan kesabaran sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
4. Kepada Faizal Adhitama Bhanu Pradipta yang sudah selalu menemani, menjadi *support system*, memberi semangat, dan mendengarkan segala keluhan saya, hingga saya dapat menyelesaikan studi saya sampai tuntas.
5. Kepada Oktaria Lestari yang merupakan rekan Tugas Akhir ini.
6. Kepada kawan-kawan Keluarga Cemara, Nurul Hidayati, Vilda Innaka Nasya, Eka Prasetya Aji Yahya, dan Edo Bagus Prayogo yang sudah selalu menemani dan selalu men-*support* saya di kondisi manapun.
7. Kepada Fairuz Izdihar Athallah dan Dwi Nia Sastriavi yang selalu memberikan dukungan dan semangat agar saya terus maju dan melangkah hingga akhir.
8. 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.
9. Kepada seluruh keluarga Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil UNISSULA, terutama Pengurus Harian Periode 2020/2021 dan 2021/2022 yang telah memberikan semangat dan dukungan selama ini.

10. Teman-teman KMFT Angkatan 2019 yang turut memberikan semangat kepada saya khususnya teman-teman “Assalamualaikum”, Fadhillah Noor Damar Djati, Alwi Maharani, Ameillia Widyastuti, dan Davtia Ulfa Triyulianti Thalib.
11. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for doing all this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for always being a giver and tryna give more than I receive. I wanna thank me for tryna do more right than wrong. I wanna thank me for just being me at all times.*

Ahida Nur Rizkana
NIM : 3.02.019.00024



PERSEMBAHAN

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

1. Kepada Kedua orang tua saya tercinta, Ibu dan Bapak yang senantiasa selalu berusaha memberikan yang terbaik untuk anaknya dan juga tak lupa memberikan do'a, kasih sayang, dorongan dan semangat serta terus mendukung saya dengan baik sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Kepada kakak saya dan juga Adik saya yang selalu menyebalkan tetapi juga selalu memberikan doa dan semangat terus menerus sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
3. Kepada Dosen Pembimbing Tugas Akhir saya Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT., dan Ibu Lisa Firiya, ST., M.Eng yang telah membimbing saya dengan sepenuh hati sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
4. Kepada Ahida Nur Rizkana, partner saya sejak maba sampai Tugas Akhir terima kasih.
5. Kepada sahabat-sahabat saya yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang tentunya selalu dan selalu memberikan semangat kepada saya serta beribu kata-kata positif sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
6. Kepada KMFT 2019 terima kasih atas rasa peduli dan cinta kalian selama ini.

Oktaria Lestari
NIM : 30201900163

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“INVESTIGASI DAN ANALISA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT EKSISTING (STUDI KASUS GEDUNG BEA CUKAI TANJUNG EMAS)”** guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

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

1. 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 selaku dosen pembimbing utama yang telah membimbing, memberikan saran dan mengajarkan kami tentang Analisa Struktur Gedung Eksisting untuk tugas akhir ini.
4. Ibu Lisa Fitriyana ST., M.Eng yang telah membantu, memberikan saran dan mengajarkan kami mempelajari tata cara penulisan yang baik dan benar.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan ilmunya kepada kami.
6. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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

Semarang, 12 Januari, 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
ABSTRAK	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Tugas Akhir.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Tinjauan Umum	6
2.2. Landasan Teori.....	6
2.2.1. Faktor Penyebab Kerusakan Bangunan.....	6
2.2.2. Beban-Beban yang Bekerja pada Bangunan	8
2.3. Sistem Struktur Tahan Gempa	9
2.3.1. Prinsip Dasar	9
2.3.2. Konsep Struktur Tahan Gempa	12
2.3.3. Persyaratan Material.....	13

2.3.4. Sistem Struktur Tahan Gempa	14
2.3.5. Persyaratan Elemen Struktur Rangka Beton Pemikul Momen Khusus .	15
2.3.5.1. Komponen Struktur Lentur pada SRPMK.....	15
2.3.5.2. Tulangan Longitudinal.....	15
2.3.5.3. Tulangan Transversal.....	16
2.3.6 Persyaratan Kolom dan Balok dalam Perencanaan Sistem Struktur Tahan Gempa	17
2.3.6.1. Persyaratan Kolom	17
2.3.6.2. Persyaratan Balok	18
2.4. Persyaratan Elemen Struktur Sekunder.....	18
2.4.1. Persyaratan Tebal Plat Lantai.....	18
2.4.2. Persyaratan Baja Profil Atap	19
2.5. Sendi Plastis	19
2.6. Titik Kinerja (<i>Performance Point</i>).....	20
2.7. Persyaratan Pondasi	21
2.8. Kelaikan Fungsi Bangunan	22
2.9. Daftar SIMAK Kementerian Pekerjaan Umum	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1. Lokasi Penelitian.....	24
3.2. Pengumpulan Data	24
3.2.1. Data Primer.....	24
3.2.2. Data Sekunder	24
3.3. Alur Penelitian	25
3.4. Peralatan Penelitian.....	26
3.4.1. Rebound Hammer.....	26
3.4.2. Water Pass	30
3.4.3. Rebar Detector.....	30
3.5. Analisa Struktur	32
3.5.1. Menentukan Material Struktur	37
3.5.2. Menentukan Data Tanah	40
3.5.3. Menentukan Kelas Situs Tanah	41
3.5.4. Menentukan Parameter Percepatan Gempa.....	41

3.5.5. Menentukan Sistem Struktur	42
3.5.6. Menentukan Periode Fundamental Pendekatan	43
3.5.7. Menentukan Simpangan Antar Lantai Ijin	44
3.5.8. Menentukan Efek P – Delta.....	46
3.5.9. Menentukan Ketidakteraturan Struktur	46
3.5.10. Ketidakteraturan Struktur Horizontal.....	46
3.5.11. Ketidakteraturan Struktur Vertikal.....	47
3.5.12. Menentukan Level Kinerja Struktur.....	49
BAB IV HASIL PEMBAHASAN	51
4.1. Tinjauan Umum	51
4.2. Hasil Investigasi Lapangan.....	51
4.2.1. Pengamatan Visual.....	51
4.2.2. Data Geometrik Bangunan.....	62
4.2.3. Hasil Penyelidikan Tanah.....	64
4.2.4. Data Hasil Hammer Test.....	66
4.2.5. Pengujian <i>Rebar Detector</i>	72
4.2.6. Pengukuran Level Bangunan.....	73
4.3. Permodelan Struktur Berdasarkan Kondisi Eksisting.....	74
4.4. Analisa Struktur	75
4.4.1. Pembebanan Gravitasi.....	75
4.4.2. Pembebanan Gempa pada Struktur	86
4.4.3. Kombinasi Pembebanan.....	87
4.4.4. Faktor Reduksi Kekuatan Beton.....	88
4.4.5. Analisis Ragam Getar Struktur.....	89
4.4.6. Evaluasi Jumlah Ragam	92
4.4.7. Periode Getar Struktur.....	92
4.4.8. Gaya Lateral Ekvivalen	95
4.4.9. Gaya Geser Tiap Lantai.....	97
4.4.10. Relasi Beban Gempa Statik – Dinamik.....	98
4.4.11. Simpangan Antar Lantai.....	101
4.4.12. Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa	103
4.4.13. Cek Ketidakberaturan Struktur.....	106

4.4.14. Cek Eksentrisitas	114
4.4.15. Perhitungan Atap	115
4.4.15.1. Perhitungan <i>Bracing</i> Atap	116
4.4.15.2. Perhitungan Gording.....	118
4.4.15.3. Perhitungan Angkur dan <i>Base Plat</i>	125
4.4.15.4. Perhitungan Sambungan Profil Baja + Baut.....	131
4.4.16. Cek Redudansi.....	134
4.4.17. Cek Kapasitas Penampang Struktur	135
4.4.17.1 Cek Kapasitas Penampang Atap.....	140
4.4.17.2 Cek Kapasitas Penampang Balok	141
4.4.17.3. Cek Kapasitas Penampang Kolom.....	150
4.4.17.4. Cek Kapasitas Penampang Pelat Lantai	155
4.4.18. Perhitungan Pondasi.....	160
4.4.18.1 Tiang Pancang	160
4.4.18.2 Cek Pondasi untuk Titik di Tengah Bangunan.....	160
4.4.18.3. Perhitungan Pondasi	161
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN.....	175
5.1. Kesimpulan	175
5.2. Saran.....	175
DAFTAR PUSTAKA.....	xxiv
LAMPIRAN.....	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Nilai Perkiraan Kuantitas Kuat Tekan Permukaan Beton Berdasarkan Hasil Pengujian <i>Schmidt Hammer</i>	29
Tabel 3.2 Form Pengolahan Data Hammer Test	30
Tabel 3.3 Kategori Risiko SNI 1726 2019	38
Tabel 3.4 Tabel Kelas Situs Tanah.....	41
Tabel 3.5 Faktor Penahan Gaya Lateral	42
Tabel 3.6 Koefisien parameter Periode Getar Struktur	43
Tabel 3.7 Koefisien batas Periode Getar Struktur	43
Tabel 3.8 Simpangan antar tingkat izin, Δa a,b	45
Tabel 3.9 Ketidakteraturan Horizontal Struktur Berdasarkan SNI 1726 2019	46
Tabel 3.10 Ketidakteraturan Vertikal Struktur Berdasarkan SNI 1726 2019	47
Tabel 3.11 Kriteria Level Kinerja	50
Tabel 4.1 Hasil Pengamatan Visual Gedung Bea Cukai Tanjung Emas	52
Tabel 4.2 Tabel Simak Gedung Bea Cukai Tanjung Emas	56
Tabel 4.3 Data Geometrik Bangunan	62
Tabel 4.4 Data Hasil Boring Tanah	65
Tabel 4.5 Nilai Pukulan Hammer Test Kolom Tiap Lantai	66
Tabel 4.6 <i>Impact Angle Rebound Hammer Krisbow</i>	67
Tabel 4.7 Perkiraan Kuat Tekan Karakteristik Beton Kolom	68
Tabel 4.8 Nilai Pukulan Hammer Test Balok Tiap Lantai	69
Tabel 4.9 Perkiraan Kuat Tekan Karakteristik Beton Balok	70
Tabel 4.10 Nilai Pukulan <i>Hammer Test</i> Plat Lantai.....	70
Tabel 4.11 Perkiraan Kuat Tekan Karakteristik Beton Plat Lantai	71
Tabel 4.12 Uji <i>Rebar Detector</i>	73
Tabel 4.13 Perhitungan Beban Perlantai	76
Tabel 4.14 Tabel Faktor Reduksi Kekuatan Beton	88
Tabel 4.15 Modal Getar Struktur	90
Tabel 4.16 Partisipasi Massa Ragam.....	92
Tabel 4.17 Periode Getar Struktur.....	93
Tabel 4 18 Gaya Geser Antar Tingkat Arah – X.....	95

Tabel 4.19 Gaya Geser Antar Tingkat Arah – Y	96
Tabel 4.20 Gaya Geser Tiap Lantai.....	97
Tabel 4.21 Gaya Geser Statik dan Dinamik Tiap Lantai.....	98
Tabel 4.22 Gaya Geser Antar Tingkat Dinamik <i>Correction</i>	99
Tabel 4.23 Gaya Geser Desain Antar Tingkat.....	100
Tabel 4.24 Gaya Lateral Desain	100
Tabel 4.25 Simpangan Antar Lantai Arah – X.....	101
Tabel 4.26 Simpangan Antar Lantai Arah – Y.....	101
Tabel 4.27 Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa Arah – X.....	104
Tabel 4.28 Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa Arah – Y	104
Tabel 4.29 Cek Ketidakberaturan Torsi 1A Arah X.....	106
Tabel 4.30 Cek Ketidakberaturan Torsi 1A Arah Y.....	107
Tabel 4.31 Cek Ketidakberaturan Torsi 1B Arah X.....	107
Tabel 4.32 Cek Ketidakberaturan Torsi 1B Arah Y.....	108
Tabel 4.33 Cek Ketidakberaturan Sudut Dalam.....	108
Tabel 4.34 Cek Ketidakberaturan Sudut Dalam.....	109
Tabel 4.35 Cek Ketidakberaturan 1A Arah X.....	109
Tabel 4.36 Cek Ketidakberaturan 1A Arah Y.....	110
Tabel 4.37 Cek Ketidakberaturan 1B Arah X	110
Tabel 4.38 Cek Ketidakberaturan 1B Arah Y	110
Tabel 4.39 Cek Ketidakberaturan Massa Tingkat	111
Tabel 4.40 Cek Ketidakberaturan Massa Tingkat	111
Tabel 4.41 Cek Ketidakberaturan Tingkat Lemah	112
Tabel 4.42 Cek Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan.....	112
Tabel 4.43 Rekapitulasi Cek Ketidakberaturan Struktur.....	112
Tabel 4.44 Tabel Konsekuensi ketidakberaturan Horizontal	113
Tabel 4.45 Tabel Konsekuensi ketidakberaturan Vertikal	114
Tabel 4.46 Momen Torsi Arah X	114
Tabel 4.47 Momen Torsi Arah Y	115
Tabel 4.48 Kombinasi Pembebanan.....	136
Tabel 4.49 Tabel Rasio Rangka Atap.....	140
Tabel 4.50 Hasil Cek Penampang Balok.....	149

Tabel 4.51 Hasil Cek Penampang Kolom 60x60	155
---	-----



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas.....	2
Gambar 2.1 Kerusakan Akibat Gempa.....	10
Gambar 2.2 Contoh Sengkang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk	17
Gambar 2.3 Dimensi Tulangan Kolom.....	17
Gambar 2.4 Dimensi Tulangan Balok Keliling/Ring	18
Gambar 2.5 Contoh Sambungan Kuat.....	20
Gambar 2.6 Titik kinerja metode spektrum kapasitas	21
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	24
Gambar 3.2 Bagan Alur Penelitian.....	25
Gambar 3.3 Alat Uji <i>Schmidt Hammer</i>	27
Gambar 3.4 Proses Pemukulan Alat Uji <i>Schmidt Hammer</i>	27
Gambar 3.5 Arah Pukulan <i>Hammer Test</i>	28
Gambar 3.6 Pengujian Kekerasan dengan Alat <i>Schmidt Hammer</i>	28
Gambar 3.7 Alat Uji <i>Waterpass</i>	30
Gambar 3.8 Alat Uji <i>Rebar Detector</i>	31
Gambar 3.9 Pengecakan Tulangan Dengan Alat <i>Rebar Detector</i>	31
Gambar 3.10 Permodelan ETABS V.18.1.1 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas	32
Gambar 3.11 Permodelan ETABS V.18.1.1 As A' Gedung Bea Cukai Tanjung Emas .	32
Gambar 3.12 Permodelan ETABS V.18.1.1 As A Gedung Bea Cukai Tanjung Emas...	33
Gambar 3.13 Permodelan ETABS V.18.1.1 As B Gedung Bea Cukai Tanjung Emas..	33
Gambar 3.14 Permodelan ETABS V.18.1.1 As C Gedung Bea Cukai Tanjung Emas...	33
Gambar 3.15 Permodelan ETABS V.18.1.1 As D Gedung Bea Cukai Tanjung Emas...	34
Gambar 3.16 Permodelan ETABS V.18.1.1 As E Gedung Bea Cukai Tanjung Emas ...	34
Gambar 3.17 Permodelan ETABS V.18.1.1 As 1 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas....	34
Gambar 3.18 Permodelan ETABS V.18.1.1 As 2 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas...	35
Gambar 3.19 Permodelan ETABS V.18.1.1 As 3 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas....	35
Gambar 3.20 Permodelan ETABS V.18.1.1 As 4 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas....	35
Gambar 3.21 Permodelan ETABS V.18.1.1 As 5 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas....	36
Gambar 3.22 Permodelan ETABS V.18.1.1 As 6 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas....	36
Gambar 3.23 Permodelan ETABS V.18.1.1 As 7 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas....	36
Gambar 3.24 Permodelan ETABS V.18.1.1 As 8 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas...	37
Gambar 3.25 Permodelan ETABS V.18.1.1 As 8' Gedung Bea Cukai Tanjung Emas ..	37
Gambar 3.26 Percepatan respons gempa MCER Periodik Pendek (Ss).....	41

Gambar 3.27 Percepatan Periode 1 Detik S1	42
Gambar 4.1 Tampak Bangunan Bea Cukai Tanjung Emas	52
Gambar 4.2 Hasil Bor Log	64
Gambar 4.3 Pengujian Bor Tanah	65
Gambar 4.4 Pengujian Rebound Hammer	66
Gambar 4.5 Kuat Tekan Karakteristik Kolom	68
Gambar 4.6 Kuat Tekan Karakteristik Balok	70
Gambar 4.7 Kuat Tekan Karakteristik Pelat Lantai	71
Gambar 4.8 Uji <i>Rebar Detector</i>	72
Gambar 4.9 Hasil Uji <i>Rebar Detector</i>	72
Gambar 4.10 Pengukuran Level Bangunan	74
Gambar 4.11 Hasil Pengukuran Level Bangunan	74
Gambar 4.12 Denah Struktur Lantai 1 sampai Lantai Atap	75
Gambar 4.13 Model Tiga Dimensi Struktur	75
Gambar 4.14 Grafik Respon Spektrum Desain	87
Gambar 4.15 Mode 1 Translasi Arah X	89
Gambar 4.16 Mode 2 Translasi Arah Y	89
Gambar 4.17 Mode 3 Rotasi	90
Gambar 4.18 Gaya Geser Antar Tingkat Arah – X	95
Gambar 4.19 Gaya Geser Antar Tingkat Arah – Y	96
Gambar 4.20 Grafik Gaya Geser Tiap Lantai	98
Gambar 4.21 Grafik Gaya Lateral Desain Antar Lantai	101
Gambar 4.22 Gambar simpangan antar lantai Arah X dan Y	102
Gambar 4.23 Grafik P Delta Arah – X	104
Gambar 4.24 Grafik P Delta Arah – Y	105
Gambar 4.25 Diagram Ketidakberaturan Torsi 1A dan 1B Arah X dan Y	107
Gambar 4.26 Diagram Ketidakberaturan Torsi 1A dan 1B Arah X dan Y	108
Gambar 4.27 Desain Rangka Atap Gedung Bea Cukai Tanjung Emas	115
Gambar 4.28 Grafik Cek Redundansi	134
Gambar 4.29 Diagram Aksial Kombinasi <i>Envelope</i>	138
Gambar 4.30 Diagram Gaya Momen Kombinasi <i>Envelope</i>	138
Gambar 4.31 Diagram Gaya Geser Kombinasi <i>Envelope</i>	138
Gambar 4.32 Rasio Kapasitas Beton Akibat Beban Tetap Secara Tiga Dimensi	139
Gambar 4.33 Rasio Kapasitas Beton Akibat Beban Tetap Secara Dua Dimensi	139
Gambar 4.34 Rasio Tegangan Rangka Atap	140

Gambar 4.35 Output Cek Penampang Kolom 60x60 dari SpColumn.....	165
Gambar 4.36 Output Cek Penampang Kolom 45x60 dari SpColumn	172
Gambar 4.37 Output Cek Penampang Kolom 45x35 dari SpColumn	180
Gambar 4.38 Momen Maksimum Pelat Lantai pada Ruang Arsip.....	181
Gambar 4.39 Letak pondasi kolom yang ditinjau.....	187
Gambar 4.40 Grafik Kapasitas Beban Akibat Delta.....	191
Gambar 4.41 Output Joint Reactions	194



ABSTRAK

INVESTIGASI DAN ANALISA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT EKSISTING (STUDI KASUS GEDUNG BEA CUKAI TANJUNG EMAS)

Pembangunan gedung di Indonesia tumbuh pesat setiap tahunnya seiring dengan berkembangnya peraturan-peraturan tentang SNI terbaru. Analisis pada Gedung Bea Cukai Tanjung Emas dilakukan berdasarkan kebutuhan yang tidak hanya untuk penilaian Sertifikat Laik Fungsi (SLF), namun untuk jangka panjang yang berguna untuk mengetahui tingkat kelayakan struktur eksisting. Dengan berdirinya Gedung Bea Cukai Tanjung Emas yang sudah berdiri sejak tahun 2010 dan karena bangunan di desain sebelum tahun 2019 maka perlunya pengkajian ulang daripada gedung tersebut untuk mengetahui apakah diperlukan atau tidak adanya perubahan atau perkuatan struktur menurut SNI terbaru menggunakan aplikasi ETABS V.18.1.1.

Diperlukannya kembali proses analisis struktur untuk memastikan tingkat keamanannya. Sumber data dari penelitian ini berupa data sekunder dan data primer. Data sekunder berupa gambar perencanaan struktur dan hasil *boring* tanah (*N-SPT*) di kawasan Gedung Bea Cukai Tanjung Emas. Sedang data primer yang digunakan yaitu hasil pengujian lapangan. Untuk mendapatkan data-data primer tersebut, digunakan metode *Hammer Test*, *Rebar Test*, *Waterpass*, dan juga pelaksanaan Pengecekan Level Bangunan di kawasan Bea Cukai Tanjung Emas. Kemudian dilanjutkan dengan permodelan struktur dan analisa struktur menggunakan bantuan aplikasi ETABS V 18.1.1.

Setelah melakukan analisis terhadap struktur maka diperoleh kesimpulan bahwa Gedung Bea Cukai Tanjung Emas masih terhitung aman walaupun diperlukan adanya beberapa perkuatan, sehingga bangunan ini masih layak untuk digunakan.

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

ABSTRACT

INVESTIGATION AND ANALYSIS OF THE EXISTING STORY-BUILDING STRUCTURE (CASE STUDY OF BEA CUKAI BUILDING OF TANJUNG EMAS)

Building construction in Indonesia grows rapidly every year in line with the development of the latest SNI regulations. Analysis of the Bea Cukai Building of Tanjung Emas was carried out based on the need not only for the assessment of a Certificate of Acceptable Function (SLF) but for the long term which is useful for determining the feasibility level of the existing structure. With the establishment of the Bea Cukai Building of Tanjung Emas which has been established since 2010 and because the building was designed before 2019, it is necessary to review the building to find out whether or not changes or structural strengthening are needed according to the latest SNI using the ETABS V.18.1.1 application.

The re-necessary structural analysis process to ensure the level of security. Sources data from this research in the form of secondary and primary data. Secondary data is in the form of structural planning drawings and soil boring results (N-SPT) in the Bea Cukai Building of the Tanjung Emas area. While the primary data used are the results of field testing. To obtain these primary data, the Hammer Test, Rebar Test, and Waterpass methods were used, as well as the implementation of Building Level Checks in the Tanjung Emas Customs area. Then proceed with structural modeling and structural analysis using the help of the ETABS V 18.1.1 application.

After carrying out of the structure analysis, it was concluded that the Bea Cukai Building of Tanjung Emas was still classified as safe, although some strengthening was needed, so this building was still suitable for use.

Keywords: Analysis, Existing, Building, Feasibility, Structure

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bangunan bagi masyarakat sebagai tempat beraktivitas memiliki peran strategis pada pembentukan karakter, mewujudkan produktivitas dan identitas. Selain itu, bangunan juga berfungsi sebagai tempat aktivitas manusia, termasuk bangunan Gedung Bea Cukai Tanjung Emas ini. Bangunan gedung pemerintah merupakan tempat kegiatan pemerintah serta melaksanakan pelayanan masyarakat sehingga diharapkan mampu meningkatkan peran, fungsi dan tujuan sebagai tempat kegiatan pemerintah dan pelayanan masyarakat. Bangunan gedung Bea Cukai Tanjung Emas saat ini dimanfaatkan untuk pelayanan masyarakat sehingga perlu dikaji tingkat kelayakan dan keamanannya terutama pada aspek struktural.

Gedung Bea Cukai Tanjung Emas berlokasi di Jl. Arteri Yos Sudarso No 17, Bandaharjo, Kecamatan Semarang Utara, Kota Semarang, Jawa Tengah 50144, yang di bangun pada sekitar tahun 2009. Sehingga untuk mencapai gedung Bea Cukai Tanjung Emas yang fungsional, andal, mengidentifikasi diri, seimbang, serasi dan selaras dengan lingkungannya, diperlukan tindakan pencegahan untuk menjamin keandalan bangunan tersebut. Berdasarkan Undang-undang Bangunan Gedung No. 28 Tahun 2002, Pasal 3 mengatur bahwa keselamatan, keamanan, dan kesehatan bangunan gedung harus terjamin keandalannya guna mewujudkan tata bangunan gedung yang fungsional dan serasi dengan lingkungannya. , kenyamanan dan kemudahan. PP No. 36 Tahun 2005 juga menjelaskan urutan pelaksanaan UU No. 28 Tahun 2002 tentang bangunan gedung. Pasal 16(1) menyatakan bahwa keandalan bangunan gedung adalah kondisi bangunan gedung yang memenuhi persyaratan keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kesesuaian sesuai dengan persyaratan fungsional yang ditetapkan. Kemudian pemerintah juga menerbitkan peraturan tentang laik fungsi bangunan pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia nomor 27 / PRT / M / 2018. Pada peraturan menjelaskan bahwa setiap bangunan gedung terutama fasilitas publik harus terjamin kelaikan fungsinya baik secara teknis maupun administrasi, namun

pada tugas akhir ini hanya membahas kajian secara teknis sesuai peraturan SNI yang berlaku saat ini.

Bangunan gedung yang didesain dan dibangun sebelum tahun 2019 atau sebelum terbitnya code/ standar terbaru pada tahun 2019, pada umumnya masih menggunakan standar yang berlaku sebelumnya (SNI-2847-2013 dan SNI-1726-2012) atau bahkan masih berdasarkan ketentuan yang lama seperti SNI-2847-2002 maupun SNI-1726-2002. Di dalam peta gempa yang dianut di dalam SNI gempa terbaru (SNI-1726-2019) menunjukkan secara jelas adanya perubahan nilai parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek (S_s) dan nilai parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik (S_1). Perubahan tersebut akan mempengaruhi nilai parameter percepatan respons spektral pada periode pendek maupun nilai percepatan respon spektral MCE pada periode 1 detik yang masing-masing disebut sebagai S_{DS} dan S_{M1} . Perubahan lainnya adalah nilai S_{DS} dan S_{D1} (parameter percepatan respons spektral pada periode pendek dan parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik). Selanjutnya juga terjadi perubahan koefisien situs untuk periode pendek pada periode 0,2 detik (F_a) maupun koefisien situs untuk periode panjang pada periode 1 detik (F_v). Semua perubahan tersebut di atas akan mempengaruhi nilai C_s , atau yang sering disebut sebagai koefisien seismic untuk penentuan gaya geser dasar. Perubahan penting lainnya adalah bentuk respon spectrum desain, dimana SNI-1726-2019 mengakomodasi adanya periode panjang pada struktur jika struktur masuk kategori bangunan langsing (Enggartiaso, 2021).



Gambar 1.1. Gedung Bea Cukai Tanjung Emas

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang terdapat pada penelitian ini adalah:

1. Investigasi material eksisting berdasarkan pengamatan visual sesuai daftar SIMAK PUPR 2018.
2. Terindikasinya penurunan tanah dilokasi gedung Bea Cukai Tanjung Emas & Semarang yang ditandai oleh terjadinya retak-retak, penurunan di daerah luar seperti tangga dan perbedaan elevasi yang cukup besar dari struktur bangunan terhadap tanah luar.
3. Akibat dari rumusan masalah No 2, dikhawatirkan akan mempengaruhi tingkat keamanan struktur bangunan.
4. Perlu dilakukan analisis ulang terhadap struktur bangunan eksisting untuk memastikan tingkat keamanannya. Mengingat gedung tersebut dibangun 2009/2010 (masih menggunakan standart yang lama), maka analisa struktur ulang harus menggunakan standart yang berlaku saat ini
5. Akibat adanya penurunan tanah disekitar bangunan maka timbul pertanyaan mengenai daya dukung pondasi apakah masih mampu memikul beban layan yang terjadi.

1.3. Tujuan

Berdasarkan uraian latar belakang dan rumusan masalah, maka tujuan penelitian ini meliputi:

1. Menganalisis kondisi visual struktur eksisting.
2. Melakukan analisis terhadap kondisi sistem struktur eksisting :
 - Pengamatan Visual
 - Pengujian material (*Hammer Test* untuk material beton, *Rebar Test* untuk mengetahui konfigurasi tulangan, pengukuran elevasi bangunan, pengukuran kemiringan dan lain-lain).
3. Melakukan analisis ulang terhadap sistem struktur eksisting menggunakan standart yang terbaru di Indonesia.
4. Melakukan perhitungan ulang terhadap daya dukung pondasi terpasang.

5. Melakukan uji tanah dilokasi Gedung Bea Cukai Tanjung Emas untuk memastikan karakteristik tanah dan daya dukungnya, apakah sesuai dengan pondasi yang digunakan.

1.4. Batasan Masalah

Didalam Investigasi ini ruang lingkup pekerjaan adalah sebagai berikut:

1. Data yang diperoleh adalah gambar perencanaan struktur, bukan *As Built Drawing*. Dengan demikian dalam pemodelan, pembebanan, maupun analisis, acuan utama adalah gambar perencanaan.
2. Tidak membahas tinjauan terhadap arsitektur dan mekanikal elektrik bangunan.
3. Analisa gedung menggunakan pedoman SNI 2847 2019, SNI 1726 2019, SNI 1727 2020, SNI 1729 2020, SNI 8640 2017, SNI ASTM C805-02 2012.
4. Pengujian struktur eksisting sifatnya non-destruktif seperti *Hammer Test*, *Rebar Test*, dan pengukuran dengan selang dan lain-lain.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang berdasarkan tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Diharapkan menjadi pengembangan dari disiplin ilmu Teknik Sipil mengenai kelayakan struktur bangunan gedung.
2. Diharapkan mampu menjadi prosedur dan penilaian bangunan gedung dengan melakukan pengambilan sampel – sampel lapangan sebagai dasar evaluasi kelayakan struktur.
3. Diharapkan mampu menjadi prosedur evaluasi kekuatan struktur bangunan gedung dengan melalui tahapan : pengolahan data lapangan, analisis pembebanan, dan analisa struktur untuk mengetahui tingkat keamanan bangunan.
4. Diharapkan mampu memberi informasi kondisi keamanan struktur bangunan eksisting pada penggunaanya jika akan dilakukan alih fungsi ruang.

1.6. Sistematika Tugas Akhir

Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab yaitu :

- Bab I** Bab pendahuluan yang menguraikan terkait latar belakang, maksud dan tujuan. peta lokasi, rumusan masalah, manfaat penelitian, keaslian terhadap kajian dan sistematika dalam penulisan.
- Bab II** Bab ini berisi tujuan pustaka berupa teori – teori yang berkaitan dengan pokok pembahasan serta ditinjau berdasarkan *literature*. hasil pengamatan dan pendapat para ahli untuk suatu kasus yang sama.
- Bab III** Bab ini berisi metode dan asumsi tentang bagaimana permasalahan terkait dengan materi analisis perhitungan di Tugas Akhir ini akan dianalisis.
- Bab IV** Bab ini hasil analisis perhitungan dan pembahasan permasalahan yang berkaitan dengan hasil analisis tersebut.
- Bab V** Bab penutup berisi hasil analisis data, kesimpulan dan saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Menindaklanjuti peraturan pemerintah tentang laik fungsi bangunan, maka kajian mengenai kelayakan struktur menjadi sesuatu yang penting. Bangunan gedung umumnya dapat beroperasi minimal 50 tahun sejak awal bangunan tersebut terbangun. Namun, pada kenyataannya tidak semua bangunan memiliki kinerja yang baik terutama akibat perubahan peraturan SNI bangunan gedung yang secara signifikan berada pada peraturan gempa Indonesia yang terus mengalami perkembangan. Penentuan kelayakan struktur bangunan dipengaruhi beberapa aspek meliputi : material eksisting, kondisi struktur eksisting dan keselarasan terhadap perencanaan awal bangunan. Tujuan penilaian struktur menurut (Antonius, 2019) meliputi :

1. Mengetahui kemampuan struktur berfungsi dengan baik seperti yang diharapkan pada desain awalnya.
2. Mengetahui beban maksimal yang dapat dipikul apabila kemampuan strukturnya berkurang.
3. Mengestimasi usia layan bangunan
4. Mengetahui kelayakan bangunan secara struktural berdasarkan peraturan terbaru.
5. 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 dikelompokkan menjadi dua yaitu bersifat struktural dan non struktural. Kerusakan pada non struktural berupa retak halus pada plesteran dinding dan serpihan plester dinding yang berjatuhan, sedangkan kerusakan struktural ada beberapa tingkatan yaitu :

1. Kerusakan bangunan struktural pada struktur kolom atau balok mengakibatkan keretakan pada area sekitarnya.

2. Kerusakan bangunan struktural pada plat lantai mengakibatkan kerusakan pada area lantai bangunan.
3. Kerusakan bangunan non struktural pada cat dinding yang memudar atau mengelupas.
4. Kerusakan bangunan non struktural pada dinding yang pecah atau rusak.

Menurut Adrianto (2004), dan Arsande (2013) Kerusakan bangunan Gedung umumnya disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut :

1. Faktor Usia Bangunan

Faktor usia bangunan sangat mempengaruhi kondisi material struktur, seiring bertambahnya usia pada suatu bangunan kemampuan untuk dapat menahan suatu beban apabila jarang dilakukan pemeliharaan sehingga kerusakan bangunan.

2. Faktor Kondisi Tanah dan Air Tanah

Tanah memiliki pengaruh besar terhadap stabilitasnya. Jika pondasi belum sesuai dengan keadaan tanah maka dapat mengalami penurunan. Air tanah juga mempengaruhi jika temperature dan kelembaban tinggi dapat membuat retak pada beton.

3. Faktor Kualitas Bahan

Struktur bangunan umumnya tersusun dari berbagai macam bahan material. Pemilihan kualitas bahan harus tepat. Jika tidak tepat maka material tersebut tidak dapat menopang bangunan. Bangunan bahkan bisa runtuh jika material yang digunakan tidak kuat serta berkualitas.

4. Faktor kualitas perencanaan

Keawetan struktur bangunan dipengaruhi pemilihan jenis material yang digunakan. Berdasarkan hal tersebut, kekuatan pendekatan pemilihan beban kerja dianalisis berdasarkan asumsi struktural-mekanis yang sesuai dengan kondisi bangunan 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 ketelitian dan tidak mengikuti instruksi keamanan dengan demikian kesalahan akibat kelalaian tidak dapat di hindari. Yang

memungkinkan berakibat menurunnya mutu pekerjaan juga berpengaruh pada keawetan bangunan.

6. Faktor Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang dapat terjadi kapan saja. Besarnya energi seismik yang diterima oleh suatu bangunan tergantung pada kedalaman gempa, jenis tanah yang dilalui, dan jarak bangunan dari pusat gempa.

7. Faktor Angin

Ini adalah salah satu faktor alam yang menyebabkan kerusakan struktur bangunan. Salah satu elemen bangunan yang terkena angin adalah elemen atap. Serangan angin kencang menyebabkan atap bergerak-gerak, sehingga atap mudah bergeser satu sama lain, membuat atap yang indah mudah terbelah saat angin kencang.

Selain itu, beberapa faktor penyebab kerusakan bangunan selama masa pakainya (Triwiyono, 2005), seperti:

1. Masalah kekuatan material yang buruk,
2. Lingkungan yang agresif tidak diramalkan pada saat perencanaan,
3. Kesalahan perencanaan dan pelaksanaan,
4. Kelebihan beban akibat bertambahnya beban akibat fungsi/penggunaan bangunan,
5. Meningkatkan umur layanan, ketika waktu operasi gedung bertambah lebih lama dari rencana semula,
6. Penyebab khusus dan beban berlebih: kebakaran, gempa bumi, banjir dan
7. Kehidupan yang berbeda untuk beban material struktural dan non-struktural.

2.2.2. Beban-Beban yang Bekerja pada Bangunan

Pada suatu struktur terdapat pembebanan 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 statis/mati adalah beban yang berasal dari berat bangunan itu sendiri, yang meliputi berat struktur dan arsitektural serta semua peralatan yang melekat pada bangunan. Secara umum, beban mati ini tetap atau tidak berubah dari waktu ke waktu.

2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban bergerak atau tidak rata yang disebabkan oleh penghuni atau pengguna bangunan.

3. Beban Gempa

Beban seismik adalah beban yang terjadi akibat perpindahan tanah yang disebabkan oleh getaran seismik. Beban gempa dalam SNI 1726 2019 didefinisikan sebagai gempa bumi dengan probabilitas melebihi besarnya selama umur struktur bangunan gedung 50 tahun sebesar 20%.

4. Beban Angin

Beban angin merupakan beban yang terjadi pada struktur akibat adanya pergerakan udara. 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. Talang air yang terlalu kecil dapat menyebabkan masalah kebocoran saat hujan. Dan juga air yang terkumpul di atap bangunan akibat hujan dapat menimbulkan beban struktural yang besar.

2.3. Sistem Struktur Tahan Gempa

2.3.1. Prinsip Dasar

Sebagian besar wilayah Indonesia sangat rawan gempa. Terbukti dengan berbagai gempa bumi dalam beberapa tahun terakhir yang melanda beberapa wilayah Indonesia dan menyebabkan kerusakan sarana dan prasarana di daerah yang terkena bencana. Kondisi alam tersebut menyebabkan perlunya pemenuhan

prinsip perencanaan/pelaksanaan sistem struktur tahan gempa untuk semua struktur bangunan yang dibangun di wilayah Indonesia, khususnya yang dibangun, terutama pada daerah dengan tingkat kerawanan sedang hingga tinggi. gempa bumi. (pakai keberuntungan). Dengan demikian, saat terjadi gempa, struktur tersebut dapat menopang dan melindungi penghuni dari risiko yang diakibatkan oleh peristiwa seismik. (Enggartiasto, 2022)

Namun dalam praktiknya, prinsip perencanaan/pelaksanaan struktur bangunan tahan gempa secara luas/keseluruhan dapat diterapkan pada konstruksi struktur gedung di hampir semua daerah di Indonesia, khususnya penggelaran struktur bangunan gedung beton bertulang. Hal ini terlihat dari berbagai keruntuhan yang terjadi pada struktur bangunan beton bertulang akibat gempa bumi besar di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Keruntuhan Akibat Gempa

(Sumber : <https://geologi.esdm.go.id/>)

Kerusakan struktur gedung akibat terjadinya gempa, umumnya disebabkan oleh (Imran, 2014):

- Sistem konstruksi yang digunakan tidak mengatasi kerentanan wilayah terhadap gempa bumi.
- Rancangan struktural dan detail perkuatan pada dasarnya tidak memadai.
- Kualitas material dan praktik pembangunan umumnya buruk.
- Pengawasan dan pengelolaan pekerjaan konstruksi yang tidak memadai.

Untuk menghindari hal yang sama terjadi lagi, prinsip-prinsip dasar berikut harus dipatuhi ketika merencanakan, mengukur dan melaksanakan struktur beton bertulang tahan gempa (Antonius, 2021):

- Sistem struktural yang digunakan harus sesuai dengan tingkat kerentanan (resiko) seismik di area dimana struktur bangunan berada.
- Kontinuitas dan integritas struktur bangunan harus diperhitungkan. Detail tulangan struktur bangunan dan koneksi serta elemen harus terhubung secara efisien untuk meningkatkan integritas struktur secara keseluruhan.
- Konsistensi antara sistem struktur yang diasumsikan dalam desain dan sistem struktur yang diterapkan harus dipertahankan.
- Material yang digunakan, beton dan tulangan, harus memenuhi persyaratan bahan bangunan untuk struktur tahan gempa.
- Elemen bangunan masif harus disambungkan secara kaku ke sistem rangka utama dan pengaruhnya terhadap sistem statis harus dipertimbangkan.
- Metode konstruksi, sistem mutu dan penjaminan mutu selama tahap konstruksi harus dilaksanakan dengan baik dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Perlu diketahui bahwa besaran frekuensi gaya seismik yang diserap oleh struktur gedung sangat dipengaruhi oleh karakteristik gempa yang terjadi, karakteristik tanah tempat gedung tersebut berada, dan karakteristik struktur gedung tersebut. Struktur bangunan yang mereka pengaruhi meliputi bentuk bangunan, massa bangunan, beban berat yang bekerja pada bangunan, kekakuan, dll. Bentuk terbaik untuk cetak biru tahan gempa adalah bentuk simetris sederhana yang tidak terlalu panjang. Struktur bangunan dengan kelengkungan besar idealnya harus dihindari. Jika bentuk denah bangunan tidak bisa dibuat simetris, sebaiknya bagian struktur yang menonjol dipisahkan dari bangunan utama.

Selain itu, distribusi kekakuan vertikal bangunan dibuat seseragam dan sekontinu mungkin tanpa loncatan. Perubahan kekakuan yang signifikan harus dihindari. Selanjutnya, semakin besar massa suatu bangunan, semakin besar pula beban inersia yang diterimanya saat terjadi gempa. Oleh karena itu, massa

bangunan harus seringan mungkin. Penggunaan elemen bangunan yang besar harus dihindari.

Berbagai aspek penting di atas diuraikan dalam bab ini. Standar yang digunakan adalah SNI 1726-2019 untuk perhitungan gempa dan SNI 2847-2019 untuk persyaratan detail struktur beton bertulang tahan gempa. (Pratama et al., 2018).

2.3.2. Konsep Struktur Tahan Gempa

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, perlu memperhatikan beberapa konsep sebagai berikut :

1. Bahan Harus Memenuhi Syarat

Kuat tekan (f_c') beton tidak boleh kurang dari 20 MPa. Untuk menjamin kualitas kinerja beton, beton harus memiliki kuat tekan 20 MPa atau lebih. (Pulwono, 2005).

Saat menggunakan beton ringan, kuat tekan (f_c') tidak boleh melebihi nilai maksimum 30 MPa. Beton pencuci dengan peringkat kuat tekan yang lebih tinggi mensyaratkan komponen yang terbuat dari beton pencuci memiliki kekuatan dan stabilitas yang sama atau lebih baik daripada komponen sebanding yang terbuat dari beton biasa dengan kekuatan yang sama. menunjukkan bahwa ada. Selain kuat tekan beton yang harus memenuhi semua persyaratan, perkuatan komponen yang menjadi bagian dari sistem gempa juga harus memenuhi persyaratan. Tulangan lentur dan tulangan aksial yang digunakan pada batang pemikul beban sistem rangka dan batang pembatas sistem dinding seismik harus memenuhi ketentuan SNI 2847 2019 Bab 18 untuk struktur tahan gempa. Penggunaan tulangan baut membutuhkan jenis tulangan primer dan geser yang akan digunakan. (Nasional, 2019b)

2. Balok Lemah – Kolom Kuat

Saat merancang bangunan tahan gempa, disarankan untuk menggunakan rencana keruntuhan yang aman, yaitu mekanisme poros sisi balok. Mekanisme poros sisi balok hanya dapat direalisasikan bila kekuatan tumpuan lebih besar dari kekuatan balok, sehingga terjadi keadaan sendi plastis balok (desain kapasitas, kuat tumpuan, balok lemah).

3. Deformasi Harus Terkontrol

Deformasi yang terkait dengan setiap komponen elemen struktur harus dikoordinasikan sesuai SNI 1726:2019. Klausul 7.1.2 menyatakan bahwa ketika suatu struktur dikenai gaya gempa desain, deformasi struktur tidak boleh melebihi batas yang ditentukan. (Nasional, 2019a)

4. Hubungan Balok Kolom

Keutuhan keseluruhan sistem rangka pemikul momen sangat bergantung pada perilaku hubungan balok-kolom. Sambungan balok-ke-kolom yang memburuk dapat menyebabkan kendur yang berlebihan, yang menyebabkan kerusakan dan keruntuhan yang berlebihan. (Purwono 2005).

5. Pondasi Harus Lebih Kuat Dari Bangunan Atas

Pondasi adalah struktur di bagian bawah bangunan yang berfungsi untuk mendistribusikan beban vertikal di bagian atas (kolom) dan beban horizontal ke tanah. Gaya horizontal ini memungkinkan pondasi menahan dua gaya lateral yang lebih kuat dari komponen struktur di atasnya. Substruktur suatu bangunan berfungsi untuk menahan beban yang berasal dari bangunan atas, sehingga bangunan bawah tidak boleh runtuh terlebih dahulu dari bangunan atas. (Pranoto, 2019).

SNI 1726 : 2019, Pasal 7.1.5 menyatakan bahwa pondasi harus dirancang untuk menahan gaya-gaya yang dihasilkan dan gerakan yang diarahkan terhadap struktur oleh gerakan tanah yang direncanakan. Rancangan kekuatan detail substruktur diperlukan untuk memenuhi berbagai persyaratan beban seismik.. (Nasional, 2019a)

2.3.3. Persyaratan Material

Persyaratan pokok struktural bangunan atau gedung tahan gempa meliputi:

1. Kualitas material yang baik;
2. Penempatan dan dimensi struktural yang sesuai;
3. Keseluruhan elemen struktur utama terhubung dengan benar, juga
4. Kualitas konstruksi yang sangat baik.

2.3.4. Sistem Struktur Tahan Gempa

Karena kolom pada bangunan tinggi biasanya memperlihatkan gaya yang cukup besar untuk menahan beban seismik, elemen struktural kaku dalam bentuk dinding geser dirancang untuk menahan efek gabungan dari beban geser seismik, momen, dan gaya normal.

Ada juga kondisi khusus untuk interaksi antara sistem rangka pemikul momen dan dinding geser, di mana dua struktur dengan sifat yang berbeda disatukan. Dengan menggabungkan kedua struktur ini, struktur yang lebih kuat dan lebih ekonomis dapat dicapai. Kerja sama ini dapat diuraikan menjadi beberapa sistem struktural, seperti :

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

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 yaitu (Karisoh *et.al.*, 2018) :

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). Sistem ini memiliki daktilitas terbatas dan hanya sesuai untuk digunakan di area dengan risiko seismik rendah. Keuntungan dari sistem ini adalah arsitekturnya yang sederhana dan harganya yang terjangkau, namun kelemahan dari sistem ini adalah setiap kali terjadi perubahan alami, struktur dapat terganggu dan mempengaruhi kondisi tanah yang ada.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), sistem ini memiliki keuletan sedang dan juga cocok untuk digunakan di area dengan risiko gempa sedang. Keuntungan dari sistem ini adalah strukturnya sederhana dan tidak memerlukan banyak tulangan, tetapi kelemahan dari sistem ini adalah perubahan alami dapat terjadi setiap saat dan mempengaruhi kondisi tanah yang ada sehingga membahayakan struktur.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), sistem ini sangat daktil dan cocok digunakan di daerah dengan resiko gempa tinggi. Prinsip sistem ini adalah tumpuan kuat, balok lemah, ketahanan geser dan detail khusus. Keuntungan dari sistem ini adalah kesederhanaan arsitekturnya,

tetapi kerugiannya adalah memiliki detail rumit yang mempersulit pekerjaan.

2.3.5. Persyaratan Elemen Struktur Rangka Beton Pemikul Momen Khusus

2.3.5.1. Komponen Struktur Lentur pada SRPMK (SNI 03-2847-2002 pasal 23.3)

Komponen struktur lentur pada SRPMK harus memenuhi syarat-syarat dibawah ini:

1. Gaya tekan aksial yang bekerja pada batang tidak boleh melebihi $0,1 A_g f_c$.
2. Rentang efektif komponen struktur sekurang-kurangnya harus empat kali kedalaman efektif.
3. Rasio lebar-ke-tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.4) Lebar tidak boleh:
 - a. dari. kurang dari 250mm
 - b. Lebih lebar dari lebar tumpuan (diukur dalam bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal lentur) ditambah jarak pada masing-masing sisi tumpuan tidak melebihi tiga perempat kedalaman lentur. (Liono, 2019)

2.3.5.2. Tulangan Longitudinal

1. Pada setiap irisan penampang komponen struktur lentur yang dilihat pada persamaan 2.1.
 - Jumlah tulangan atas dan bawah tidak boleh kurang dari
$$A_{s_{min}} = \frac{\sqrt{f_r c}}{4.f_y} b_w d \dots\dots\dots(2.1)$$
 - Tidak boleh kurang dari $1,4 b_w d / f_y$
 - Tingkat penguatan ρ tidak boleh melebihi 0,025.
 - Setidaknya satu rel kepala dan dua rel bawah harus dipasang berurutan.
2. Kekuatan lentur positif dari balok lentur di muka kolom harus lebih dari setengah kekuatan lentur negatif di muka. Tidak ada tempat di sepanjang bentang yang kekuatan lentur negatif atau positifnya lebih besar dari 1/4 kekuatan lentur maksimum yang ada di kedua sisi kolom.
3. Sambungan pengaku pembengkokan hanya diperbolehkan jika pengaku spiral atau sengkang tertutup menghubungkan bagian sambungan pangkuan. Jarak antara braket yang menghubungkan area yang tumpang

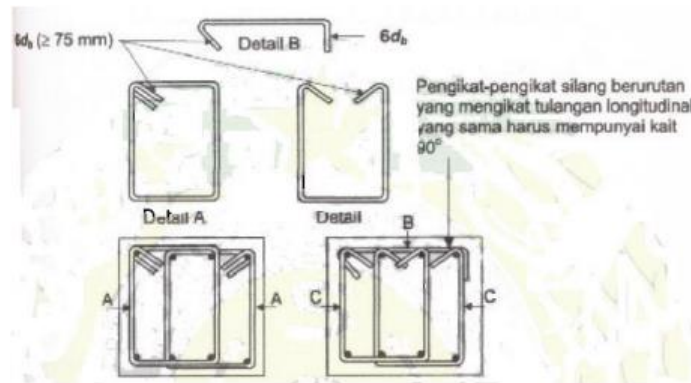
tindih tidak boleh melebihi $d/4$ atau 100 mm. Koneksi bypass tidak dapat digunakan dengan:

- a. balok pendukung bidang sambungan;
- b. Luas dari muka kolom ke jarak dua kali tinggi balok.
- c. Posisi analitis menunjukkan potensi leleh lentur akibat perpindahan lateral inelastis dari struktur rangka.

2.3.5.3. Tulangan Transversal

1. Pasang sengkang tertutup pada area komponen berikut ini:
 - a) Tinggi balok sampai dua kali, diukur dari muka tumpuan sampai pertengahan bentang pada setiap ujung balok yang dibengkokkan.
 - b) Di atas area dua kali kedalaman balok di kedua sisi penampang di mana hasil lentur diharapkan terjadi karena deformasi inelastis rangka.
2. Sengkang tertutup pertama harus dipasang dalam jarak 50 mm dari bidang penyangga. Jarak maksimumnya tidak diizinkan melampaui :
 - $d/4$;
 - 8 kali diameter tulangan longitudinal minimum.
 - Candi tertutup dengan diameter 24X.
 - 300mm.
3. Pengaku perimeter longitudinal membutuhkan penyangga lateral di mana diperlukan sengkang tertutup.
4. Jika sengkang tertutup tidak diperlukan, sengkang dengan kait seismik harus dipasang pada kedua ujungnya sepanjang bentang komponen struktur dengan interval tidak lebih besar dari $d/2$.
5. Sengkang atau Sengkang ikat yang dibutuhkan untuk memberikan gaya geser harus dipasang sepanjang komponen struktur.
6. Sengkang tertutup pada batang fleksibel dapat terdiri dari dua unit pengaku, sengkang ditutup dengan penyangga silang dengan kait seismik di setiap ujungnya. Lintasan berturut-turut yang melibatkan batang vertikal yang sama membutuhkan kait 90 derajat bergantian. Jika palang memanjang

hanya ditopang di satu sisi oleh pelat lantai, pengait 90 derajat harus dipasang di sisi yang ditopang.



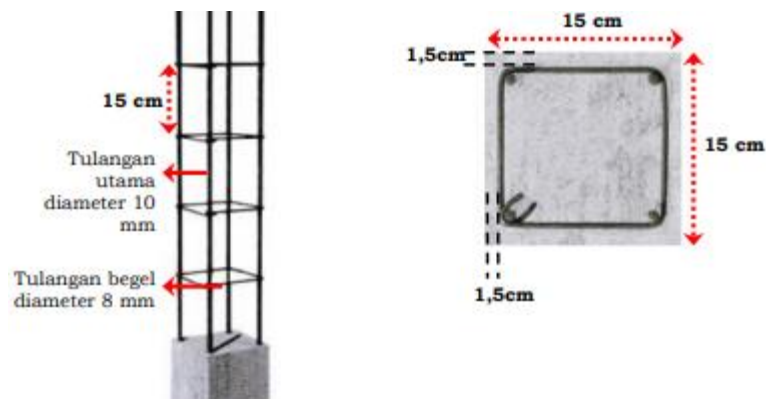
Gambar 2.2. Contoh Sengkang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk
(Sumber : SNI 03-2847-2019 Pasal 23.3.3)

2.3.6 Persyaratan Kolom dan Balok dalam Perencanaan Sistem Struktur Tahan Gempa

2.3.6.1. Persyaratan Kolom

Kolom yang kuat dalam perencanaan sistem struktur tahan gempa memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Ukuran kolom 15 x 15 cm;
2. Diameter tulangan utama baja adalah 10 mm;
3. Diameter tulangan begel baja adalah 8 mm;
4. Jarak antar tulangan begel 15 cm; juga
5. Ketebalan penutup beton dari luar sambungan adalah 15 mm.



Gambar 2.3 Dimensi Tulangan Kolom

(Sumber : bagianpbj.kutaibaratkab.go.id)

2.3.6.2. Persyaratan Balok

Balok keliling/ring berspesifikasi :

1. Balok keliling/ring ukuran 12 x 15 cm;
2. Diameter tulangan utama adalah 10mm.
3. Diameter tulangan adalah 8mm.
4. Jarak antar tulangan 15 cm. juga
5. Tebal selimut beton dari luar sambungan adalah 15 mm

Gambar 2.4 Dimensi Tulangan Balok Keliling/Ring



(Sumber : bagianpbj.kutaibaratkab.go.id)

2.4. Persyaratan Elemen Struktur Sekunder

Struktur sekunder, yang merupakan bagian dari struktur bangunan, dirancang untuk hanya menyerap gaya lentur dan bukan gaya geser seismik, sehingga dihitung secara terpisah dari struktur utama dalam perhitungan analitik. Struktur sekunder meliputi balok, tangga, pelat lantai dan balok *lift*.

2.4.1. Persyaratan Tebal Plat Lantai

Tebal pelat minimum dengan balok yang menumpunya pada semua sisi diatur dalam Pasal 18.12.9 SNI 2847:2019 (Nasional, 2019b) yang terdiri :

- a. Ketebalan pelat penutup untuk diafragma dengan pelat penutup non-komposit ditambah ketebalan kombinasi elemen cetak di tempat dan pracetak untuk diafragma dengan penutup komposit. Untuk diafragma dengan penutup komposit, nilai f_c' yang digunakan untuk menentukan V_n harus paling minimum dibandingkan f_c' untuk komponen struktur pracetak dan f_c' .

b. V_n diafragma struktur tidak boleh melebihi $0,66 A_{cv} \sqrt{f'_c}$ (2.2)

c. V_n tidak boleh dilampaui di area sambungan antara membran komposit dan non-komposit dan elemen pracetak :

$$V_n = A_{vf} f_y \mu \text{ (2.3)}$$

2.4.2. Persyaratan Baja Profil Atap

Ini memiliki profil penampang yang kompak dan seragam di sepanjang batang baja dan digunakan untuk rangka atap, rangka dinding dan rangka lantai dengan ketebalan nominal 0,4 mm hingga 1,10 mm dengan atau tanpa depresi permukaan.

Profil rangka baja ringan harus lurus dengan penampang melintang yang seragam di sepanjang batang, dengan ujung-ujungnya miring tegak lurus terhadap sumbu profil. Permukaan profil harus bebas dari cacat atau penyok terkait proses yang dapat merusak lapisan dan mempengaruhi penggunaan atau fungsi penggunaannya..

$$B = (t \times L \times \gamma + W \times L) \times 10^{-6} \text{ (2.4)}$$

Keterangan:

B : Berat (kg/m³)

L : Lebar material bahan baku pembentuk profil (mm)

t : Tebal nominal material bahan baku pembentuk profil (mm)

w : Berat lapisan (g/m²)

γ : Massa jenis baja = 7850 (kg/m³)

2.5. Sendi Plastis

Luas sendi plastis adalah panjang komponen rangka yang diperkirakan akan mengalami kelenturan lentur sebagai akibat dari perpindahan seismik desain, yang memanjang sejauh h atau lebih dari penampang kritis tempat terjadinya kelenturan lentur.

Daerah sendi plastis ini terbentuk pada titik momen positif atau negatif maksimum sehingga menyebabkan pergeseran diagram momen elastis. Biasanya, ini mengurangi nilai negatif maksimum dari area penyangga dan meningkatkan nilai momen positif antara penyangga dari momen positif yang dihitung dengan analisis elastis.

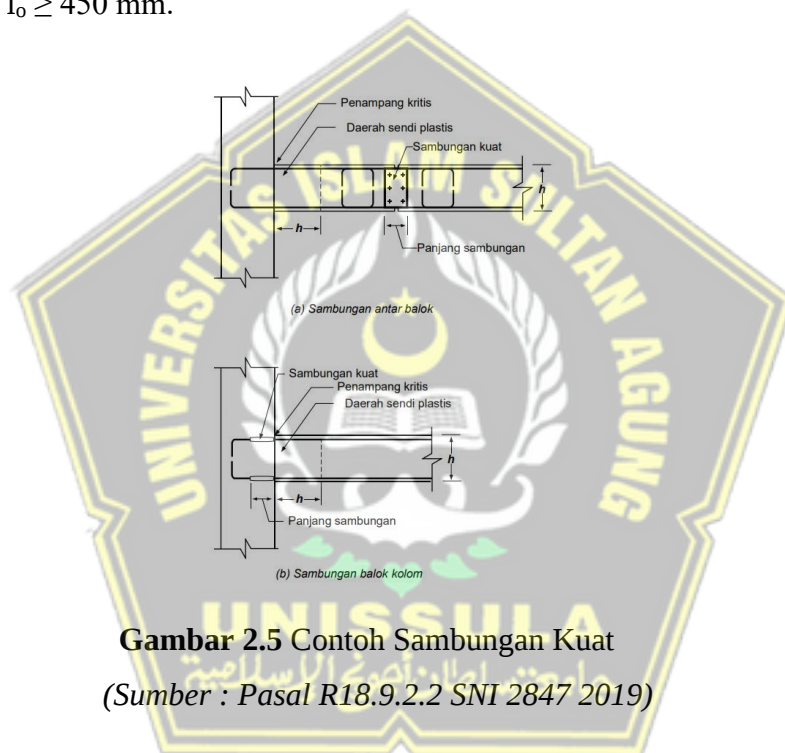
Sambungan plastis portal SRPMK di pasang dengan ketentuan:

- a. Pada komponen balok di pasang di setiap ujung kanan dan ujung kiri berjarak $2h$ dari tepi kolom dengan h merupakan tinggi penampang balok.
- b. Sedangkan pada komponen kolom di pasang di setiap ujung kolom atas dan bawah. Sendi plastis pada kolom di pasang berjarak l_0 dari muka joint dengan ketentuan sebagai berikut :

$l_0 \geq 1/6$ dari h kolom.

$l_0 \geq$ dimensi yang paling besar dari komponen kolom.

$l_0 \geq 450$ mm.

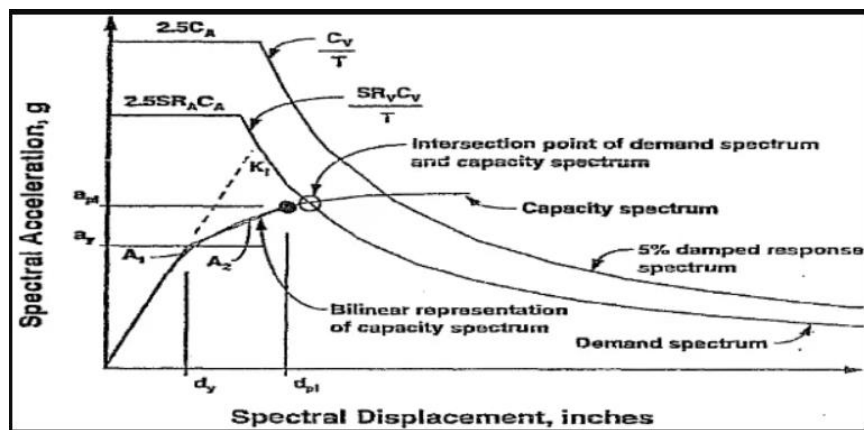


Gambar 2.5 Contoh Sambungan Kuat
(Sumber : Pasal R18.9.2.2 SNI 2847 2019)

2.6. Titik Kinerja (*Performance Point*)

Titik kinerja merupakan titik perpotongan antara spektrum kapasitas dan spektrum demand.

Menurut ATC-40, level kinerja pada desain bangunan baru yang direkomendasikan adalah live safety level, saat simpangan total maksimum 0,02. Tingginya mutu gedung yang digunakan menjadikan level kinerja pada gedung penelitian ini ditingkatkan menjadi immediate occupancy, saat simpangan total maksimum 0,01 dengan tinggi gedung 2800 cm didapatkan tingkat kinerja maksimum dengan level immediate occupancy sebesar 28 cm.



Gambar 2.6 Titik kinerja metode spektrum kapasitas

(Sumber : gambar-penentuan-titik-kinerja-menurut-metode-spektrum.webp)

2.7. Persyaratan Pondasi

Menurut pasal 13.1.1 SNI 2847 2019, untuk desain pondasi nonprategang dan pondasi prategang, termasuk pondasi dangkal a hingga e dan, jika ada, pondasi dalam f hingga i:

- a. Fondasi lajur
- b. Fondasi setempat
- c. Fondasi gabungan
- d. Fondasi rakit
- e. Balok sloof
- f. Pile cap
- g. Fondasi tiang
- h. Fondasi tiang bor
- i. *Caissons*

Selanjutnya, menurut SNI 1726 2019 pasal 7.13.5, desain pondasi harus dirancang untuk menahan gaya-gaya yang dihasilkan dan menyerap gerakan yang dipindahkan ke struktur dan pondasi oleh gerakan tanah seismik. Definisi kriteria desain pondasi harus mencakup dinamika gaya, gerakan tanah yang diharapkan, kriteria desain kekuatan struktural dan disipasi energi, dan dinamika tanah. Desain dan pelaksanaan pondasi harus sesuai dengan SNI 1726 2019 pasal 7.13.5. Dalam menghitung kombinasi beban yang diatur dalam SNI 1726 2019 pasal 7.13.5, berat pondasi harus diperhitungkan sebagai beban mati. Beban tetap dapat mencakup

bahan pengisi dan perkerasan pada pondasi. Sistem pondasi tidak boleh runtuh sebelum suprastruktur.

Untuk mencapai tujuan tersebut, kombinasi beban dalam SNI 1726 2019 Pasal 7.13.5 juga harus diperiksa dalam desain pondasi, termasuk faktor kekuatan. Hal ini lebih sesuai dengan pasal tersebut.

Desain detail kekuatan struktur pondasi juga harus memenuhi persyaratan beban gempa desain menurut SNI 1726 2019, Pasal 7.13.5, termasuk faktor kekuatan.

2.8. Kelaikan Fungsi Bangunan

Bangunan gedung diwajibkan memiliki Sertifikat Laik Fungsi (SLF) yang dimaksud untuk memastikan bahwa bangunan tersebut berpotensi untuk ditempati atau digunakan. Untuk menentukan kelayakan suatu bangunan sebelum digunakan, beberapa pertimbangan menurut UU RI No 28 Tahun 2002 harus diperhatikan, antara lain :

1. Aspek Keselamatan Bangunan

Aspek ini dalam kemampuan suatu bangunan untuk bekerja sesuai dengan kegunaannya, termasuk kemampuannya untuk mendukung beban muatan atau struktur bangunan gedung yang ada, material yang digunakan diperhitungkan berdasarkan beban yang akan ditopang, dan kemampuannya dalam mencegah dan menanggulangi terjadinya bahaya seperti kebakaran, gempa bumi, dan angin kencang.

2. Aspek Kesehatan Bangunan

Aspek kesehatan untuk sebuah bangunan dapat dilakukan dengan memeriksa sistem pencahayaan, sistem sanitasi, sistem ventilasi, dan sistem sirkulasi udara yang ada di dalam gedung. Akan berkaitan dengan kesehatan orang-orang yang menempati bangunan tersebut.

3. Aspek Kenyamanan Bangunan

Pada aspek ini bangunan akan di nilai dari segi kenyamanan ruang gerak serta hubungan antar ruang, pandangan, kondisi ruang, tingkat getaran, dan tingkat kebisingan di dalam bangunan ini.

4. Aspek Kemudahan

Aspek kemudahan ini berupa kemudahan saat ingin ke, dari, dan di dalam bangunan gedung. Misalnya akses untuk penyandang disabilitas, orang lanjut usia, anak-anak, ibu hamil dan sebagainya.

2.9. Daftar SIMAK Kementerian Pekerjaan Umum

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 19/PRT/M/2018 (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 917) tentang Pelaksanaan Izin Mendirikan Bangunan dan Sertifikat Laik Fungsi Bangunan Gedung Pelayanan Perizinan Berusaha Terintegrasi Secara Elektronik Hal ini dimaksudkan untuk mendorong tertib pelaksanaan konstruksi guna menjamin kehandalan dan kepastian hukum dalam pengelolaannya Berfungsi dengan baik adalah kondisi bangunan gedung yang memenuhi persyaratan administratif dan teknis sesuai dengan fungsi bangunan gedung yang ditetapkan. Sertifikat Laik Fungsi Bangunan (SLF) adalah surat keterangan yang diterbitkan oleh pemerintah daerah, tidak termasuk bangunan gedung fungsi khusus yang diterbitkan oleh Pemerintah Pusat, dengan asumsi bangunan tersebut masih digunakan dan fungsinya berfungsi sebagaimana mestinya. Berikut adalah contoh format dokumen Daftar SIMAK menurut SIMAK PUPR.

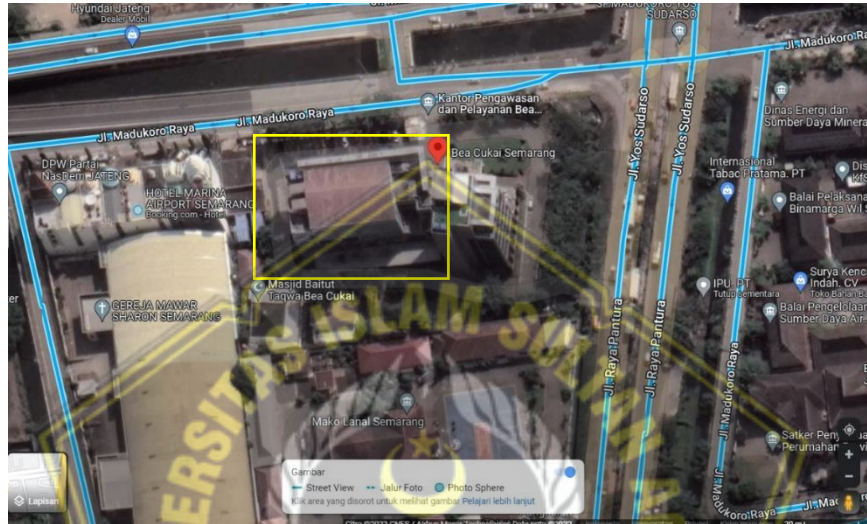
- a. Dokumen IMB dan dokumen perencanaan konstruksi;
- b. Gambar Perencanaan;
- c. Laporan pengawasan pekerjaan konstruksi structural gedung bertingkat;
- d. Rekomendasi ahli dari otoritas negara yang berwenang di bidang sistem proteksi kebakaran, keselamatan kerja (K3), instalasi listrik dan penilaian dampak lingkungan;
- e. Hasil uji material konstruksi;
- f. Hasil pengujian dan commissioning berupa *checklist* komponen arsitektur bangunan, struktur, utilitas/peralatan, dan desain eksterior; juga
- g. Manual pengoperasian, pemeliharaan dan perbaikan gedung serta sistem dan peralatan servis gedung.

BAB III

METODE ANALISIS

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Gedung Bea Cukai Tanjung Mas berlokasi di Jl. Arteri Yos Sudarso No 17, Bandaharjo, Kecamatan Semarang Utara, Kota Semarang, Jawa Tengah 50144.



Gambar 3.1. Lokasi Penelitian

(Sumber : <https://goo.gl/maps/7sMRKHLqKWhmoLSH8>)

3.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data primer dan data sekunder.

3.2.1. Data Primer

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

1. Pengamatan Visual
2. Pengujian *Rebound Hammer*
3. Pengujian *Water Pass*
4. *Rebar Detector*

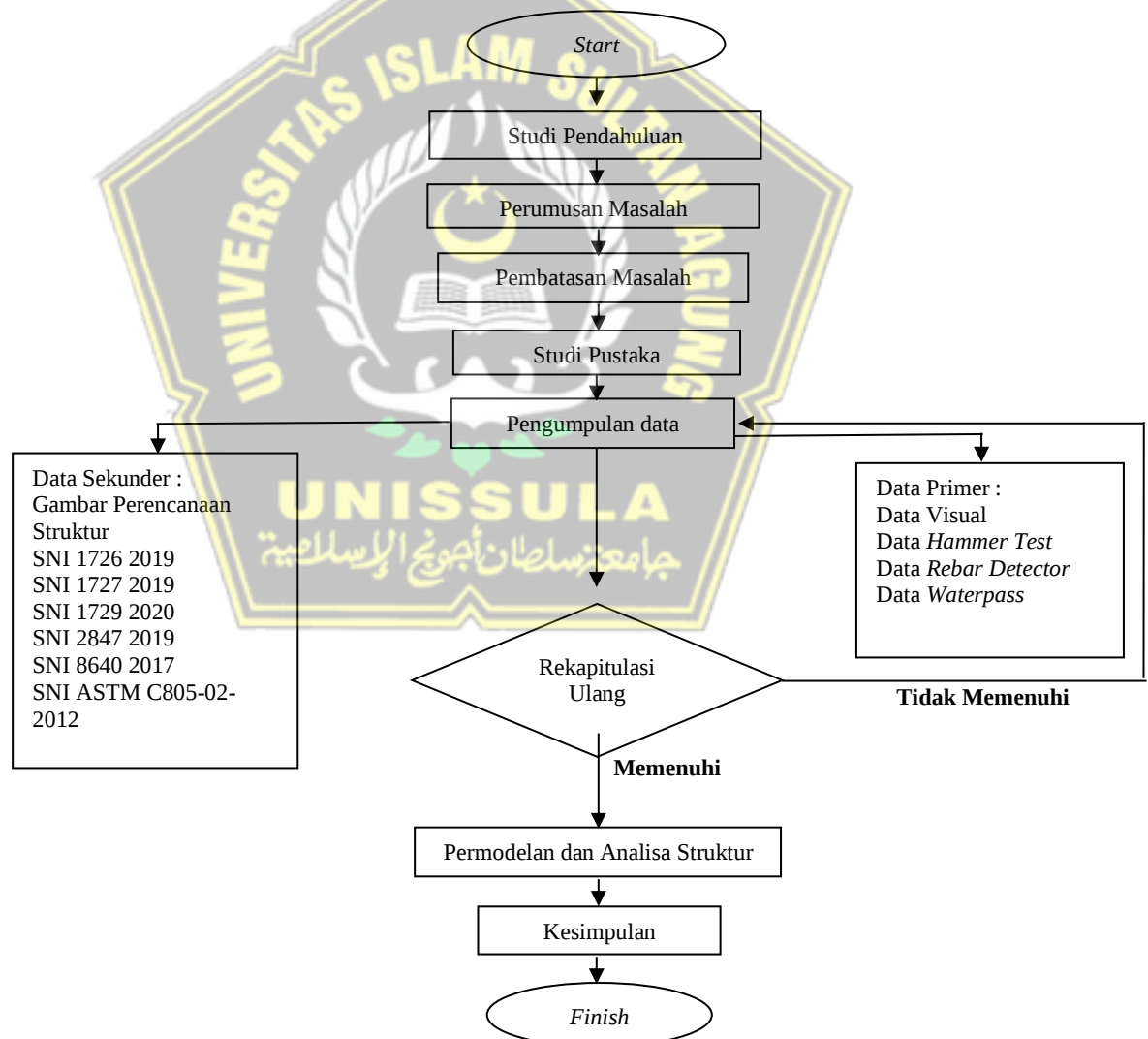
3.2.2. Data Sekunder

Data Sekunder adalah data yang berupa literature, jurnal penelitian dan sumber yang relevan. Data sekunder meliputi:

1. Gambar Perencanaan Struktur
2. SNI 2847 2019
3. SNI 1726 2019
4. SNI 1727 2020
5. SNI 1729 2020
6. SNI 8640 2017
7. SNI ASTM C805-02 2012

3.3. Alur Penelitian

Untuk mendeskripsikan pelaksanaan alur Penelitian, maka dibuatlah bagan alur Penelitian yang ditampilkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Bagan Alur Penelitian

Alur Penelitian ini melakukan berbagai jenis pengujian termasuk pengujian lapangan dan analisis struktural yang berdasarkan hasil uji lapangan. pengujian ini mengikuti sumber terbaru Indonesia. Dalam penilaian kelayakan struktur gedung Bea Cukai Tanjung Mas ada tahap-tahap pengujian, antara lain:

1. Pengecekan kondisi bangunan eksisting secara visual dengan pengamatan langsung. Objek yang di amati pada deformasi seperti balok dan pelat lantai, keretakan yang terjadi pada kolom, balok, dan pelat lantai. Hasil dari pengamatan visual struktur, baik yang rusak maupun dalam kondisi baik, melalui penggunaan foto.
2. Pemeriksaan terhadap gambar kerja atau Gambar Perencanaan Struktur yang digunakan untuk meneliti apakah ukuran, tinggi dan panjang bentang sesuai. Selain itu, Gambar Perencanaan Struktur ini berfungsi sebagai bahan referensi pada proses analisis struktur sehingga pada data material yang ada dapat dimasukkan ke dalam persyaratan peraturan yang terbaru.
3. Pengujian homogenitas mutu beton mengacu pada standart SNI ASTM C 805 – 2012.

Pengujian *Rebar Detector* dengan mengikuti standar SNI 2847 - 2013, untuk mengetahui ketebalan selimut beton dan jumlah penulangan yang dipasang.

3.4. Peralatan Penelitian

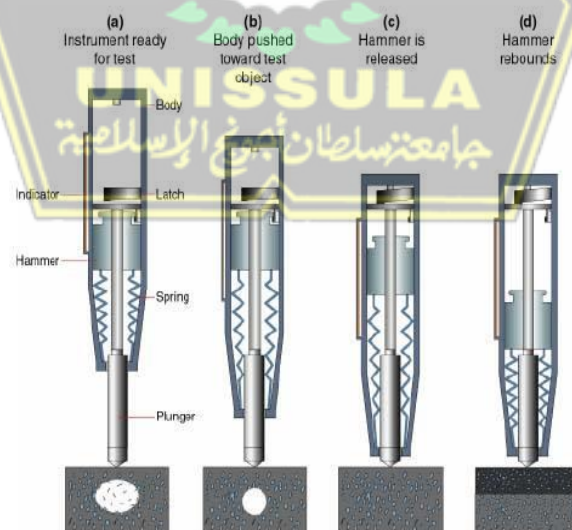
3.4.1. Rebound Hammer

Teknik ini digunakan untuk menentukan seberapa keras permukaan beton adalah uji *Rebound Hammer*. Pengujian ini dapat menghitung nilai mutu beton. Operasi dasar alat ini adalah menerapkan beban impact ke permukaan beton. Alat tersebut dapat digunakan secara horizontal, vertical atau posisi vertical kebawah dengan permukaan yang di uji. Alat ini juga telah dilengkapi dengan angka-angka tertentu yang kemudian akan dikonversikan menjadi nilai taksiran mutu beton guna memperhitungkan 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.

Pengujian kekerasan beton dilakukan dengan 10 (sepuluh) pukulan di setiap titik yang berbeda. Nilai 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 bacaan.



Gambar 3.3. Alat Uji *Schmidt Hammer*



Gambar 3.4. Proses Pemukulan Alat Uji *Schmidt Hammer*

(Sumber : <https://testingindonesia.co.id/>)

Mengacu pada SNI ASTM C 805 - 2012 proses yang digunakan dalam pengujian *rebound hammer* pada penelitian ini. Perlatan ini juga dapat digunakan untuk menentukan konsistensi kualitas permukaan beton pada struktur dan untuk memperkirakan kuat tekan permukaan beton. Nilai yang akan diperoleh dari rebound bisa saja tidak selalu menjamin kondisi inti beton karena kekerasan terhadap 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 ((Pinayungan, 2019).



Gambar 3.5. Arah Pukulan *Hammer Test*

(Sumber : Laporan Tugas Akhir Divisi TPPG, Teknik Sipil POLBAN, 2016)



Gambar 3.6. 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 yang ditampilkan pada tabel 3.1.

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	Kurang
<20	Retak

Setelah didapatkan data hasil pengujian dilapangan, data tersebut diolah sesuai peraturan perhitungan SNI 03-4430-1997 (Nasional, 1997) untuk mendapatkan perkiraan nilai mutu beton eksisting. Contoh tabel pengolahan data *Rebound Hammer test* diperlihatkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 : Form Pengolahan Data Hammer Test

Tingkatan lantai	Tinjauan Struktur	Dimensi (cm)	Titik Percobaan										Posisi hammer	kuat tekan rata - rata	kuat tekan maksimum	kuat tekan minimum
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				

3.4.2. Water Pass

Diperlukan pengujian kemiringan bangunan untuk mengetahui keadaan struktur Gedung Bea Cukai Tanjung Emas saat ini. Menggunakan alat yang dikenal sebagai *Waterpass*, kemiringan bangunan diuji. *Waterpass* adalah perangkat yang memeriksa keselarasan berbagai komponen bangunan. Karena penyalarsan ini, penimbangan sangat penting untuk setiap pekerjaan bangunan.



Gambar 3.7. Alat Uji *Waterpass*

Waterpass adalah alat yang digunakan untuk mengukur atau menentukan sebuah garis dalam posisi 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 pada

3.4.3. Rebar Detector

Gedung Bea Cukai 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

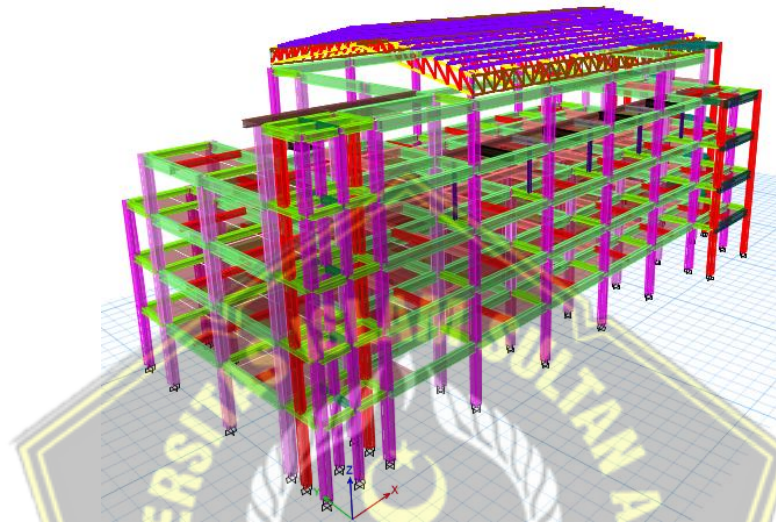
Lokalisasi pembacaan baja tulangan dibantu oleh pemrosesan sinyal *Rebar Detector*, yang juga dapat menghitung diameter tulangan dan ketebalan penutup beton. Bahan non-konduktif seperti beton, kayu, plastik, batu bata, dan lainnya tidak berpengaruh pada prosedur ini. Namun, hasil pengukuran akan bervariasi 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.



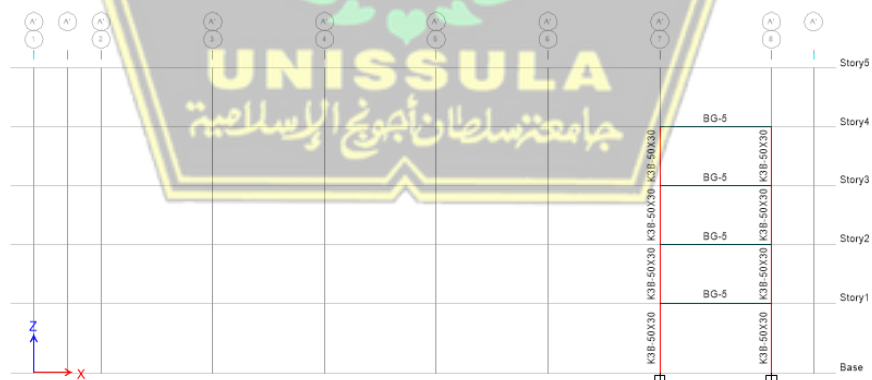
Gambar 3.9. Pengecekan Tulangan dengan Alat *Rebar Detector*

3.5. Analisa Struktur

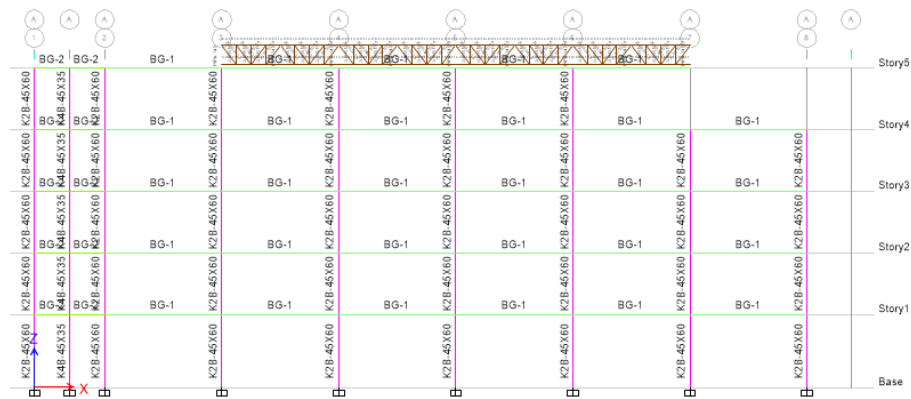
Untuk memastikan apakah kapasitas penampang di bawah kondisi material dunia nyata masih dapat menopang beberapa gaya internal, maka dari itu analisis struktur digunakan. Struktur Gedung Bea Cukai Tanjung Emas dimodelkan untuk menentukan gaya-gaya dalam yang digunakan dalam studi potong lintang dari hasil analisis struktur yang dilakukan dengan menggunakan program *Etabs*.



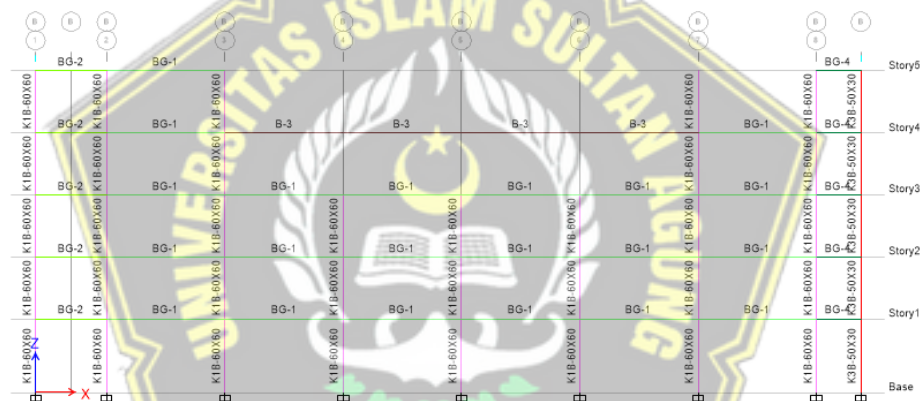
Gambar 3.10. Permodelan ETABS V.18.1.1 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



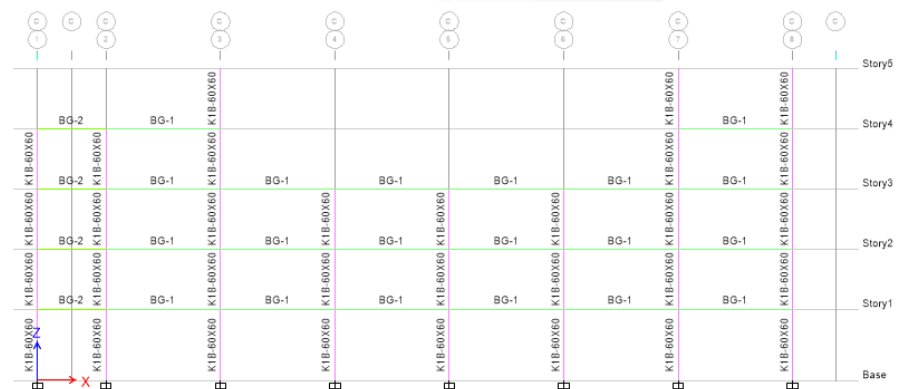
Gambar 3.11. Permodelan ETABS V.18.1.1 As A' Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



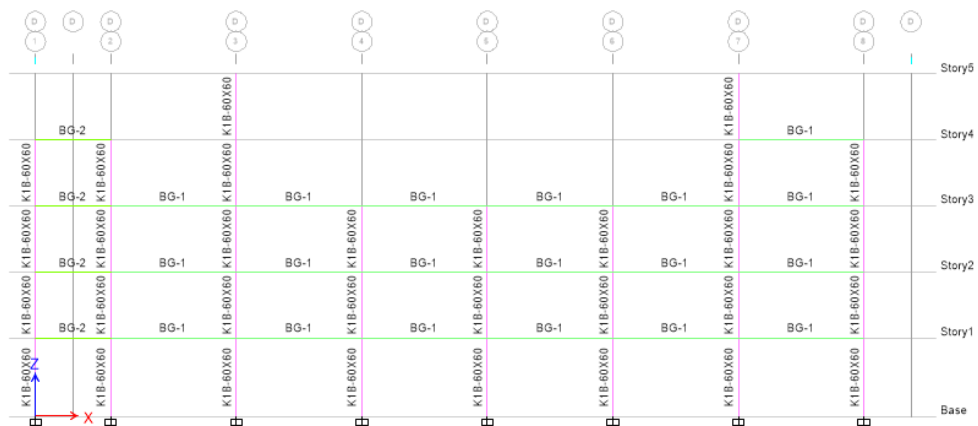
Gambar 3.12. Permodelan ETABS V.18.1.1 As A Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



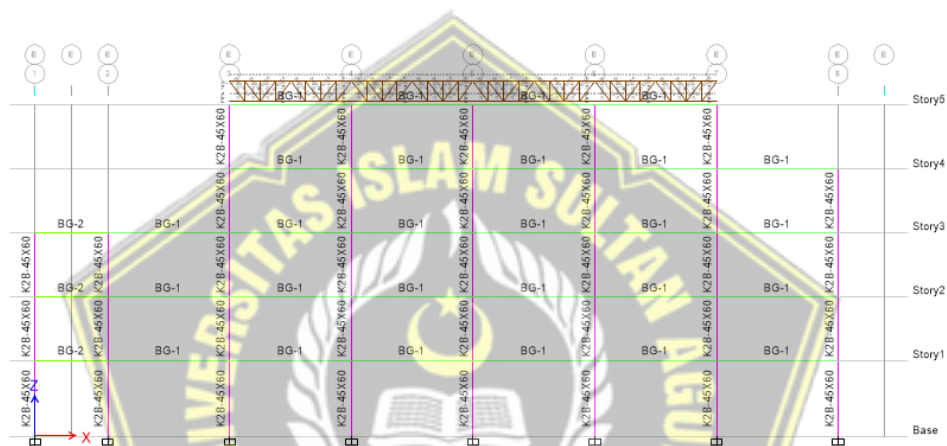
Gambar 3.13. Permodelan ETABS V.18.1.1 As B Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



Gambar 3.14. Permodelan ETABS V.18.1.1 As C Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



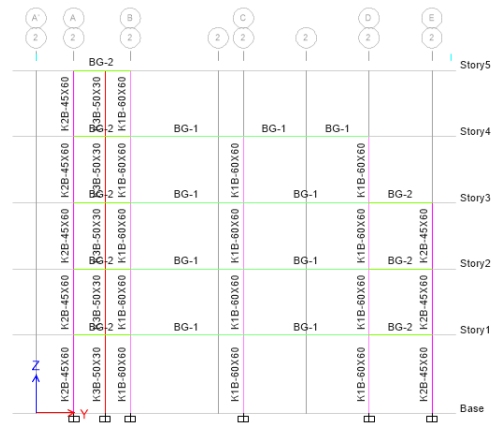
Gambar 3.15. Permodelan ETABS V.18.1.1 As D Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



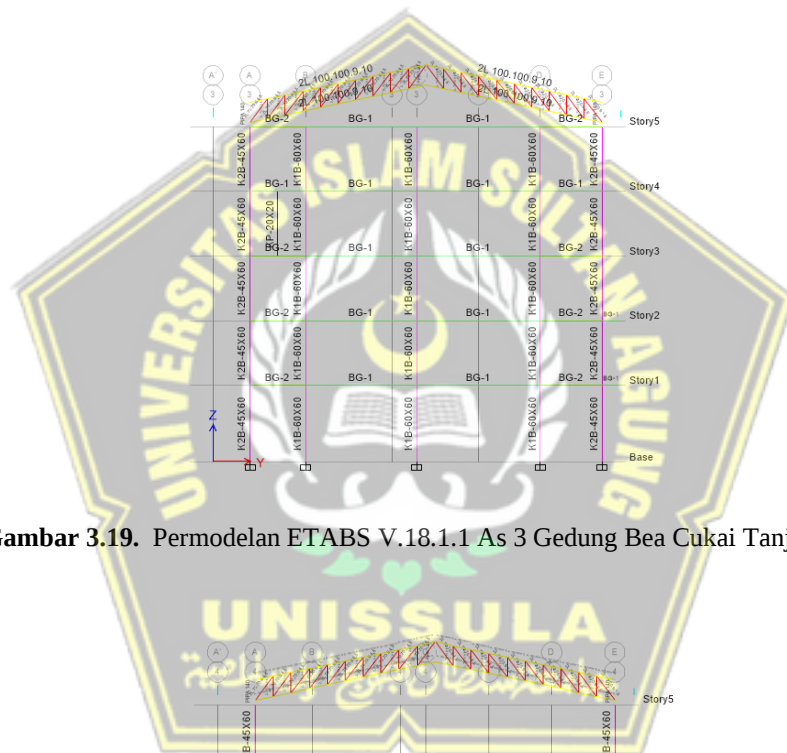
Gambar 3.16. Permodelan ETABS V.18.1.1 As E Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



Gambar 3.17. Permodelan ETABS V.18.1.1 As 1 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



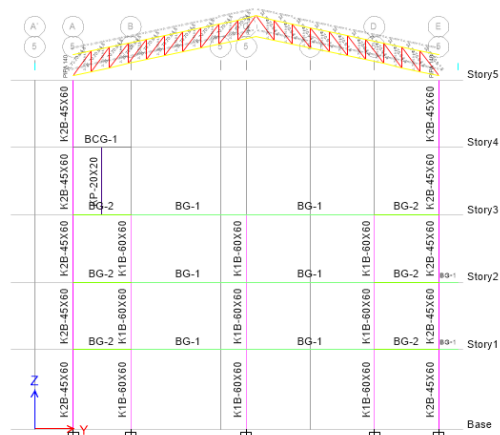
Gambar 3.18. Permodelan ETABS V.18.1.1 As 2 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



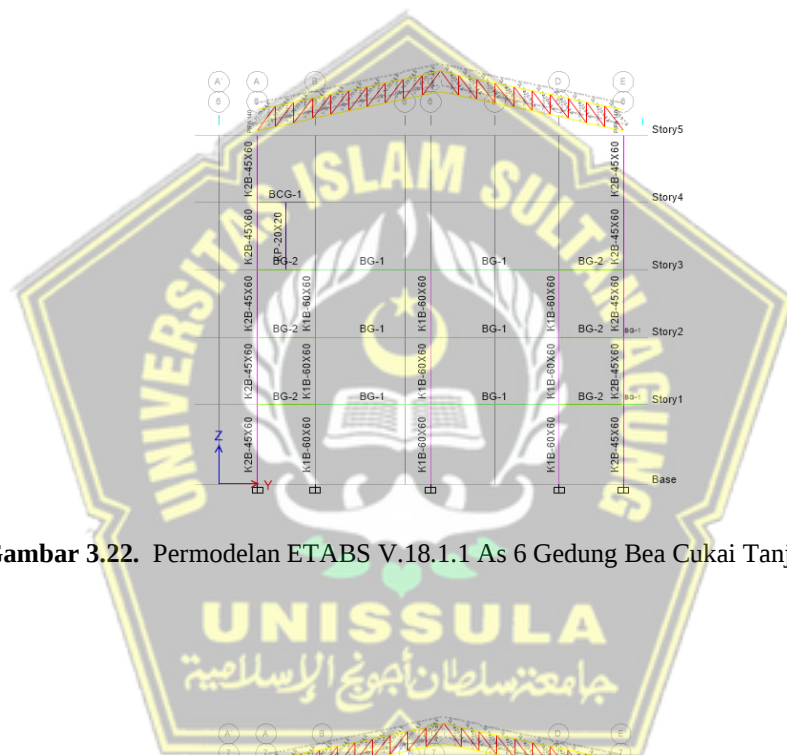
Gambar 3.19. Permodelan ETABS V.18.1.1 As 3 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



Gambar 3.20. Permodelan ETABS V.18.1.1 As 4 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



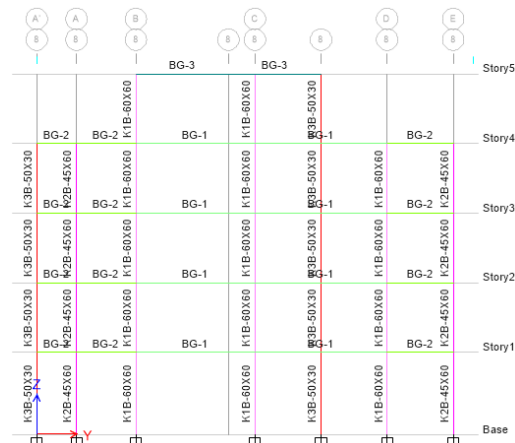
Gambar 3.21. Permodelan ETABS V.18.1.1 As 5 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



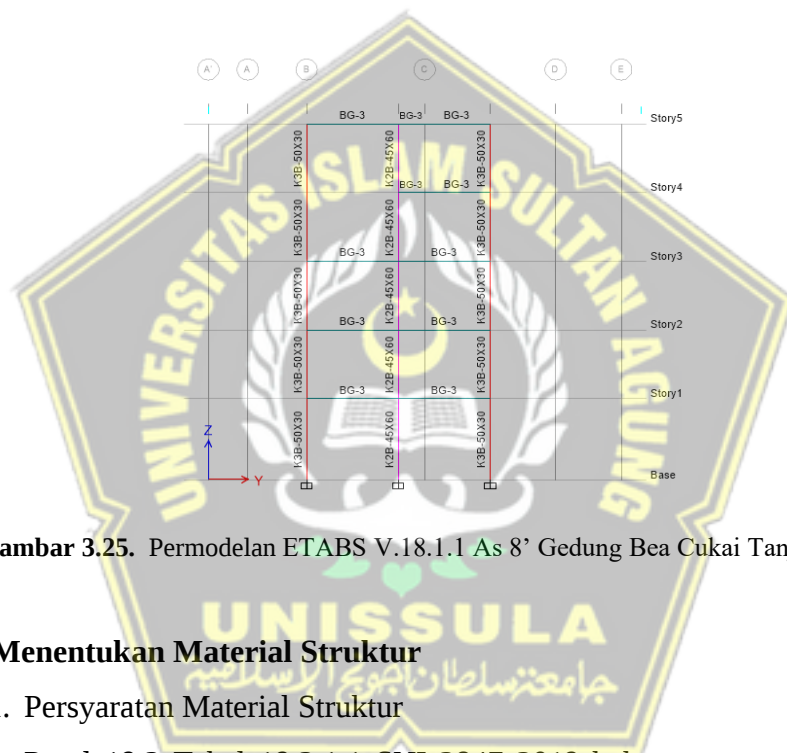
Gambar 3.22. Permodelan ETABS V.18.1.1 As 6 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



Gambar 3.23. Permodelan ETABS V.18.1.1 As 7 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



Gambar 3.24. Permodelan ETABS V.18.1.1 As 8 Gedung Bea Cukai Tanjung Emas



Gambar 3.25. Permodelan ETABS V.18.1.1 As 8' Gedung Bea Cukai Tanjung Emas

3.5.1. Menentukan Material Struktur

1. Persyaratan Material Struktur

Pasal 19.2 Tabel 19.2.1.1 SNI 2847 2019 bahwa syarat minimum kuat tekan beton untuk beton biasa tidak boleh lebih dari 17 MPa. Untuk Dinding Struktural Khusus 21 MPa dan 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 3.3. Kategori Risiko SNI 1726 2019

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : • Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen / rumah susun • Pusat perbelanjaan / mall • Bangunan industry • Fasilitas manufaktur • Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan un • Fasilitas penitipan anak	III

un **Tabel 3.3.** Kategori Risiko SNI 1726 2019 (Lanjutan)

Tabel 3.3. Kategori Risiko SNI 1726 2019 (Lanjutan)

• Penjara • Bangunan untuk orang jompo 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, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahanyang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
Gedung dan gedung yang ditunjukkan sebagai failitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: • Bangunan-bangunan monumental • Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan • Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat • Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya	IV

Tabel 3.3. Kategori Risiko SNI 1726 2019 (Lanjutan)

• Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat • Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat	
--	--

3.5.2. Menentukan Data Tanah

Uji infiltrasi standar (SPT) adalah percobaan yang dilakukan langsung di lokasi untuk mengetahui daya dukung tanah dengan memasukkan tabung sampel (*split spoon*). SPT menentukan konsistensi atau kepadatan tanah di lokasi. *Split spoon sampling* terpasang. *Split spoon* di dorong ke tanah pada kedalaman tertentu (sekitar 45 cm).

Pada pelaksanaan uji eksisting yang kami laksanakan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini menggunakan Pengujian Lapangan Pengeboran, Pengeboran adalah cara pertama dan termudah untuk menguji tanah. Pengeboran dilakukan untuk mendapatkan lapisan struktur tanah (sampel) pada saat pengeboran, dengan mencatat jenis, warna dan kedalaman masing-masing tanah yang dihilangkan oleh mata bor. Saat menggali, perhatikan kedalaman air tanah. Selama studi lapangan ini, beberapa sumur dibor untuk pengujian lapangan, antara lain:

1. SPT (*Soil Penetrometer Test*) dilakukan secara berkala di tambang
2. Uji permeabilitas tanah dan batuan dasar
3. Pengambilan sampel bebas gangguan menggunakan metode laras berinti tipis pada interval tertentu untuk pengujian laboratorium.

3.5.3. Menentukan Kelas Situs Tanah

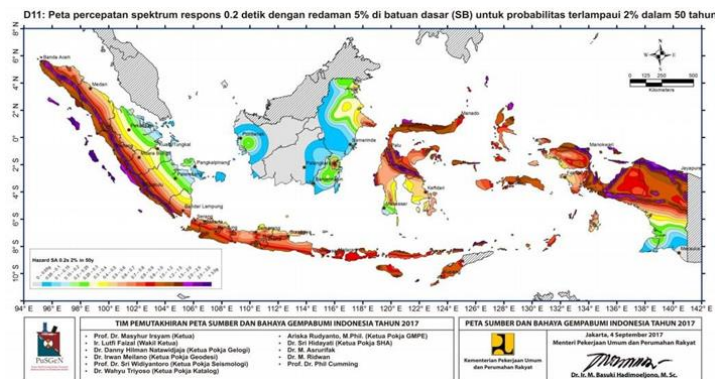
Tabel 3.4. Tabel Kelas Situs Tanah

Kelas Situs	V_s (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{CK}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (Batuan Keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (Tanah Keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (Tanah Lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setia profil tanah yang mengandung lebih dari tiga meter tanah dengan karakteristik sebagai berikut: Indeks plastisitas, $PI > 20$; Kada Air, $W \geq 40$ %; Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (Tanah Khusus yang membutuhkan investigasi geoteknis spesifik dan Analisa respon spesifik khusus)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah.		

(Sumber: PT. Gaza Rancang Bagus Guna)

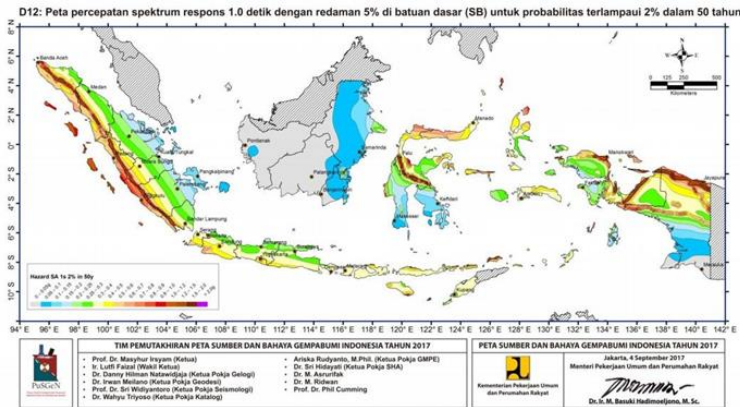
3.5.4. Menentukan Parameter Percepatan Gempa

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 3.26. Percepatan respons gempa MCE_R Periodik Pendek (S_s)

(Sumber : <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>)



Gambar 3.27. Percepatan Periode 1 Detik S_1

(Sumber : <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>)

Kategori desain seismik harus ditentukan sesuai dengan karakteristik percepatan seismik menurut SNI 1726 2019 pasal 6.5. Struktur dengan kategori risiko I, II, dan III dengan persepsi posisi dan nilai S_1 sebesar 0,75 disebut struktur seismik desain kategori E, sedangkan struktur dengan kategori risiko IV dengan posisi akselerasi dan nilai S_1 sebesar 0,75 sebaiknya dikategorikan sebagai Struktur Bagian Struktural F.

3.5.5. Menentukan Sistem Struktur

1. Faktor Penahan Gaya Gempa

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

Tabel 3.5. Faktor Penahan Gaya Lateral

Sistem penahan gaya seismik	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
Rangka baja dan beton pemikul momen Khusus	8	3	5 1/2	TB	TB	TB	TB	TB

Proses analisis dilakukan sesuai dengan parameter bangunan dan kategori desain seismik, tabel 16 Pasal 7.7 SNI 1726 2019. Pasal 7.7.3

menyebutkan bahwa jika pemodelan 3D dilakukan, minimal 3 derajat kebebasan terdiri dua arah dan satu rotasi yang harus dipenuhi.

2. 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 lebih kecil dari periode minimum atau lebih besar dari periode maksimum struktur sebagaimana yang dimaksud.

Tabel 3.6. Koefisien parameter Periode Getar Struktur

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

3.5.6. Menentukan Periode Fundamental Pendekatan

Tabel 3.7. Koefisien batas 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

1. Periode Gaya Lateral Ekuivalen

Gaya geser dasar gempa V harus ditentukan menggunakan persamaan sesuai pada Pasal 7.8 SNI 1726 2019 yang dilihat pada persamaan 3.1.

$$V = C_s \times W \dots\dots\dots(3.1)$$

Penjelasan :

V = Gaya geser dasar seismik

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif efektif

2. Prosedur Analisa Dinamik Response Spektrum

a. Jumlah Ragam

Analisa harus mendapat partisipasi massa minimal 100% dari massa struktur untuk menyertakan jumlah ragam.

b. Skala Nilai Desain Apabila digunakan Analisa

Jika periodik fundamental yang di hitung lebih besar dari $C_u.T_a$, maka $C_u.T_a$ diharuskan digunakan untuk pengganti T pada arah tersebut. Respon gabungan geser dasar (V_t) harus dikalikan dengan 1,0 (V/V_t) karena kurang dari 100% dari geser dasar yang di hitung (V) dengan menggunakan pendekatan gaya lateral yang sebanding.

c. Parameter Response

Skala parameter respon gaya harus dikalikan dengan (I/R). dimana I adalah faktor prioritas bangunan dan R adalah faktor modifikasi respon untuk setiap analisis seismik. Maka Anda perlu mengalikan besarnya simpangan dengan (C_d/I). Dimana C_d adalah faktor skala deviasi dan I adalah faktor prioritas bangunan.

3.5.7. Menentukan Simpangan Antar Lantai Ijin

Simpangan antar tingkat desain (Δ) seperti ditentukan dalam 0, atau 0, tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dari table 20 pasal 7.12.1 SNI 1726 2019

Tabel 3.8. Simpangan antar tingkat izin, Δa a,b

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

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

CATATAN:

- hsx adalah ketinggian bidang di bawah bidang x.
- Untuk sistem penahan beban seismik yang hanya terdiri dari rangka momen kategori desain seismik D, E, dan F, deviasi antara tingkat persetujuan harus memenuhi persyaratan nol.
- Untuk struktur satu lantai dengan dinding interior, partisi, lantai, dan sistem dinding eksterior yang dirancang untuk mengakomodasi perpindahan antar lantai, tidak boleh ada batas antar lantai yang diperbolehkan. Persyaratan isolasi struktural pada 0 tidak diabaikan.
- Suatu struktur yang sistem strukturnya terdiri dari dinding geser pasangan bata yang dirancang sebagai elemen kantilever vertikal dari dasar atau kolom pondasi yang dirancang sedemikian rupa sehingga transfer momen (penyambung) antara dinding geser dapat diabaikan.

3.5.8. Menentukan Efek P – Delta

- Pengaruh Efek P – Delta

Sesuai dengan Pasal 7.8.7 SNI 1726 2019 kontrol kestabilan struktur terhadap efek P – Delta diperhitungkan dapat dilihat pada persamaaan 3.2.

$$\Delta = \frac{P_x \Delta s I_e}{V_x h_{sx} C_d} \dots\dots\dots (3.2)$$

Penjelasan :

P_x = Beban aksial tanpa factor (kN)

Δs = Simpangan antar lantai (mm)

I_e = Faktor keutamaan bangunan

V = Gaya geser antar tingkat (kN)

h_{sx} = Tinggi tingkat (mm)

3.5.9. Menentukan Ketidakteraturan Struktur

Menurut SNI 1726 2019 Pasal 7.3.2, struktur diklasifikasikan sebagai beraturan atau tidak beraturan, dengan konfigurasi struktur dibagi lagi secara horizontal dan vertikal.

3.5.10. Ketidakteraturan Struktur Horizontal

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

Tabel 3.9. Ketidakteraturan Horizontal Struktur Berdasarkan SNI 1726 2019

	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

Tabel 3.9. Ketidakteraturan Horizontal Struktur Berdasarkan SNI 1726 2019 (Lanjutan)

2	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ad ajika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai dibawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal system pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4	Ketidakberaturan 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 bawahnya.	0 0 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80% kekuatan lateral tingkat diatasnya. 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	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ad ajika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65% kekuatan lateral tingkat diatasnya. 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

3.5.11. Ketidakteraturan Struktur Vertikal

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

Tabel 3.10. Ketidakteraturan Vertikal Struktur Berdasarkan SNI 1726 2019

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a	Ketidakberaturan Torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah stau ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung sturktur. 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

Tabel 3.10. Ketidakteraturan Vertikal Struktur Berdasarkan SNI 1726 2019 (Lanjutan)

1b	Ketidakberaturan 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 dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0	E dan F
		0	D
		0	B, C, dan D
		0	C dan D
		0	C dan D
		0	D
		Tabel 16	B, C, dan D
		0	
2	Ketidakberaturan 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	D, E, dan F
		Tabel 16	D, E, dan F
3	Ketidakberaturan 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	D, E, dan F
		Tabel 16	D, E, dan F
4	Ketidakberaturan 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 vertical pemikul gaya lateral.	0	B, C, D, E, dan F
		0	D, E, dan F
		0	B, C, D, E, dan F
		Tabel 16	D, E, dan F
		0	B, C, D, E, dan F
5a	Ketidakberaturan Sistem Non-paralel didefinisikan ada jika elemen vertical pemikul gaya lateral tidak parallel terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	0	C, D, E, dan F
		0	B, C, D, E, dan F
		Tabel 16	D, E, dan F
		0	B, C, D, E, dan F

3.5.12. Menentukan Level Kinerja Struktur

Tingkat Kinerja Struktural adalah batasan kondisi struktur berdasarkan kerusakan fisik, keselamatan jiwa dan ketersediaan struktur pasca gempa, baik struktur maupun non struktur. Berdasarkan ATC-40, kinerja struktur bangunan dapat diklasifikasikan ke dalam kategori berikut:

a. *Immediate Occupancy (IO)*

Kategori ini untuk konstruksi bangunan yang aman. Risiko nyawa manusia akibat kegagalan struktur kecil, bangunan tidak rusak parah dan fungsi/operasinya dapat dipulihkan dengan cepat.

b. *Damage Control (DC)*

Kategori ini adalah struktur bangunan yang muncul setelah gempa bumi, dan kerusakannya berbeda antara kategori hunian langsung dan keselamatan jiwa. Risiko kematian sangat rendah. Struktur bangunan diperbolehkan rusak, tetapi tidak akan runtuh.

c. *Life Safety (LS)*

Struktur bangunan dalam kategori ini terlalu ulet. Kategori ini mencakup struktur bangunan yang tidak dapat digunakan secara mendesak sebagai fasilitas penyelamatan setelah gempa bumi. Risiko kematian yang sangat rendah.

d. *Limited Safety*

Limited Safety bukan merupakan level spesifik, tetapi merupakan jarak anatara *Live Safety* dan *Structural Stability*.

e. *Structural Stability*

Kestabilan struktur yang termasuk dalam kategori ini adalah struktur bangunan yang akan runtuh total setelah terjadi gempa.

f. *Not Considered*

Not Considered khusus untuk evaluasi seismik non-struktural atau retrofit, bukan tingkat kinerja.

ATC-40 memberikan batas level kinerja struktur berdasarkan rasio simpangan (drift) atap dengan rincian pada Tabel berikut :

Tabel 3.11. Kriteria Level Kinerja

Parameter	Performance Level			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maximum Drift</i>	< 0,01	0,01 – 0,019	0,02	0,33 (Vi/Pi)
<i>Maximum Inelastic Drift</i>	< 0,005	0,005 – 0,015	No Limit	No Limit

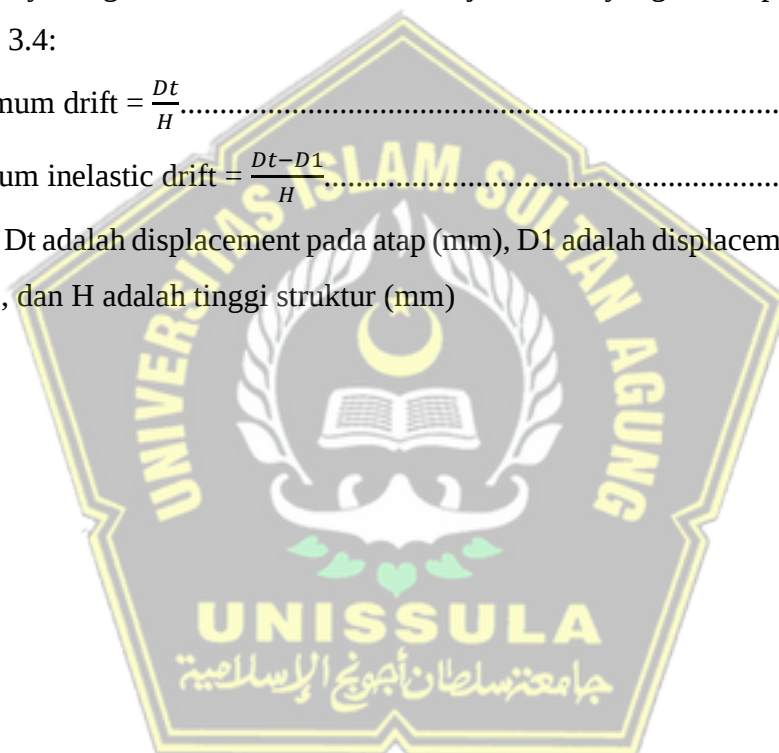
(Sumber: ATC-40)

Selanjutnya langkah menentukan level kinerja struktur yang dilihat pada persamaan 3.3 dan 3.4:

$$\text{Maximum drift} = \frac{Dt}{H} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\text{Maximum inelastic drift} = \frac{Dt - D1}{H} \dots\dots\dots (3.4)$$

dengan Dt adalah displacement pada atap (mm), D1 adalah displacement pada lantai 1 (mm), dan H adalah tinggi struktur (mm)



BAB IV

PERHITUNGAN ANALISA STRUKTUR

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 12 tahun yang lalu, yang merupakan bangunan yang dianggap sudah lumayan tua. Karena bangunan ini dibangun 12 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 Bea Cukai Tanjung Emas, diperoleh data sebagai berikut:

1. Bangunan bertingkat 5 lantai dengan atap.
2. Elemen struktur menggunakan konstruksi beton bertulang.
3. Fungsi bangunan sebagai gedung perkantoran.

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 srtruktur beserta ulasanya diperlihatkan pada Tabel 4.1. Hasil Pengamatan Visual Gedung Bea Cukai Tanjung Emas.



Gambar 4.1. Tampak Bangunan Bea Cukai Tanjung Emas

Tabel 4.1. Hasil Pengamatan Visual Gedung Bea Cukai Tanjung Emas

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

Tabel 4.1. Hasil Pengamatan Visual Gedung Bea Cukai Tanjung Emas (Lanjutan)

			☒ 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

Tabel 4.1. Hasil Pengamatan Visual Gedung Bea Cukai Tanjung Emas (Lanjutan)

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

Tabel 4.1. Hasil Pengamatan Visual Gedung Bea Cukai Tanjung Emas (Lanjutan)

			☐ Tidak Rusak ☒ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total
			☐ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☒ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total
4	Rangka Atap		☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat ☐ Rusak Total

Ditampilkan juga hasil pengamatan visual sesuai dengan standar tabel SIMAK GEDUNG PUPR, yang diperoleh dari acuan resmi *website* PUPR yang dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut.

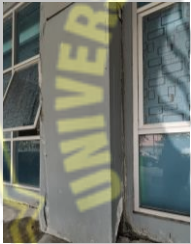
Tabel 4.2. Tabel Simak Gedung Bea Cukai Tanjung Emas

1. Pondasi dan Tiebeam (*Apabila dapat diamati*)

Sampel ke-...	Pengamatan Visual terhadap Kerusakan	Pengukuran	Pemeriksaan Kesesuaian Kondisi Faktual dengan Rencana Teknis dan Gambar Terbangun	Penggunaan Peralatan Non-Destruktif	Keterangan
1	 ☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat	-	☒ Sesuai ☐ Tidak Sesuai,	-	Pengamatan dilakukan pada dinding bagian bawah gedung
2	 ☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat	-	☒ Sesuai ☐ Tidak Sesuai, yaitu ...	-	Pengamatan dilakukan pada dinding bagian bawah gedung

Tabel 4.2. Tabel Simak Gedung Bea Cukai Tanjung Emas (Lanjutan)

2. Kolom

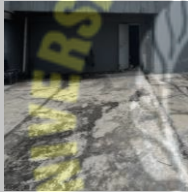
Sampel ke-...	Pengamatan Visual terhadap Kerusakan	Pengukuran	Pemeriksaan Kesesuaian Kondisi Faktual dengan Rencana Teknis dan Gambar Terbangun	Penggunaan Peralatan Non-Destruktif	Keterangan
1	 ☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat	Dimensi: K3 50x30	☒ Sesuai ☐ Tidak Sesuai	Rata – rata diatas K-350 kg/cm ²	Sampel pengujian mutu dilakukan pada Kolom Beton Lantai 1
2	 ☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat	Dimensi: K2 45x60	☒ Sesuai ☐ Tidak Sesuai	Rata – rata diatas K-350 kg/cm ²	Pengujian mutu beton dilakukan Kolom Beton Lantai 1
3	 ☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat	Dimensi: K3 50x30	☒ Sesuai ☐ Tidak Sesuai	Hasil: ... Rata – rata diatas K-350 kg/cm ²	Pengujian mutu beton dilakukan Kolom Beton Lantai 1

Tabel 4.2. Tabel Simak Gedung Bea Cukai Tanjung Emas (Lanjutan)

Sampel ke-...	Pengamatan Visual terhadap Kerusakan	Pengukuran	Pemeriksaan Kesesuaian Kondisi Faktual dengan Rencana Teknis dan Gambar Terbangun	Penggunaan Peralatan Non-Destruktif	Keterangan
4	 ☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat	Dimensi: K1 60x60	☒ Sesuai ☐ Tidak Sesuai	Rata – rata diatas K-350 kg/cm ²	Sampel pengujian mutu dilakukan pada Kolom Beton Lantai 2
5	 ☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat	Dimensi: K2 45x60	☒ Sesuai ☐ Tidak Sesuai	Rata – rata diatas K-350 kg/cm ²	Pengujian mutu beton dilakukan Kolom Beton Lantai 3

Tabel 4.2. Tabel Simak Gedung Bea Cukai Tanjung Emas (Lanjutan)

3. Plat Lantai

Sampel ke-...	Pengamatan Visual terhadap Kerusakan	Pengukuran	Pemeriksaan Kesesuaian Kondisi Faktual dengan Rencana Teknis dan Gambar Terbangun	Penggunaan Peralatan Non-Destruktif	Keterangan
1	 ☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat	Dimensi: Plat lantai 120mm	☒ Sesuai ☐ Tidak Sesuai	Rata – rata diatas K-350 kg/cm ²	Sampel pengujian mutu dilakukan pada Plat Lantai 3
2	 ☐ Tidak Rusak ☒ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat	Dimensi: Plat lantai 120mm	☒ Sesuai ☐ Tidak Sesuai	Hasil: ... Rata – rata diatas K-350 kg/cm ²	Pengujian mutu beton dilakukan pada Plat Lantai 5
3	 ☐ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☒ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat	Dimensi: Plat lantai 120mm	☒ Sesuai ☐ Tidak Sesuai	Hasil: ... Rata – rata diatas K-350 kg/cm ²	Pengujian mutu beton dilakukan pada Plat Lantai Dasar

Tabel 4.2. Tabel Simak Gedung Bea Cukai Tanjung Emas (Lanjutan)

4. Balok Lantai

Sampel ke-...	Pengamatan Visual terhadap Kerusakan	Pengukuran	Pemeriksaan Kesesuaian Kondisi Faktual dengan Rencana Teknis dan Gambar Terbangun	Penggunaan Peralatan Non-Destruktif	Keterangan
1	 ☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat	Dimensi: G1 70x70	☒ Sesuai ☐ Tidak Sesuai	Rata – rata diatas K-350 kg/cm ²	Pengujian mutu beton dilakukan pada Balok Beton Lantai 3
2	 ☐ Tidak Rusak ☒ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat	Dimensi: G1 70x70	☒ Sesuai ☐ Tidak Sesuai	Hasil: ... Rata – rata diatas K-350 kg/cm ²	Pengujian mutu beton dilakukan pada Balok Beton Lantai 5
3	 ☐ Tidak Rusak ☒ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat	Dimensi: G4 45x30	☒ Sesuai ☐ Tidak Sesuai	Rata – rata diatas K-350 kg/cm ²	Pengujian mutu beton dilakukan pada Balok Beton Lantai 5

Tabel 4.2. Tabel Simak Gedung Bea Cukai Tanjung Emas (Lanjutan)

5. Rangka Atap

Sampel ke-...	Pengamatan Visual terhadap Kerusakan	Pengukuran	Pemeriksaan Kesesuaian Kondisi Faktual dengan Rencana Teknis dan Gambar Terbangun	Penggunaan Peralatan Non-Destruktif	Keterangan
1	 ☒ Tidak Rusak ☐ Rusak Ringan ☐ Rusak Sedang ☐ Rusak Berat	Dimensi: ... Baja 2L Rangka Cremona	☒ Sesuai ☐ Tidak Sesuai	Rata-rata masih aman	Pengujian mutu beton dilakukan pada Kuda – kuda cremona

Kategori kerusakan struktur didefinisikan sebagai berikut, Kerusakan ringan struktur, dimana terjadi retak kecil dengan lebar celah antara 0,075 cm sampai 6 cm yang menyebar luas di berbagai tempat. Kerusakan struktur tingkat sedang, dimana terdapat retak besar dengan lebar lebih dari 6 cm yang menyebar luas di berbagai tempat. Kerusakan struktur tingkat berat, dapat didefinisikan tingkat berat jika kerusakan sudah mencapai lebih dari 50 % dari total luasan bangunan. Kerusakan total struktur, dimana bangunan mengalami kerusakan elemen struktur hingga lebih dari 65 % atau sebagian besar komponen utama struktur rusak. (Enggartiaso, 2021)

Berdasarkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Pada titik tinjauan kolom tidak terdapat kolom yang mengalami kerusakan struktur. Secara keseluruhan struktur pada titik tinjauan kolom masih dikatakan aman karena struktur tidak 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 menunjukkan bahwa balok mengalami kerusakan berat pada titik tinjauan pertama sampai terakhir pada balok hanya menunjukkan

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 dikatakan aman atau layak untuk digunakan.

Struktur eksisting pelat lantai pada titik tinjauan ketiga tidak menunjukkan kerusakan struktur berat, ada yang menunjukkan kerusakan struktur ringan dan sedang karena retakan yang terjadi pada pelat itu sendiri. Namun hal itu tidak terjadi pada keseluruhan pelat lantai. Maka dari itu struktur eksisting masih bisa dikatakan aman atau masih layak untuk digunakan.

4.2.2. Data Geometrik Bangunan

Berdasarkan informasi yang kami dapatkan, data – data geometrik pada elemen struktur di Gedung Bea Cukai Tanjung Emas lengkap, untuk itu dilakukan pengecekan ulang atau pengukuran terhadap kondisi eksisting dan diuraikan pada Tabel 4.3 tentang Data Geometrik Bangunan.

Tabel 4.3. Data Geometrik Bangunan

No	Uraian	Besaran Eksisting
1	Dimensi Pondasi	50000 mm, ø500 mm
2	Kolom Struktur a. Tinggi Kolom – Lantai 1 – Lantai 2 – Lantai 3 – Lantai 4 – Lantai 5 – Atap b. Dimensi Kolom – Lantai 1 – 5	5.000 mm 4.200 mm 4.200 mm 4.200 mm 4.200 mm 4.000 mm - 600 x 600 mm (K1B) - 450 x 600 mm (K2B) - 500 x 300 mm (K3B) - 450 x 350 mm (K4B) - 200 x 200 mm (KP)

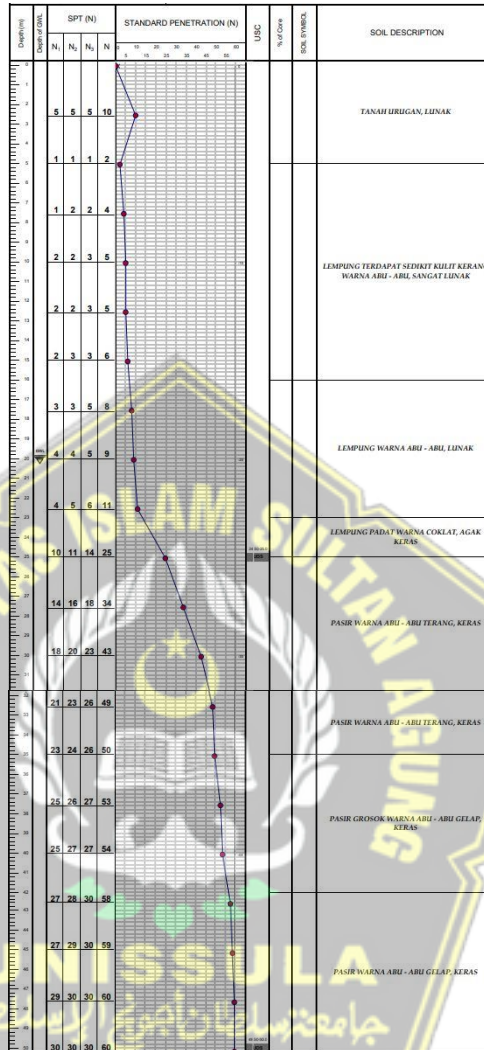
Tabel 4.3. Data Geometrik Bangunan (Lanjutan)

3	Dimensi Balok Struktur	
	a. Balok Induk	- 350 x 700 mm (BG1) - 350 x 400 mm (BG2) - 250 x 600 mm (BG3) - 250 x 400 mm (BG4) - 250 x 700 mm (BG5)
	b. Balok Anak	- 250 x 600 mm (B1) - 250 x 400 mm (B2) - 250 x 400 mm (B3) - 250 x 400 mm (B4) - 250 x 400 mm (BCB1) - 250 x 600 mm (BCB2) - 350 x 400 mm (BCG) - 350 x 700 mm (BG1) - 250 x 400 mm (B3) - 250 x 400 mm (BCB1)
4	c. Balok Konsol / Kantilever (Lantai 2 dan 3)	
	Dimensi Pelat Lantai	
	a. Pelat Lantai Dasar	Tebal 100 mm
	b. Pelat Lantai 2 – Atap	Tebal 120 mm

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

4.2.3. Hasil Penyelidikan Tanah

Pengujian tanah dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah dan jenis tanah, dan hasil tersebut akan dikorelasikan dengan kondisi eksisting bangunan.



Gambar 4.2. Hasil Bor Log

(Sumber : Pengujian Tanah Lab. Tanah Fakultas Teknik UNISSULA)

Pengujian tanah berupa bor, namun dikarenakan terbatasnya alat dan sarana maka kami tidak dapat mengambil sampel uji tanah maka kami menggunakan data pengujian tanah Lab. Tanah Fakultas Teknik UNISSULA dimana hasil tersebut ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Data Hasil Boring Tanah

Boring No	Kedalaman (m)	SPT (N)
BH. 1	2.60	10
	5.10	2
	7.60	4
	10.10	5
	12.60	5
	15.00	6
	17.60	8
	20.00	9
	22.60	11
	25.00	25
	27.60	34
	30.00	43
	32.60	49
	35.00	50
	37.60	53
	40.00	54
	42.60	58
	45.00	59
	47.60	60
	50.00	60



Gambar 4.3. Pengujian Bor Tanah

(Sumber : Pengujian Tanah Lab. Tanah Fakultas Teknik UNISSULA)

Berdasarkan daya dukung SPT diatas maka dipastikan pondasi menggunakan daya dukung ujung tiang (*point bearing pile*) karena telah ditemukan tanah keras pada kedalaman 25 meter.

4.2.4. Data Hasil Hammer Test

Pengujian *Hammer* pada permukaan beton ini bertujuan untuk mendapatkan perkiraan nilai kuat beton karakteristik pada struktur eksisting. Titik pengujian *Hammer* dilakukan pada elemen kolom, balok, dan pelat lantai. Dokumentasi pengujian diperlihatkan pada Gambar 4.4. Pengolahan hasil *hammer test* menggunakan SNI ASTM C805-02-2012. Pada penelitian kali ini beton tidak di gosok terlebih dahulu.



Gambar 4.4. Pengujian *Rebound Hammer*

Hasil pengujian *Hammer* selanjutnya diinput dan diolah menggunakan *Microsoft Excel*, berikut data hasil lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.5 sampai dengan tabel 4.10 dibawah ini:

- *Test Kolom*

Tabel 4.5. Nilai Pukulan *Hammer Test* Kolom Tiap Lantai

Lantai	Kolom	Pukulan Terkoreksi										Sudut Pengambilan	Rata - Rata
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Lantai 1	K1	31	32	31	33	31	31	30	30	35	30	0	31,40
	K2	31	31	30	32	28	30	32	30	29	31	0	30,40
	K3	32	34	30	27	31	29	31	30	32	30	0	30,60
	K4	29	30	30	30	34	30	29	32	28	30	0	30,20
Lantai 2	K5	31	30	30	31	31	32	30	30	30	31	0	30,60
	K6	30	31	31	31	30	31	30	31			0	30,63
	K7	31	30	30	30	30	32	27	30	29	34	0	30,30
Lantai 3	K8	30	31	30	30	30	31	30	30	31	32	0	30,50
	K9	42	46	41	41	38	47	40	42			0	42,13
Lantai 4	K10	38	38	37	30	32	30	30	34	33	36	0	33,80
	K11	35	33	38	35	35	35	34	35	33	39	0	35,20
	K12	43	42	40	44	42	38	38	38	36	38	0	39,90

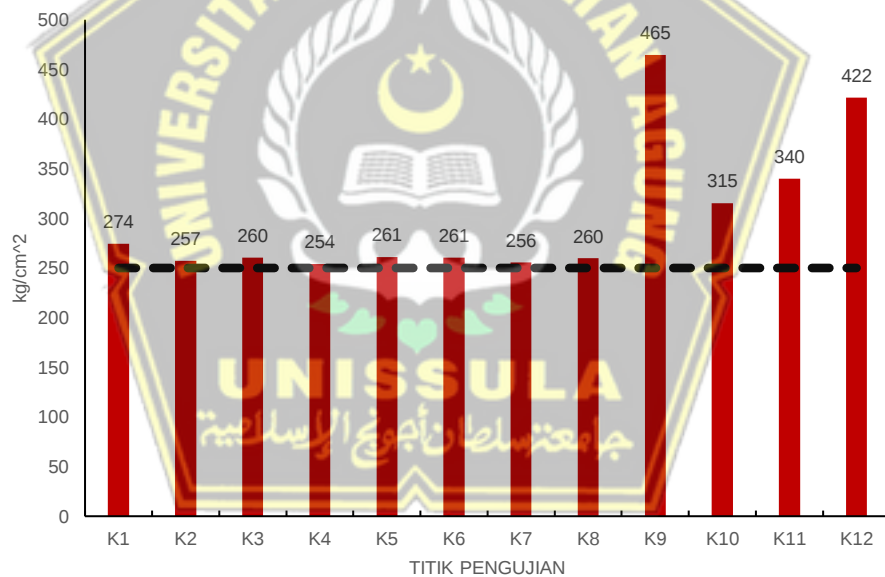
Data dari hasil pengecekan *hammer test* penampang balok Gedung Bea Cukai Tanjung Emas diolah kembali agar ditemukan perkiraan kuat tekan karakteristik beton kolom yang di sesuaikan dengan hasil *impact angle* pada tabel 4.6 yang kemudian di olah pada tabel 4.7.

Tabel 4.6. *Impact Angle Rebound Hammer Krisbow*

IMPACT ANGLE (α) KRISBOW					
R	$\alpha - 90$	$\alpha - 45$	$\alpha = 0$	$\alpha + 45$	$\alpha + 90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135			
23	160	145			
24	170	160			
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	265	238	190	170
33	290	280	250	210	190
34	310	290	260	220	200
35	320	310	280	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	370	340	300	280
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	420	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550

Tabel 4.7. Perkiraan Kuat Tekan Karakteristik Beton Kolom

Lantai	Kolom	Pukulan Terkoreksi										Sudut	Rata - Rata
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Lantai 1	K1	220	238	220	250	220	220	210	210	280	210	0	274
	K2	220	220	210	238	180	210	238	210	190	220	0	257
	K3	238	260	210	165	220	190	220	210	238	210	0	260
	K4	190	210	210	210	260	210	190	238	180	210	0	254
Lantai 2	K5	220	210	210	220	220	238	210	210	210	220	0	261
	K6	210	220	220	220	210	220	210	220			0	261
	K7	220	210	210	210	210	238	165	210	190	260	0	256
Lantai 3	K8	210	220	210	210	210	220	210	210	220	238	0	260
	K9	380	450	370	370	320	465	350	380			0	465
Lantai 4	K10	320	320	310	210	238	210	210	260	250	290	0	315
	K11	280	250	320	280	280	280	260	280	250	340	0	340
	K12	400	380	350	420	380	320	320	320	290	320	0	422
NILAI RATA - RATA													302



Gambar 4.5. Kuat Tekan Karakteristik Kolom

- *Test Balok*

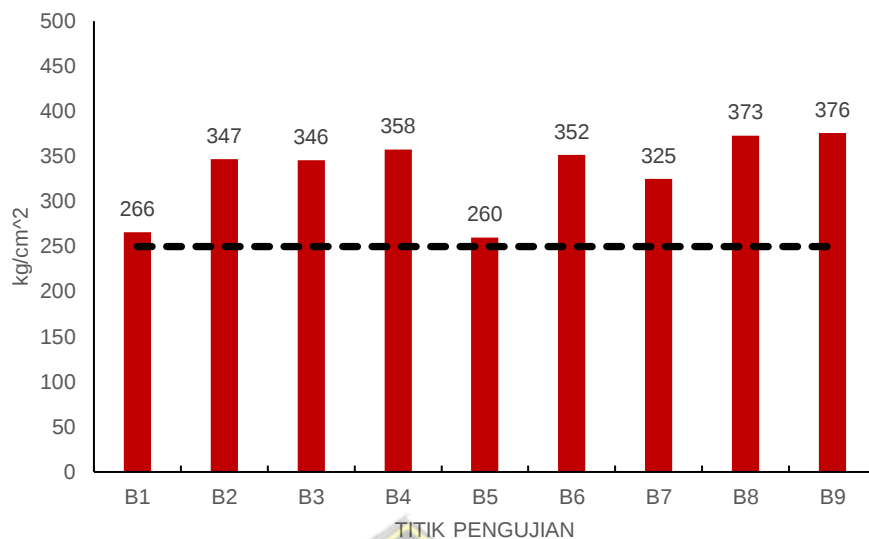
Tabel 4.8. Nilai Pukulan *Hammer Test* Balok Tiap Lantai

Lantai	Balok	Pukulan Terkoreksi										Sudut Pengambilan	Rata - Rata
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Lantai 2	B1	30	30	31	29	30	33	31	31	32	32	0	30,63
	B2	33	31	30	30	32	34	31	36	35	35	-90	32,70
	B3	31	30	32	36	33	33	35	32	30	34	-90	32,60
Lantai 3	B4	31	32	32	31	34	38	38	33	31	33	-90	33,30
	B5	31	29	31	31	31	31	31	31	32	19	0	29,70
Lantai 4	B6	33	28	30	36	39	30	31	34	38	30	-90	32,90
	B7	30	36	32	30	38	34	38	34	35	37	0	34,40
Lantai 5	B8	38	41	36	32	33	40	40	36	36	40	0	37,20
	B9	36	36	34	34	36	30	36	35	35	30	-90	34,20

Data dari hasil pengecekan *hammer test* penampang kolom Gedung Bea Cukai Tanjung Emas diolah kembali agar ditemukan perkiraan kuat tekan karakteristik beton kolom yang di sesuaikan dengan hasil *impact angle* pada tabel 4.8.

Tabel 4.9. Perkiraan Kuat Tekan Karakteristik Beton Balok

Lantai	Kolom	Pukulan Terkoreksi										Sudut	Rata - Rata
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Lantai 2	B1	210	210	220	190	210	250	220	220	238	238	0	266
	B2	290	260	250	250	280	310	260	340	320	320	-90	347
	B3	260	250	280	340	290	290	320	280	250	310	-90	346
Lantai 3	B4	260	280	280	260	310	370	370	290	260	290	-90	358
	B5	220	190	220	220	220	220	220	220	238	190	0	260
Lantai 4	B6	290	220	250	340	380	250	260	310	370	250	-90	352
	B7	210	290	238	210	320	260	320	260	280	310	0	325
Lantai 5	B8	320	370	290	238	250	350	350	290	290	350	0	373
	B9	340	340	310	310	340	250	340	320	320	250	-90	376
NILAI RATA - RATA													334



Gambar 4.6. Kuat Tekan Karakteristik Balok

- Test Plat

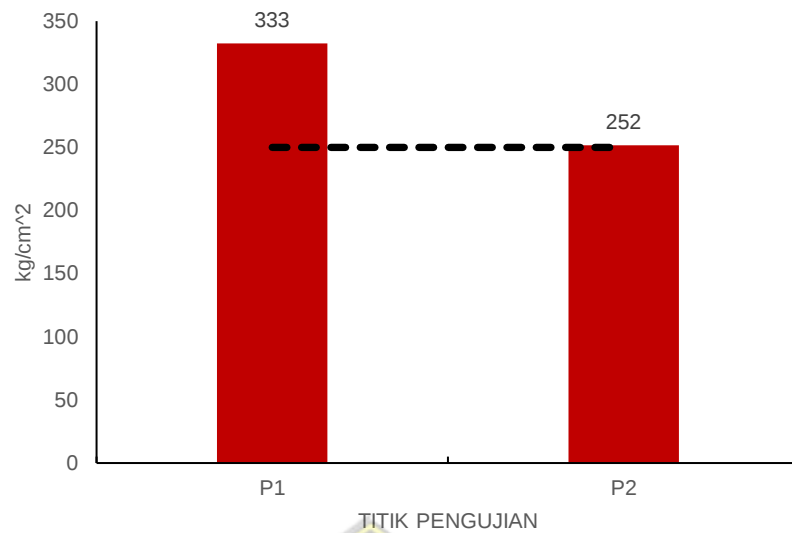
Tabel 4.10. Nilai Pukulan *Hammer Test* Plat Lantai

Lantai	Plat	Pukulan Terkoreksi										Sudut Pengambilan	Rata - Rata
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	P1	33	32	33	29	32	30	33	33	34	35	-90	31,88
	P2	37	35	35	36	35	33	33	34	33	33	90	32,50

Data dari hasil pengecekan *hammer test* penampang plat lantai Gedung Bea Cukai Tanjung Emas diolah kembali agar ditemukan perkiraan kuat tekan karakteristik beton kolom yang di sesuaikan dengan hasil *impact angle* pada tabel 4.10.

Tabel 4.11. Perkiraan Kuat Tekan Karakteristik Beton Plat Lantai

Lantai	Plat	Pukulan Terkoreksi										Sudut	Rata - Rata
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	P1	290	280	290	238	280	250	290	290	310	320	-90	333
	P2	245	218	218	230	218	190	190	200	190	190	90	252
	NILAI RATA - RATA												292



Gambar 4.7. Kuat Tekan Karakteristik Pelat Lantai

Berdasarkan hasil pengujian *hammer* diatas terlihat bahwa kuat tekan karakteristik beton bervariasi, pada kolom memiliki nilai 23,148 MPa hingga 45,601 MPa dengan nilai rata - rata 29,126 MPa; pada balok memiliki nilai 21,182 MPa hingga 36,873 MPa dengan nilai rata - rata 31,872 MPa; serta pada pelat lantai memiliki nilai 21,182 MPa hingga 32,656 MPa dengan nilai rata - rata 26,8702 MPa. Secara keseluruhan rata – rata yang didapat dari kuat tekan karakteristik bernilai 29,289 MPa. Mengingat gedung ini dibangun tahun 2010, 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 struktur.

4.2.5. Pengujian *Rebar Detector*

Pengujian *Rebar Detector* dilakukan karena terbatasnya data Gambar Perencanaan Struktur, untuk mendapatkan hasil pengujian yang sempurna maka diperlukan pengujian *Rebar Detector*. Pengujian dilakukan pada kolom struktur pada setiap lantai.



Gambar 4.8. Uji *Rebar Detector*



Gambar 4.9. Hasil Uji *Rebar Detector*

Berdasarkan umur bangunan yang dibangun pada tahun 2010, pada waktu itu struktur bangunan menggunakan baja tulangan jenis baja ulir yang diameter dan jenis tulangnya tercantum pada tabel 4.8 yang diperoleh dari hasil pengujian *Rebar Detector*.

Tabel 4.12. Uji *Rebar Detector*

Lantai	Diameter Kolom	Jenis Tulangan
Lantai 1	K2B = 450 x 600 mm	U = D22-200 S = D10-60
Lantai 2	K1B = 600 x 600 mm	U = D22-70 S = D10-70
Lantai 3	K1B = 600 x 600 mm	U = D22-70 S = D10-60
Lantai 4	K1B = 600 x 600 mm	U = D22-80 S = D10-60

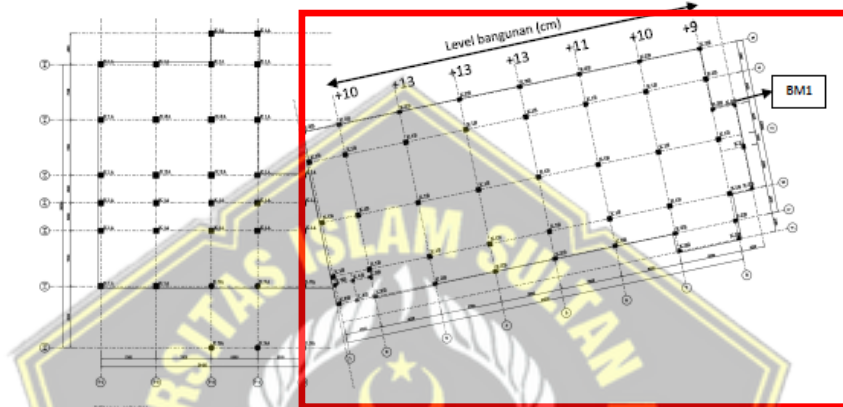
Berdasarkan tabel yang diperoleh dari hasil pengujian menggunakan *Rebar Detector* jenis tulangan yang digunakan sudah sesuai pada standart kala itu yaitu menggunakan SNI 07 – 0408 – 1998. Diameter pada hasil *Rebar Detector* diperoleh dari gambar perencanaan.

4.2.6. Pengukuran Level Bangunan

Data desain pondasi eksisting menunjukkan bahwa tiang pancang diameter 50 cm pada kedalaman 50 meter dari muka tanah asli setempat seperti dijelaskan pada sub bab 4.5. Pengukuran level bangunan pada gedung bea cukai tanjung emas mengacu pada titik BM-1 dengan mengambil titik acuan + 1 meter yang selanjutnya didapatkan elevasi pada As 8 – E sebesar +9 cm, As 7 – E sebesar +10 cm, As 6 – E sebesar +11 cm dan berturut – turut hingga As 2 – E sebesar + 10 cm. Perbedaan elevasi dari pengukuran awal hingga pengukuran akhir adalah 1 cm. Perbedaan tersebut masih wajar karena pada bangunan eksisting lantai dasar lapisan finishing / plesteran tidak merata. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, dapat dikatakan bahwa bangunan tidak mengalami penurunan meskipun tanah disekeliling bangunan mengalami penurunan. Hal tersebut dikarenakan pondasi bangunan telah berada ditanah yang sangat keras (NSPT 60) pada kedalaman 50 meter.



Gambar 4.10. Pengukuran Level Bangunan

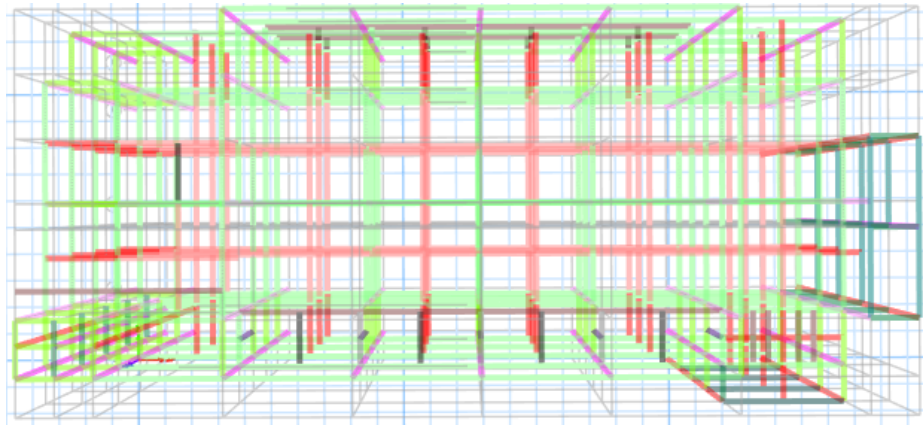


Gambar 4.11. Hasil Pengukuran Level Bangunan

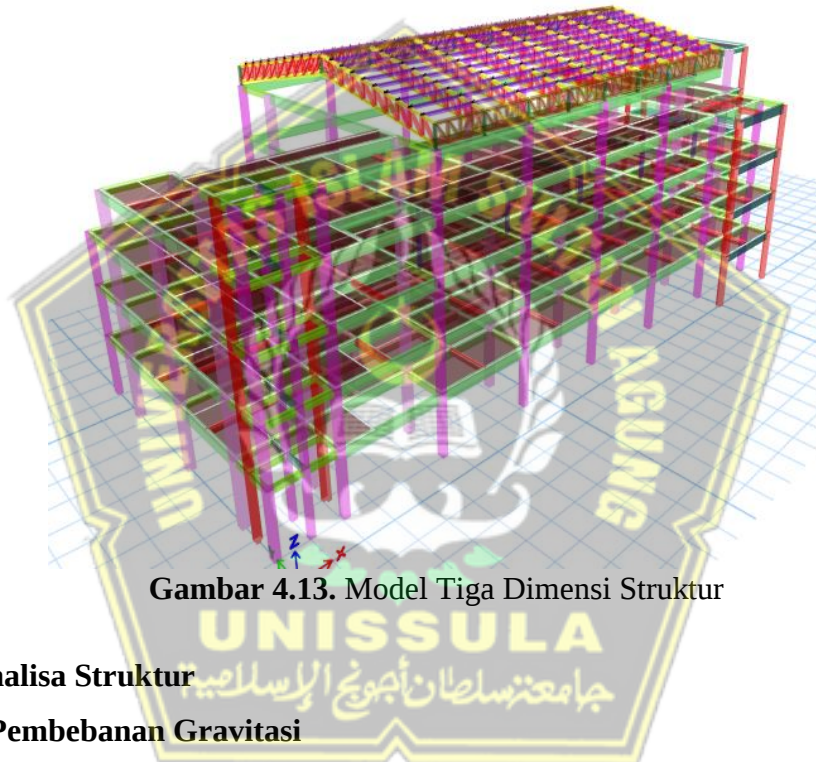
4.3. Permodelan Struktur Berdasarkan Kondisi Eksisting

Struktur gedung menggunakan sistem rangka pemikul momen yang dimodelkan untuk analisis 3D menggunakan perangkat lunak ETABS. Pemodelan didasarkan pada gambar perencanaan dan model yang akan dianalisis berupa bangunan atas. Beberapa gambar model struktur ditunjukkan di bawah ini, termasuk tampilan denah struktur pada Gambar 4.4 dan model struktur 3D pada Gambar 4.5. Model struktur yang dibebani secara vertikal menggunakan sistem pelat, balok, dan kolom untuk menahan beban lateral (dalam hal ini beban seismik). Sesuai sistem struktur yang digunakan maka diperoleh parameter R , C_d 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 4.12. Denah Struktur Lantai 1 sampai Lantai Atap



Gambar 4.13. Model Tiga Dimensi Struktur

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 gambar perencanaan. Peraturan, standar atau data yang di pakai 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 telah terhitung pada tabel 4.12 sebagai berikut.

Tabel 4.13. Perhitungan Beban Perlantai

LANTAI 1								
Berat Sendiri Struktur								
Elemen Tiebeam		Luas Penampang			Panjang			Volume per Jenis Balok (m ³)
		p (m)	l (m)	L (m ²)	bentang (m)	jumlah	p (m)	
	TB1	0,40	0,70	0,28	4,00	4,00	16,00	12,99
					4,80	4,00	19,20	
					5,60	2,00	11,20	
	TB2	0,40	0,70	0,28	8,00	37,00	296,00	99,01
					7,20	8,00	57,60	
	TB4	0,30	0,50	0,15	2,40	4,00	9,60	11,91
					3,00	3,00	9,00	
					3,60	8,00	28,80	
					4,00	8,00	32,00	
	Volume Total Balok (m ³) =							110,92
Berat Total Balok (γ = 24 kN/m ³) =							2662,03 kN	
Elemen Kolom		Luas Penampang			Panjang			Volume per Jenis Kolom (m ³)
		p (m)	l (m)	L (m ²)	bentang (m)	jumlah	p (m)	
	K1B	0,60	0,60	0,36	5,00	24,00	120,00	43,20
	K2B	0,60	0,45	0,27	5,00	17,00	85,00	22,95
	K3B	0,30	0,50	0,21	5,00	7,00	35,00	7,35
	K4B	0,35	0,45	0,16	5,00	2,00	10,00	1,58
	K5B	0,30	0,30	0,09	5,00	2,00	10,00	0,90
	Volume Total Kolom (m ³) =							75,98
	Berat Total Balok (γ = 24 kN/m ³) =							1823,40 kN
Elemen Pelat		Luas Penampang					Tebal Pelat	
		p (m)		l (m)		L (m ²)		
	0,1 m	52,80		22,80		1248,84	0,10 m	
	Volume Total Kolom (m ³) =							124,88
	Berat Total Pelat (γ = 24 kN/m ³) =							2997,22 kN

Tabel 4.13. Perhitungan Beban Perlantai (Lanjutan)

Berat Tambahan Pada Struktur		
Plesteran Keramik	Luas Penampang	Tebal
	1248,84 m ²	0,05 m
	Volume Total Plesteran Keramik (m ³) =	62,44
	Berat Total Plesteran Keramik (γ = 2200 kg/m ³ = 22 kN/m ³)=	1373,72 kN
Plafond	Luas Penampang	
	1248,84 m ²	
	Berat Total Plafond (Wplaf = 20 kg/m ² = 0,2 kN/m ²)=	249,768 kN
ME	Beban Mekanikal Elektrikal	
	1248,84 m ²	
	Berat M & E (WM&E = 50 kg/m ² = 0,5 kN/m ²)	624,42 kN
Beban Dinding	Luas Penampang	Beban Dinding per m ² (kN)
	143,6 m ²	2,5
	Berat Total Dinding =	1507,8
	Luas Penampang	Beban Kleding per m ² (kN)
	40 m ²	0,6
	Berat Total Kleding =	100,8
Berat Sendiri Struktur + Beban Mati Tambahan (kN) =		11339,16
Beban Hidup yang Bekerja Pada Struktur		
Beban Hidup	Area Pelat Seluas (m ²) =	1239,24
	Beban Hidup Pada Koridor, Lobi, dan Kantor (kN) =	5935,9596
	LL Tereduksi pada Struktur (25% LL) (kN) =	1483,9899
	Berat Total Lantai 1 (kN) =	12823,15

LANTAI 2								
Berat Sendiri Struktur								
Elemen Balok		Luas Penampang			Panjang			Volume per Jenis Balok (m ³)
		p (m)	l (m)	L (m ²)	bentang (m)	jumlah	p (m)	
		BG1	0,35	0,70	0,25	8,00	38,00	304,00
						7,20	8,00	57,60
						1,20	5,00	6,00
		BG2	0,35	0,40	0,14	4,80	6,00	28,80
						4,00	8,00	32,00
						3,60	8,00	28,80
						2,40	2,00	4,80

Tabel 4.13. Perhitungan Beban Perlantai (Lanjutan)

	BG3	0,25	0,60	0,15	5,60	2,00	11,20	1,68
	BG4	0,25	0,40	0, 10	3,00	3,00	9,00	1,26
					3,60	1,00	3,60	
	BG5	0,25	0,70	0,18	8,00	1,00	8,00	1,40
	B1	0,25	0,60	0,15	7,20	6,00	43,20	28,08
					8,00	18,00	144,00	
	B2	0,25	0,40	0,10	3,00	1,00	3,00	6,06
					3,60	5,00	18,00	
					4,00	6,00	24,00	
					4,80	2,00	9,60	
					6,00	1,00	6,00	
B3	0,25	0,40	0,10	8,00	4,00	32,00	3,20	
CB1	0,25	0,40	0,10	1,20	4,00	4,80	0,48	
Volume Total Balok (m³) =								145,44
Berat Total Balok (γ = 24 kN/m³) =								3490,51 kN
Elemen Kolom		Luas Penampang			Panjang			Volume per
		p (m)	l (m)	L (m²)	bentang (m)	jumlah	p (m)	Jenis Kolom (m³)
	K1B	0,60	0,60	0,36	4,20	24,00	100,80	36,29
	K2B	0,60	0,45	0,27	4,20	17,00	71,40	19,28
	K3B	0,30	0,50	0,21	4,20	7,00	29,40	6,17
	K4B	0,35	0,45	0,16	4,20	2,00	8,40	1,32
	Volume Total Kolom (m³) =							63,06
	Berat Total Balok (γ = 24 kN/m³) =							1513,51 kN
Elemen Pelat		Luas Penampang						Tebal Pelat
		p (m)	l (m)	L (m²)				
	0,12 m	52,80	22,80	1248,84		0,12 m		
	Volume Total Kolom (m³) =							149,86
	Berat Total Pelat (γ = 24 kN/m³) =							3596,66 kN
Berat Tambahan Pada Struktur								
Plesteran Keramik	Luas Penampang					Tebal Plesteran		
	1248,84 m²					0,05 m		
	Volume Total Plesteran Keramik (m³) =					62,44		
	Berat Total Plesteran Keramik (γ = 2200 kg/m3 = 22 kN/m3)=					1373,72 kN		
Plafond	Luas Penampang							
	1248,84 m²							

Tabel 4.13. Perhitungan Beban Perlantai (Lanjutan)

	Berat Total Plafond (Wplaf = 20 kg/m2 = 0,2 kN/m2)=		249,768 kN					
ME	Beban Mekanikal Elektrikal							
	1248,84 m²							
	Berat M & E (WM&E = 50 kg/m2 = 0,5 kN/m2) =		624,42 kN					
Beban Dinding	Luas Penampang		Beban Dinding per m² (kN)					
	143,6 m²		2,5					
	Berat Total Dinding =		1507,8					
	Luas Penampang		Beban Kleding per m² (kN)					
	40 m²		0,6					
	Berat Total Kleding =		100,8					
Berat Sendiri Struktur + Beban Mati Tambahan (kN) =			12457,20					
Beban Hidup yang Bekerja Pada Struktur								
Beban Hidup	Area Pelat Seluas (m²) =		1241,04					
	Beban Hidup Pada Koridor (kN) =		2108,1852					
	Beban Hidup Perkantoran (kN) =		1704					
	LL Tereduksi pada Struktur (25% LL) (kN) =		953,0463					
Berat Total Lantai 2 (kN) =			13410,24					
LANTAI 3								
Berat Sendiri Struktur								
Elemen Balok		Luas Penampang			Panjang			Volume per Jenis Balok (m³)
		p (m)	l (m)	L (m²)	Bentang (m)	jumlah	p (m)	
	BG1	0,35	0,70	0,25	8,00	38,00	304,00	88,59
					7,20	8,00	57,60	
					1,20	5,00	6,00	
	BG2	0,35	0,40	0,14	4,80	6,00	28,80	13,22
					4,00	8,00	32,00	
					3,60	8,00	28,80	
					2,40	2,00	4,80	
	BG3	0,25	0,60	0,15	5,60	2,00	11,20	1,68
	BG4	0,25	0,40	0,10	3,00	3,00	9,00	1,26
					3,60	1,00	3,60	
	BG5	0,25	0,70	0,18	8,00	1,00	8,00	1,40
	B1	0,25	0,60	0,15	7,20	6,00	43,20	28,08

Tabel 4.13. Perhitungan Beban Perlantai (Lanjutan)

					8,00	18,00	144,00	
	B2	0,25	0,40	0,10	3,00	1,00	3,00	6,06
					3,60	5,00	18,00	
					4,00	6,00	24,00	
					4,80	2,00	9,60	
					6,00	1,00	6,00	
	B3	0,25	0,40	0,10	8,00	4,00	32,00	3,20
	CB1	0,25	0,40	0,10	1,20	4,00	4,80	0,48
	Volume Total Balok (m³) =							143,97
Berat Total Balok (γ = 24 kN/m³) =							3455,23 kN	
Elemen Kolom		Luas Penampang			Panjang			Volume per Jenis Kolom (m³)
		p (m)	l (m)	L (m²)	bentang (m)	jumlah	p (m)	
	K1B	0,60	0,60	0,36	4,20	24,00	100,80	36,29
	K2B	0,60	0,45	0,27	4,20	17,00	71,40	19,28
	K3B	0,30	0,50	0,21	4,20	7,00	29,40	6,17
	K4B	0,35	0,45	0,16	4,20	2,00	8,40	1,32
	Volume Total Kolom (m³) =							63,06
	Berat Total Balok (γ = 24 kN/m³) =							1513,51 kN
Elemen Pelat		Luas Penampang						Tebal Pelat
		p (m)		l (m)		L (m²)		
	0,12 m	52,80		22,80		1248,84		0,12 m
	Volume Total Kolom (m³) =							149,86
	Berat Total Pelat (γ = 24 kN/m³) =							3596,66 kN
Berat Tambahan Pada Struktur								
Plesteran Keramik	Luas Penampang					Tebal Plesteran		
	1248,84 m²					0,05 m		
	Volume Total Plesteran Keramik (m³) =					62,44		
	Berat Total Plesteran Keramik (γ = 2200 kg/m3 = 22 kN/m3)=					1373,72 kN		
Plafond	Luas Penampang							
	1248,84 m²							
	Berat Total Plafond (Wplaf = 20 kg/m2 = 0,2 kN/m2)=					249,768 kN		
ME	Beban Mekanikal Elektrikal							
	1248,84 m²							
	Berat M & E					624,42 kN		

Tabel 4.13. Perhitungan Beban Perlantai (Lanjutan)

	(WM&E = 50 kg/m ² = 0,5 kN/m ²) =	
Beban Dinding	Panjang Bentang	Beban Per m ² (kN)
	143,6 m ²	2,5
	Berat Total Dinding =	1507,8
	Panjang Bentang	Beban Kleding per m ² (kN)
	40 m ²	0,6
	Berat Total Kleding =	100,8
Berat Sendiri Struktur + Beban Mati Tambahan (kN) =		12421,92
Beban Hidup yang Bekerja Pada Struktur		
Beban Hidup	Area Pelat Seluas (m ²) =	780,24
	Beban Hidup Pada Koridor, Lobi, dan Kantor (kN) =	2547,1032
	Beban Hidup Perkantoran (kN) =	288
	Area Pelat Seluas (m ²) =	422,4
	Beban Hidup Pada Ruang Arsip (kN) =	2534,4
	LL Tereduksi pada Struktur (25% LL) (kN) =	1342,3758
Berat Total Lantai 2 (kN) =		13764,29

LANTAI 4								
Berat Sendiri Struktur								
		Luas Penampang			Panjang			Volume per Jenis Balok (m ³)
		p	l	L	bentang	jumlah	p	
		(m)	(m)	(m ²)	(m)		(m)	
Elemen Balok	BG1	0,35	0,70	0,25	8,00	38,00	304,00	88,59
					7,20	8,00	57,60	
	BG2	0,35	0,40	0,14	4,80	4,00	19,20	13,22
					4,00	8,00	32,00	
					3,60	8,00	28,80	
					2,40	6,00	14,40	
	BG3	0,25	0,60	0,15	5,60	2,00	11,20	1,68
	BG4	0,25	0,40	0,10	3,00	3,00	9,00	1,26
					3,60	1,00	3,60	
	BG5	0,25	0,70	0,18	8,00	1,00	8,00	1,40
	B1	0,25	0,60	0,15	7,20	6,00	43,20	28,08
					8,00	18,00	144,00	
	B2	0,25	0,40	0,10	3,00	1,00	3,00	6,06
					3,60	5,00	18,00	

Tabel 4.13. Perhitungan Beban Perlantai (Lanjutan)

					4,00	6,00	24,00	
					4,80	2,00	9,60	
					6,00	1,00	6,00	
	B3	0,25	0,40	0,10	8,00	4,00	32,00	3,20
	CB1	0,25	0,40	0,10	1,20	4,00	4,80	0,48
	Volume Total Balok (m³) =							143,97
Berat Total Balok (γ = 24 kN/m³) =							3455,23 kN	
Elemen Kolom		Luas Penampang			Panjang			Volume per
		p (m)	l (m)	L (m²)	bentang (m)	jumlah	p (m)	Jenis Kolom (m³)
	K1B	0,60	0,60	0,36	4,20	15,00	63,00	22,68
	K2B	0,60	0,45	0,27	4,20	15,00	63,00	17,01
	K3B	0,30	0,50	0,21	4,20	7,00	29,40	6,17
	K4B	0,35	0,45	0,16	4,20	2,00	8,40	1,32
	KP	0,20	0,20	0,40	4,20	5,00	21,00	8,40
	Volume Total Kolom (m³) =							55,59
Berat Total Balok (γ = 24 kN/m³) =							1334,09 kN	
Elemen Pelat		Luas Penampang						Tebal Pelat
		p (m)		l (m)		L (m²)		
	0,12 m	52,80		22,80		1210,44		0,12 m
	Volume Total Kolom (m³) =							145,25
	Berat Total Pelat (γ = 24 kN/m³) =							3486,07 kN
Berat Tambahan Pada Struktur								
Plesteran Keramik		Luas Penampang				Tebal Plesteran		
		1210,44 m²				0,05 m		
		Volume Total Plesteran Keramik =				60,52 m³		
		Berat Total Plesteran Keramik (γ = 2200 kg/m3 = 22 kN/m3) =				1331,48 kN		
Plafond		Luas Penampang						
		1210,44 m²						
		Berat Total Plafond (Wplaf = 20 kg/m2 = 0,2 kN/m2) =				242,088 kN		
ME		Beban Mekanikal Elektrikal						
		1210,44 m²						
		Berat M & E (WM&E = 50 kg/m2 = 0,5 kN/m2) =				605,22 kN		
		Luas Penampang				Beban Per m² (kN)		

Tabel 4.13. Perhitungan Beban Perlantai (Lanjutan)

Beban Dinding	143,6 m ²	2,5
	Berat Total Dinding =	1507,8
	Luas Penampang	Beban Kleding per m ² (kN)
	40 m ²	0,6
	Berat Total Kleding =	100,8
Berat Sendiri Struktur + Beban Mati Tambahan (kN) =		12062,78
Beban Hidup yang Bekerja Pada Struktur		
Beban Hidup	Area Pelat Seluas (m ²) =	442,44
	Beban Hidup Pada Koridor, Lobi, dan Kantor (kN) =	1694,5452
	Area Pelat Seluas (m ²) =	768
	Beban Hidup Pada Ruang Pertemuan (Aula) (kN) =	3840
	LL Tereduksi pada Struktur (25% LL) (kN) =	1383,6363
Berat Total Lantai 2 (kN) =		13446,42

LANTAI 5								
Berat Sendiri Struktur								
Elemen Balok		Luas Penampang			Panjang			Volume per Jenis Balok (m³)
		p (m)	l (m)	L (m²)	bentang (m)	jumlah	P (m)	
	BG1	0,35	0,70	0,25	3,60	2,00	7,20	53,70
					4,00	2,00	8,00	
					7,20	5,00	36,00	
					8,00	21,00	168,00	
	BG2	0,35	0,40	0,14	4,80	3,00	14,40	5,77
					4,00	1,00	4,00	
					3,60	3,00	10,80	
					2,40	5,00	12,00	
	BG3	0,25	0,60	0,15	5,60	2,00	11,20	1,68
	BG4	0,25	0,40	0,10	2,40	1,00	2,40	1,50
					3,00	3,00	9,00	
					3,60	1,00	3,60	
	BG5	0,25	0,70	0,18	8,00	1,00	8,00	1,40
	B1	0,25	0,60	0,15	7,20	2,00	14,40	5,76
					8,00	3,00	24,00	
	B2	0,25	0,40	0,10	4,00	1,00	4,00	2,76
					4,80	2,00	9,60	
					6,00	1,00	6,00	

Tabel 4.13. Perhitungan Beban Perlantai (Lanjutan)

					8,00	1,00	8,00	
	B3	0,25	0,40	0,10	3,60	4,00	14,40	4,64
					8,00	4,00	32,00	
	CG1	0,25	0,40	0,10	3,60	3,00	10,80	1,08
	CB2	0,25	0,60	0,15	3,60	4,00	14,40	2,76
					4,00	1,00	4,00	
	Volume Total Balok (m³) =							81,05
Berat Total Balok (γ = 24 kN/m³) =							1945,25 kN	
Elemen Kolom		Luas Penampang			Panjang			Volume per Jenis Kolom (m³)
		p (m)	l (m)	L (m²)	bentang (m)	jumlah	P (m)	
	K1B	0,60	0,60	0,36	4,20	10,00	42,00	15,12
	K2B	0,60	0,45	0,27	4,20	12,00	50,40	13,61
	K3B	0,30	0,50	0,21	4,20	5,00	21,00	4,41
	K4B	0,35	0,45	0,16	4,20	2,00	8,40	1,32
	Volume Total Kolom (m³) =							34,46
	Berat Total Balok (γ = 24 kN/m³) =							827,06 kN
Elemen Pelat		Luas Penampang						Tebal Pelat
		p (m)		l (m)		L (m²)		
	0,12 m	52,80		22,80		455,24		0,12 m
	Volume Total Kolom (m³) =							54,63
	Berat Total Pelat (γ = 24 kN/m³) =							1311,09 kN
Berat Tambahan Pada Struktur								
Plesteran Keramik	Luas Penampang					Tebal Plesteran		
	455,24 m²					0,05 m		
	Volume Total Plesteran Keramik (m³) =					22,76		
	Berat Total Plesteran Keramik (γ = 2200 kg/m3 = 22 kN/m3)=					500,76 kN		
Plafond	Luas Penampang							
	455,24 m²							
	Berat Total Plafond (Wplaf = 20 kg/m2 = 0,2 kN/m2)=					91,048 kN		
ME	Beban Mekanikal Elektrikal							
	455,24 m²							
	Berat M & E (WM&E = 50 kg/m2 = 0,5 kN/m2) =					227,62 kN		
	Luas Penampang					Beban Per m² (kN)		

Tabel 4.13. Perhitungan Beban Perlantai (Lanjutan)

Beban Dinding	144,4 m ²	2,5
	Berat Total Dinding =	1516,2
Berat Sendiri Struktur + Beban Mati Tambahan (kN) =		6419,04
Beban Hidup yang Bekerja Pada Struktur		
Beban Hidup	Area Pelat Seluas (m ²) =	455,24
	Beban Hidup Plat Atap (kN) =	455,24
	LL Tereduksi pada Struktur (25% LL) (kN) =	113,81
Berat Total Lantai 2 (kN) =		6532,85

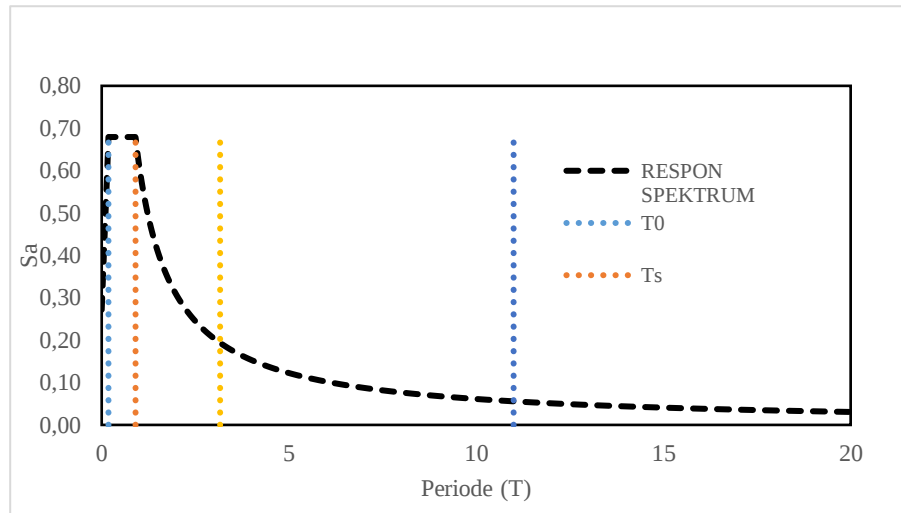
LANTAI 6 (Atap)									
Berat Sendiri Struktur									
Elemen Balok		Luas Penampang			Panjang			Volume per Jenis Balok (m³)	
		p (m)	l (m)	L (m²)	bentang (m)	jumlah	P (m)		
BG1	BG1	0,35	0,70	0,25	7,20	2,00	14,40	27,05	
					8,00	12,00	96,00		
	BG2	0,35	0,40	0,14	4,80	1,00	4,80	5,15	
					4,00	2,00	8,00		
					3,60	4,00	14,40		
					2,40	4,00	9,60		
	BG3	0,25	0,60	0,15	5,60	4,00	22,40	3,36	
	BG4	0,25	0,40	0,10	3,00	3,00	9,00	1,26	
					3,60	1,00	3,60		
	B3	0,25	0,40	0,10	4,80	1,00	4,80	1,28	
					8,00	1,00	8,00		
Volume Total Balok (m³) =								38,10	
Berat Total Balok (γ = 24 kN/m³) =								838,20 kN	
Elemen Pelat		Luas Penampang					Tebal Pelat		
		p (m)		l (m)	L (m²)				
	0,12 m	52,80		22,80	93,12		0,12 m		
	Volume Total Kolom (m³) =								11,17
	Berat Total Pelat (γ = 24 kN/m³) =								245,84 kN
Berat Sendiri Struktur + Beban Mati Tambahan (kN) =								1084,04	

4.4.2. Pembebanan Gempa pada Struktur

Beberapa beban gempa pada struktur berdasarkan peraturan, standar, atau data yang digunakan sebagai acuan besaran beban yang akan diterapkan. Regulasi, standar atau data yang digunakan adalah SNI 1726 2019, Metode Perancangan Keamanan Seismik untuk Gedung dan Non Gedung.

Tingkat kegempaan menggunakan kategori gempa kuat. H. Gempa bumi dengan probabilitas atau risiko 2% ($R_N = 2\%$) yang terjadi dalam umur rencana bangunan 50 tahun, atau gempa bumi dengan periode berulang 2500 tahun ($T_R = 2500$ tahun). Pada gempa kuat, struktur bangunan dapat mengalami kerusakan struktur yang parah, namun untuk menghindari korban jiwa, bangunan sebaiknya tetap berdiri dan tidak roboh (SNI 1726:2019). Beban seismik yang digunakan untuk analisis adalah analisis menggunakan spektrum respon dengan menggunakan data posisi struktur gedung di Kota Semarang. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan *software* ETABS V.18.20. Parameter yang digunakan dalam analisis respon spektra diperoleh dari data sistus 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 : 0,817264 g
3. Percepatan respon spektra MCE periode 1 detik, S_{d1} : 0,6138 g
4. Koefisien situs untuk periode pendek, F_a : 1,246189
5. Koefisien situs untuk periode 1 detik, F_v : 2,563
6. Percepatan respon spektra pada periode pendek, S_{DS} : 0,6793 g
7. Percepatan respon spektra pada periode 1 detik, S_{D1} : 0,6138 g
8. Faktor keutamaan bangunan, I_e : 1.0
9. Kategori resiko : tipe II (Gedung Perkantoran)
10. Periode Panjang, T_L : 20 detik



Gambar 4.14. Grafik Respon Spektrum Desain

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

$$Scale\ Factor = \frac{g \times I_e}{R} \dots\dots\dots (4.1)$$

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 :

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

Nilai akhir gaya reaksi dinamik struktur untuk beban gempa nominal akibat tumbukan gempa rencana pada arah tertentu tidak boleh kurang dari 100% nilai gaya reaksi pertama. Selain itu, analisis harus mencakup jumlah variasi untuk mendapatkan partisipasi massa minimal 100% dari massa struktur (SNI 1726 2019 pasal 7.10.3.2.1).

4.4.3. Kombinasi Pembebanan

Dengan menggunakan kombinasi - kombinasi pembebanan tersebut, nilai $S_{DS} = 0.6793\text{ g}$ dan nilai faktor redundansi (ρ) sebesar 1.3 diperoleh kombinasi pembebanan yang diterapkan pada struktur bangunan ialah sebagai berikut (sesuai SNI 1726:2019 pasal 4.2.2.1; dan 4.2.2.3) :

$$U1 = 1,4D$$

$$U2 = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$$

$$U3 = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1L \text{ atau } 0,5W)$$

$$U4 = 1,2D + 1W + 1L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$$

$$U5 = 0,9D + 1,0W$$

$$U6 = (1,2 + 0,2S_{ds})D \pm \rho Q_e + L$$

$$U7 = (0,9 - 0,2S_{ds})D \pm \rho Q_e$$

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.

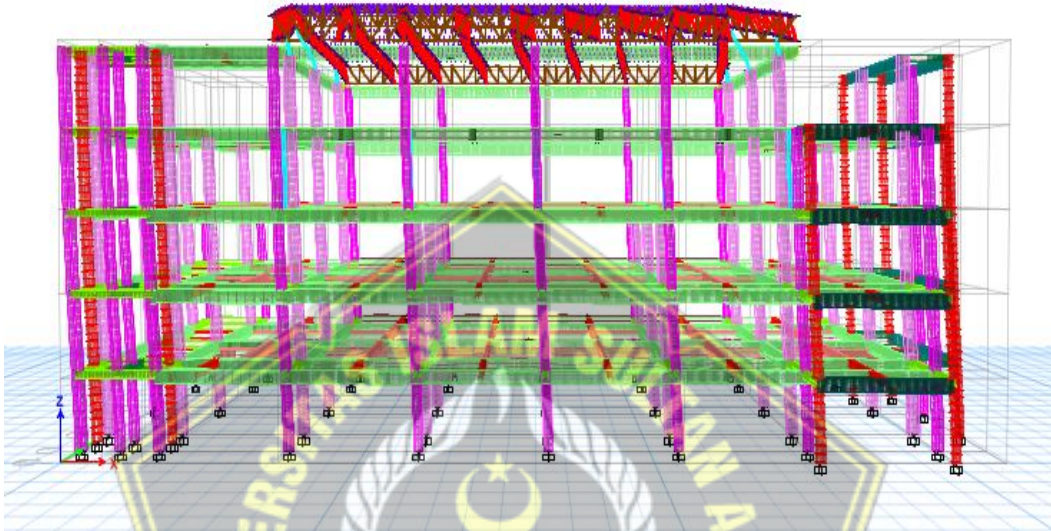
Tabel 4.14. Tabel Faktor Reduksi Kekuatan Beton

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

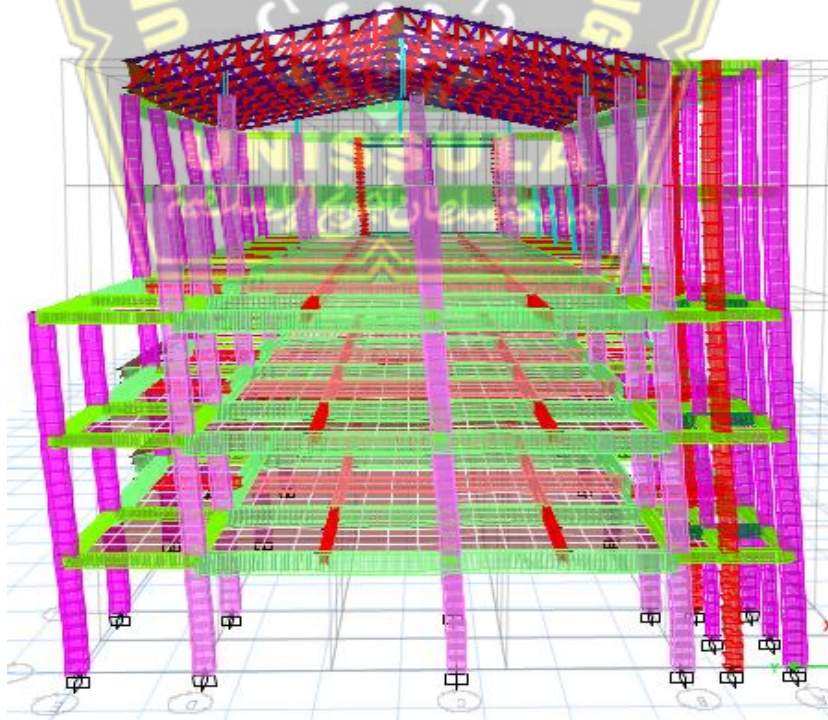
(Sumber : Tabel 21.2.1 SNI 2847 – 2019)

4.4.5. Analisis Ragam Getar Struktur

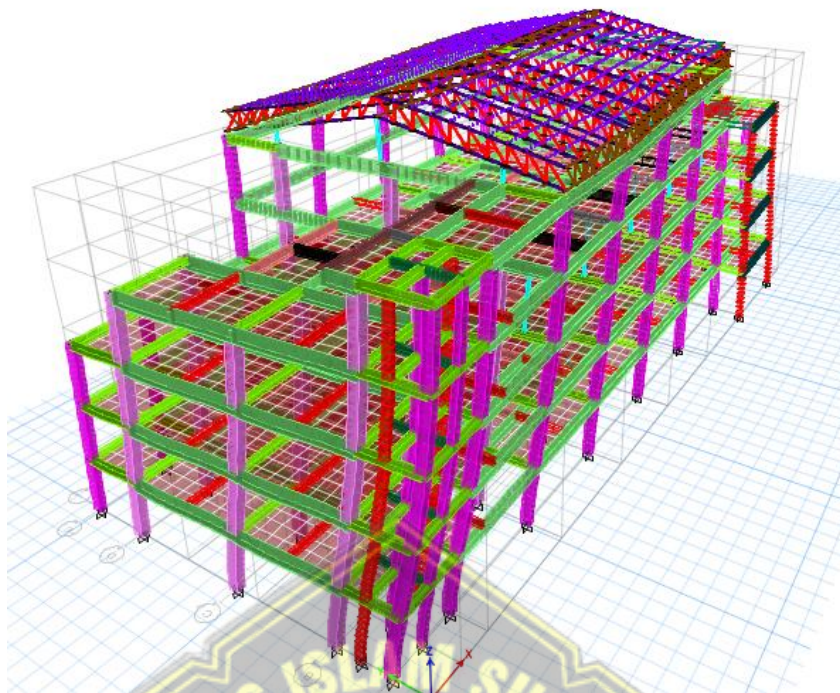
Permodelan 3 dimensi yang dilakukan minimal 3 derajat kebebasan terpenuhi terdiri dari dua arah translasi dan rotasi boleh terjadi pada mode ke – 3 menurut pasal 7.7.3. pada SNI 1726 – 2019 yang sudah dimodelkan pada gambar 4.14, 4.15, dan 4.16.



Gambar 4.15. Mode 1 Translasi Arah X



Gambar 4.16. Mode 2 Translasi Arah Y



Gambar 4.17. Mode 3 Rotasi

Setelah di-run dan didapatkan mode translasi x, translasi y, dan juga rotasi, sesuai gambar-gambar diatas, berikut ditampilkan tabel modal getar struktur pada Tabel 4.14.

Tabel 4.15. Modal Getar Struktur

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Modal	1	0,818	0,7979	2,43E-05	0	5,64E-06	0,2072	0,0001
Modal	2	0,811	0,7979	0,7537	0	0,1894	0,2074	0,064
Modal	3	0,735	0,7981	0,8139	0	0,203	0,2097	0,8317
Modal	4	0,607	0,8342	0,8139	0	0,203	0,2258	0,8319
Modal	5	0,399	0,8342	0,8492	0	0,3161	0,2258	0,8319
Modal	6	0,361	0,8346	0,8492	0	0,3161	0,2277	0,8331
Modal	7	0,355	0,8346	0,8492	0	0,3161	0,2279	0,8372
Modal	8	0,318	0,8346	0,8515	0	0,3295	0,2279	0,8372
Modal	9	0,3	0,9167	0,8515	0	0,3295	0,7383	0,8374
Modal	10	0,257	0,9169	0,9276	0	0,798	0,7391	0,8425
Modal	11	0,248	0,9193	0,9323	0	0,8269	0,7537	0,9232
Modal	12	0,226	0,9283	0,9323	0	0,827	0,792	0,9357
Modal	13	0,219	0,9283	0,9323	0	0,827	0,792	0,9357
Modal	14	0,209	0,9284	0,9323	0	0,827	0,7926	0,9358
Modal	15	0,207	0,929	0,9323	0	0,827	0,7954	0,9367
Modal	16	0,199	0,9291	0,9323	0	0,827	0,796	0,9375
Modal	17	0,189	0,9291	0,9323	0	0,8271	0,7961	0,9375

Tabel 4.15. Modal Getar Struktur (Lanjutan)

Modal	18	0,18	0,9733	0,9323	0	0,8272	0,9142	0,9376
Modal	19	0,178	0,9736	0,9324	0	0,8272	0,9154	0,9379
Modal	20	0,168	0,9737	0,9645	0	0,8908	0,9155	0,938
Modal	21	0,164	0,9737	0,9645	0	0,8908	0,9155	0,938
Modal	22	0,16	0,9737	0,9647	0	0,8913	0,9157	0,938
Modal	23	0,15	0,9737	0,9654	0	0,8931	0,9157	0,9632
Modal	24	0,147	0,9737	0,9772	0	0,9184	0,9158	0,9638
Modal	25	0,145	0,9737	0,9772	0	0,9184	0,9158	0,9642
Modal	26	0,143	0,9737	0,9772	0	0,9184	0,916	0,9769
Modal	27	0,141	0,9737	0,9772	0	0,9185	0,916	0,9769
Modal	28	0,136	0,9738	0,9777	0	0,9199	0,9161	0,9769
Modal	29	0,135	0,9738	0,9777	0	0,92	0,9161	0,9769
Modal	30	0,129	0,9866	0,9778	0	0,9201	0,9609	0,9771
Modal	31	0,127	0,9873	0,9783	0	0,9212	0,9632	0,9771
Modal	32	0,126	0,99	0,9783	0	0,9213	0,9714	0,9771
Modal	33	0,12	0,99	0,9783	0	0,9213	0,9714	0,9771
Modal	34	0,118	0,9901	0,9783	0	0,9213	0,972	0,9772
Modal	35	0,115	0,9901	0,9887	0	0,9666	0,972	0,9776
Modal	36	0,113	0,9903	0,9887	0	0,9667	0,9725	0,9782
Modal	37	0,112	0,9903	0,9888	0	0,9669	0,9726	0,9794
Modal	38	0,111	0,9903	0,9888	0	0,967	0,9726	0,9794
Modal	39	0,109	0,9978	0,9888	0	0,9671	0,9932	0,9822
Modal	40	0,106	0,999	0,9896	0	0,9702	0,9968	0,9853
Modal	41	0,106	0,9995	0,9951	0	0,9892	0,9984	0,9904
Modal	42	0,102	0,9995	0,9974	0	0,9948	0,9986	0,9913
Modal	43	0,101	0,9997	0,9975	0	0,9948	0,9992	0,9944
Modal	44	0,101	0,9999	0,9981	0	0,996	0,9996	0,9945
Modal	45	0,099	0,9999	0,9981	0	0,996	0,9996	0,9945
Modal	46	0,097	0,9999	0,9981	0	0,996	0,9996	0,9946
Modal	47	0,096	0,9999	0,9982	0	0,996	0,9996	0,9946
Modal	48	0,095	0,9999	0,9986	0	0,9966	0,9996	0,9946
Modal	49	0,095	0,9999	0,9996	0	0,998	0,9996	0,9946
Modal	50	0,094	0,9999	0,9996	0	0,998	0,9996	0,9946
Modal	51	0,094	0,9999	0,9996	0	0,998	0,9996	0,9946
Modal	52	0,093	0,9999	0,9996	0	0,998	0,9996	0,9946
Modal	53	0,09	0,9999	0,9996	0	0,998	0,9996	0,9946
Modal	54	0,089	1	1	0	0,9994	0,9999	1
Modal	55	0,087	1	1	0	0,9994	0,9999	1
Modal	56	0,087	1	1	0	0,9994	0,9999	1
Modal	57	0,086	1	1	0	0,9994	0,9999	1
Modal	58	0,085	1	1	0	0,9994	0,9999	1
Modal	59	0,083	1	1	0	0,9994	0,9999	1
Modal	60	0,082	1	1	0	0,9994	0,9999	1

Berdasarkan pada Tabel 4.14. menunjukkan bahwa mode 1 dan mode 2 yang di tunjukan pada Gambar 4.14 dan 4.15 menunjukkan dominan translasi sedangkan pada mode 3 menunjukkan rotasi yang di tunjukan pada Gambar 4.16. Dengan demikian mode getar bangunan telah memenuhi persyaratan SNI 1726 2019 pasal 7.7.3. pada tabel di atas menjelaskan prosentasi arah gerak bangunan, mode 1 dominan ke arah X sebesar 81,8% , mode 2 dominan ke arah Y sebesar 81,1% dan mode 3 rotasi sebesar 73,5%.

4.4.6. Evaluasi Jumlah Ragam

Analisis harus dilakukan untuk menentukan mode bentuk struktur. Analisis harus mengandung jumlah varians yang cukup untuk mendapatkan kontribusi massa total 100% dari massa struktur. Tabel 4.15 di bawah ini menunjukkan bahwa kontribusi massa gabungan mencapai 100% dari massa struktur.

Tabel 4.16. Partisipasi Massa Ragam

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

4.4.7. 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

$$T_{a \min} = C_t \times H n^x \dots\dots\dots (4.2)$$

Diketahui,

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

Ct = Koefisien Batas Bawah
Hn = Ketinggian Total Struktur (M)
X = Koefisien Tipikal Struktur

Sehingga :

$$T_{a \text{ min}} = 0,0466 \times 21^{0,9}$$

$$= 0,7217 \text{ detik}$$

2. Penentuan Batas Atas Periode Getar Struktur

$$T_{a \text{ maks}} = C_u \times T_a \dots\dots\dots(4.3)$$

Diketahui,

$T_{a \text{ maks}}$ = Periode Batas Atas (S)
 T_a = Periode Batas Bawah (S)
 C_u = Koefisien Batas Atas

Sehingga :

$$T_{a \text{ maks}} = 1,4 \times 0,7217$$

$$= 1,010 \text{ detik}$$

Berdasarkan syarat dan ketentuan Pasal 7.8.2 SNI 1726 2019 untuk periode desain struktur, hasil analisis dari ETABS dicantumkan pada tabel 4.16.

Tabel 4.17. Periode Getar Struktur

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
Case	Mode	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	0,818	1,222	7,6808	58,9948
Modal	2	0,811	1,234	7,7511	60,0798
Modal	3	0,735	1,36	8,5469	73,0492
Modal	4	0,607	1,647	10,3454	107,0269
Modal	5	0,399	2,504	15,7306	247,4515
Modal	6	0,361	2,769	17,3997	302,7502
Modal	7	0,355	2,813	17,6766	312,4613
Modal	8	0,318	3,144	19,7529	390,1765
Modal	9	0,3	3,336	20,963	439,4479
Modal	10	0,257	3,888	24,426	596,6303
Modal	11	0,248	4,037	25,3658	643,4229
Modal	12	0,226	4,434	27,8611	776,2397
Modal	13	0,219	4,576	28,7526	826,7128
Modal	14	0,209	4,784	30,0564	903,3855
Modal	15	0,207	4,835	30,3778	922,8121
Modal	16	0,199	5,018	31,529	994,0774
Modal	17	0,189	5,289	33,2331	1104,436

Tabel 4.17. Periode Getar Struktur (Lanjutan)

Modal	18	0,18	5, 566	34,9727	1223,092
Modal	19	0,178	5,626	35,3502	1249,6354
Modal	20	0,168	5,954	37,4103	1399,5278
Modal	21	0,164	6,112	38,403	1474,7908
Modal	22	0,16	6,231	39,1517	1532,8546
Modal	23	0,15	6,678	41,9606	1760,6918
Modal	24	0,147	6,785	42,6299	1817,3121
Modal	25	0,145	6,915	43,4497	1887,8769
Modal	26	0,143	6,988	43,9059	1927,7255
Modal	27	0,141	7,09	44,5508	1984,7741
Modal	28	0,136	7,36	46,2431	2138,4237
Modal	29	0,135	7,383	46,3883	2151,8778
Modal	30	0,129	7,735	48,602	2362,1559
Modal	31	0,127	7,876	49,4883	2449,0876
Modal	32	0,126	7,924	49,7862	2478,6626
Modal	33	0,12	8,332	52,349	2740,4226
Modal	34	0,118	8,445	53,062	2815,5752
Modal	35	0,115	8,731	54,8581	3009,4072
Modal	36	0,113	8,858	55,6595	3097,9833
Modal	37	0,112	8,964	56,3231	3172,2885
Modal	38	0,111	9,044	56,824	3228,9708
Modal	39	0,109	9,195	57,7754	3337,9935
Modal	40	0,106	9,403	59,0833	3490,8369
Modal	41	0,106	9,416	59,1608	3500,0003
Modal	42	0,102	9,787	61,4961	3781,7755
Modal	43	0,101	9,855	61,9239	3834,5714
Modal	44	0,101	9,873	62,0369	3848,5764
Modal	45	0,099	10,108	63,5097	4033,4823
Modal	46	0,097	10,301	64,72	4188,6724
Modal	47	0,096	10,425	65,5026	4290,5898
Modal	48	0,095	10,576	66,4493	4415,5154
Modal	49	0,095	10,582	66,4879	4420,6394
Modal	50	0,094	10,626	66,7649	4457,548
Modal	51	0,094	10,694	67,1928	4514,8757
Modal	52	0,093	10,769	67,6641	4578,4297
Modal	53	0,09	11,151	70,0645	4909,0305
Modal	54	0,089	11,242	70,6342	4989,1859
Modal	55	0,087	11,504	72,2793	5224,2901
Modal	56	0,087	11,526	72,4194	5244,5743
Modal	57	0,086	11,567	72,677	5281,9529
Modal	58	0,085	11,824	74,2936	5519,5412
Modal	59	0,083	12,055	75,7416	5736,7876
Modal	60	0,082	12,156	76,376	5833,2883

Berdasarkan pada Tabel 4.16 periode maksimum hasil analisis sebesar 1,222 detik. Struktur mempunyai kekakuan yang mencukupi karena periode desain berada diantara periode batas bawah dan periode batas atas.

4.4.8. Gaya Lateral Ekvivalen

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

$$F = C_v \times V, \text{ dan } \dots\dots\dots (4.4)$$

$$C_v = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots (4.5)$$

Interpolasi nilai k untuk arah x yang ditampilkan pada gambar 4.17 dan tabel 4.17 nilai perioda desain pada rentang $0,5 < T < 2,5$ adalah :

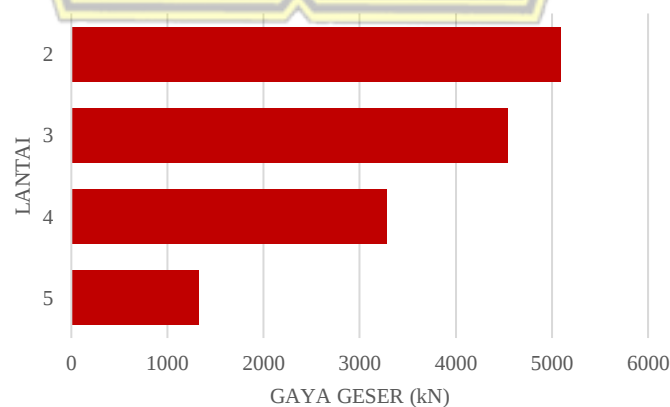
$$k = 0,5 \times T + 0,75 \dots\dots\dots (4.6)$$

$$k = 0,5 \times 0,818 + 0,75$$

$$k = 1,159$$

Tabel 4.18. 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)
5	16,8	6532,85	1,159	171884,274	0,247231	1281,66474
4	12,6	13446,416		253475,5002	0,364588	1890,0543
3	8,4	13764,291		162178,5967	0,233271	1209,29381
2	4,2	13410,242		70759,13685	0,101777	527,619477
1	0	12823,15		0	0	0
JUMLAH		59976,948		658297,5078		



Gambar 4.18 Gaya Geser Antar Tingkat Arah – X

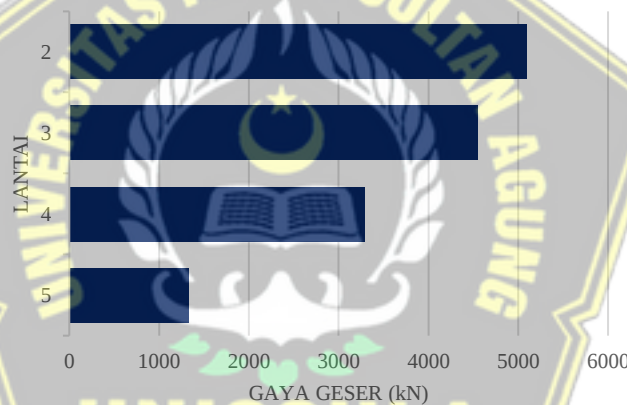
Interpolasi nilai k untuk arah y yang ditampilkan pada gambar 4.18 dan tabel 4.18 nilai perioda desain pada rentang $0,5 < T < 2,5$ adalah :

$$k = 0,5 \times 0,81 + 0,75$$

$$k = 1,155$$

Tabel 4.19. Gaya Geser Antar Tingkat Arah – Y

LANTAI	TINGGI	BERAT	k	$W_i \times h_i^k$ (kN/m)	Cv	LATERAL
	h_i (m)	W_i (kN)				Fi-X (kN)
5	16,8	6532,85	1,155	169955,3761	0,24684	1279,63526
4	12,6	13446,416		250919,5538	0,36443	1889,2342
3	8,4	13764,291		160803,8421	0,233548	1210,73114
2	4,2	13410,242		70354,11906	0,102181	529,713233
1	0	12823,15		0	0	0
JUMLAH		59976,948		652032,8911		



Gambar 4.19 Gaya Geser Antar Tingkat Arah – Y

Contoh penjabaran perhitungan tabel Gaya Lateral Ekvivalen Arah Y =

Diketahui :

k : 1,155

h_i : 21 m (Lantai Atap)

W_i : 48352 kN

$C_s \times W$: $0,0849 \times 48352$

: 4105,41 kN

Dicari :

1. Momen dari $W_i \times h_i^k$
2. C_v
3. Lateral Arah – Y

Jawaban :

1. Momen : $W_i \times h_i^k$
: $48352 \times 21^{1,155}$
: 1506059,682 kN/m
2. C_v : $\frac{\text{Momen}}{\text{Momen total}}$
: $\frac{1506059,682}{6077344,717}$
: 0,247815
3. Lateral Arah – Y : $C_v \times C_s \times W$
: $0,247815 \times 12124,53 \text{ kN}$
: 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 :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \dots \dots \dots (4.7)$$

Gaya geser merupakan komulatif dari penjumlahan gaya lateral ekivalen tiap lantai seperti yang tercantum pada tabel 4.19.

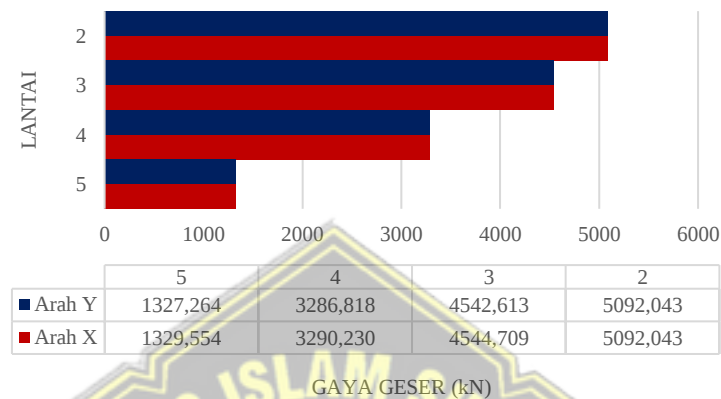
Tabel 4.20. Gaya Geser Tiap Lantai

Gaya Geser Tiap Lantai				
LANTAI	F_x	V_x	F_y	V_y
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
5	1329,554	1329,554	1327,264	1327,264
4	1960,676	3290,230	1959,553	3286,818
3	1254,479	4544,709	1255,796	4542,613
2	547,3339	5092,043	549,4296	5092,043
1	0,000	5092,043	0,000	5092,043

Gaya Geser Lantai, $V_4 = V_5 + F_5 = 3290,230 \text{ kN} = V_{\text{Gaya Geser}}$

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

1. Gaya geser lantai 5, $V_5 = F_5 = 1329,554 \text{ kN}$
2. Gaya geser lantai 4, $V_4 = V_5 + F_4 = 3290,230 \text{ kN}$
3. Gaya geser lantai 3, $V_3 = V_4 + F_3 = 4544,709 \text{ kN}$
4. Gaya geser lantai 2, $V_2 = V_3 + F_2 = 5092,043 \text{ kN}$
5. Gaya geser lantai 1, $V_1 = V_2 + F_1 = 5092,043 \text{ kN}$



Gambar 4.20. Grafik Gaya Geser Tiap Lantai

4.4.10. Relasi Beban Gempa Statik – Dinamik

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.2.5.1, beban gempa dinamis **tidak boleh kurang dari 100%** beban gempa statis. Artinya, jika $V_{DINAMIK} = V_{STATIC}$ dan kondisi ini tidak terpenuhi, beban seismik dinamis sama dengan 1 kali faktor penskalaan :

$$Scale\ factor = \frac{V_{BASESTATIK}}{V_{BASEDINAMIK}} \dots\dots\dots (4.8)$$

Pada analisis sebelumnya ditentukan nilai beban seismik menggunakan metode gaya geser ekuivalen hitung tangan dan spektra respons dinamik sesuai SNI 1726 2019. Perhitungan desain ini menggunakan nilai beban seismik statik ekuivalen yang dihitung secara manual berdasarkan Tabel 4.20 dan spektrum respon beban seismik dinamik.

Tabel 4.21. Gaya Geser Statik dan Dinamik Tiap Lantai

Story	STATIK		DINAMIK		DINAMIK ETABS	
	V _x	V _y	V _x	V _y	V _{spec-X}	V _{spec-Y}
	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Lt 5	1329,554	1327,264	1329,554	1327,264	1301,437	1302,803
Lt 4	3290,230	3286,818	3290,230	3286,818	2636,530	2683,508
Lt 3	4544,709	4542,613	4544,709	4542,613	3605,841	3662,000
Lt 2	5092,043	5092,043	5092,043	5092,043	4041,174	4092,232
Lt 1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Dari Tabel 4.20 diatas dapat dilihat bahwa gaya geser dinamik masih lebih kecil sama dengan gempa statik, dengan demikian perlu ditambahkan faktor skala.

Contoh perhitungan faktor skala :

$$\begin{aligned} \text{Scale Factor arah X (pada lantai 2)} &= \frac{V_{\text{STATIK-X}}}{V_{\text{DINAMIK-X}}} \dots\dots\dots (4.9) \\ &= \frac{5092,043}{4041,174} = 1,260 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Scale Factor arah Y (pada lantai 2)} &= \frac{V_{\text{STATIK-Y}}}{V_{\text{DINAMIK-Y}}} \dots\dots\dots (4.10) \\ &= \frac{5092,043}{4092,232} = 1,244 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan lengkap faktor skala (*scale factor*) ditunjukkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.22. Gaya Geser Antar Tingkat Dinamik *Correction*

Story	DINAMIK		DINAMIK ETABS		SKALA GAYA		Dinamik Correction	
	V _x	V _y	V _{SPEC-X}	V _{SPEC-Y}	X-	Y-	V _{SPEC-X}	V _{SPEC-Y}
	kN	kN	kN	kN	Dir	Dir	kN	kN
Lt 5	1329,554	1327,264	1301,437	1302,803	1,022	1,019	1329,554	1327,264
Lt 4	3290,230	3286,818	2636,530	2683,508	1,248	1,225	3290,230	3286,818
Lt 3	4544,709	4542,613	3605,841	3662,000	1,260	1,240	4544,709	4542,613
Lt 2	5092,043	5092,043	4041,174	4092,232	1,260	1,244	5092,043	5092,043
Lt 1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Dari hasil faktor skala tiap lantai yang tercantum dalam Tabel 4.21 maka didapatkan pula hasil perhitungan dinamik *correction*, dengan penjabaran sebagai berikut :

$$\text{Dinamik Correction Arah X} = \text{Dinamik - X} \times \text{Faktor Skala} - \text{X} \dots \dots \dots (4.11)$$

$$(\text{Lantai 2}) = 4041,174 \times 1,260$$

$$= 5092,043 \text{ kN}$$

$$\text{Dinamik Correction Arah Y} = \text{Dinamik - Y} \times \text{Faktor Skala} - \text{Y} \dots \dots \dots (4.12)$$

$$(\text{Lantai 2}) = 4092,232 \times 1,244$$

$$= 5092,043 \text{ kN}$$

Hasil perhitungan dinamik *correction* digunakan untuk menentukan gaya geser desain antar tingkat.

Tabel 4.23. Gaya Geser Desain Antar Tingkat

Story	STATIK			DINAMIK	Dinamik Correction			
	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
Lt 5	1329,554	1327,264	1329,554	1327,264	1329,554	1327,264	1329,554	1327,264
Lt 4	3290,230	3286,818	3290,230	3286,818	3290,230	3286,818	3290,230	3286,818
Lt 3	4544,709	4542,613	4544,709	4542,613	4544,709	4542,613	4544,709	4542,613
Lt 2	5092,043	5092,043	5092,043	5092,043	5092,043	5092,043	5092,043	5092,043
Lt 1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Berdasarkan hasil gaya geser desain antar tingkat pada Tabel 4.22, digunakan untuk perhitungan gaya lateral desain.

Tabel 4.24. Gaya Lateral Desain

Story	Gaya Geser Desain		F, Gempa Desain	
	V _x	V _y	F _x	F _y
	kN	kN	kN	kN
Lt 5	1557,110	1554,399	1281,665	1279,635
Lt 4	3447,165	3443,634	1890,054	1889,234
Lt 3	4656,458	4654,365	1209,294	1210,731
Lt 2	5184,078	5184,078	527,619	529,713
Lt 1	0,000	0,000	0,000	0,000

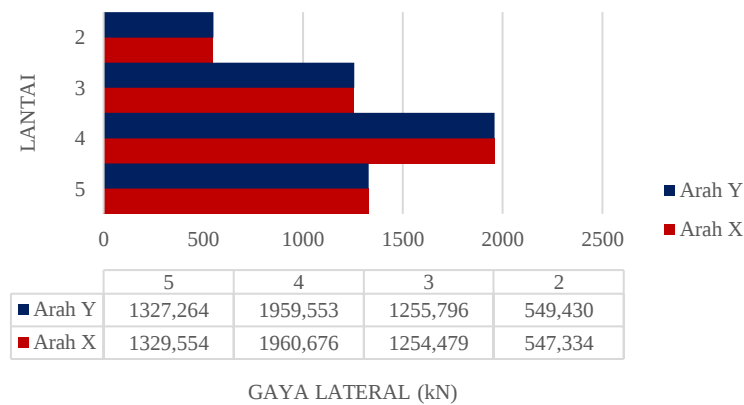
Contoh perhitungan Gaya Lateral Desain arah X (F_x) :

$$F_{\text{Atap}} = V_{\text{Atap}} = 275,446 \text{ kN}$$

$$F_5 = V_5 - V_{\text{Atap}} = 1557,110 - 275,446 = 1281,665 \text{ kN}$$

$$F_4 = V_4 - V_5 = 3447,165 - 1557,110 = 1890,054 \text{ kN} \dots \text{Dst}$$

Berdasarkan hasil perhitungan gaya lateral desain diatas didapatkan grafik pada Gambar 4.20.



Gambar 4.21. Grafik Gaya Lateral Desain Antar Lantai

4.4.11. Simpangan Antar Lantai

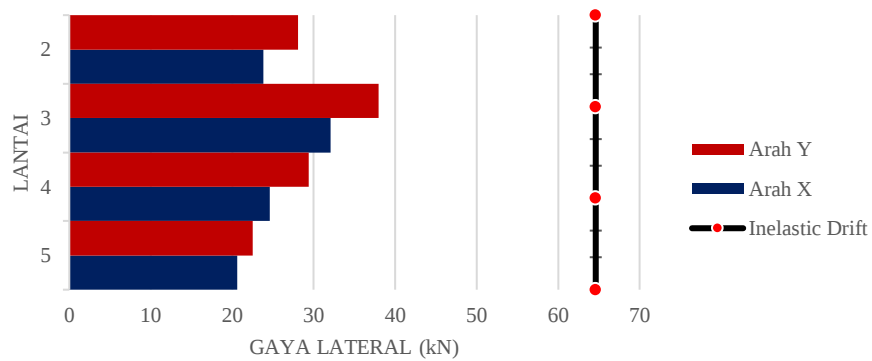
Untuk mengetahui layan bangunan diperlukan pengecekan simpangan antar lantai yang terjadi yang dihitung pada tabel 4.24.

Tabel 4.25. Simpangan Antar Lantai Arah – X

Story	Load Case/Combo	Direction	δ_e	Δ_{xe}	Cd	Δx	h	ΔI_{zin}	Cek
			mm	mm		mm		mm	
5	Ex Max	X	18,378	3,749	5,5	20,6195	4200	64,615	AMAN
4	Ex Max	X	14,629	4,471	5,5	24,5905	4200	64,615	AMAN
3	Ex Max	X	10,158	5,827	5,5	32,0485	4200	64,615	AMAN
2	Ex Max	X	4,331	4,331	5,5	23,8205	4200	64,615	AMAN
1	Ex Max	X	0	0	5,5	0	0	0,000	AMAN

Tabel 4.26. Simpangan Antar Lantai Arah – Y

Story	Load Case/Combo	Direction	δ_e	Δ_{ye}	Cd	Δy	h	ΔI_{zin}	Cek
			mm	mm		mm		mm	
5	Ey Max	Y	21,432	4,088	5,5	22,484	4200	64,615	AMAN
4	Ey Max	Y	17,344	5,339	5,5	29,3645	4200	64,615	AMAN
3	Ey Max	Y	12,005	6,898	5,5	37,939	4200	64,615	AMAN
2	Ey Max	Y	5,107	5,107	5,5	28,0885	4200	64,615	AMAN
1	Ey Max	Y	0	0	5,5	0	4200	0,000	AMAN



Gambar 4.22. Grafik Simpangan Antar Lantai Arah X dan Y

Contoh perhitungan simpangan antar lantai output dilihat pada penjelasan dibawah :

❖ Diketahui :

Δ total : 21,432 mm (Lantai 5)
 17,344 mm (Lantai 4)
 12,005 mm (Lantai 3)
 5,107 mm (Lantai 2)
 0,0000 mm (Lantai 1)

Tinggi lantai : 4200 mm (Lantai 5 – Lantai 1)
 4000 mm (Atap)

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 (Lantai 5 – Lantai 1)
 $\frac{4000 \times 0,020}{1,3}$
 : 61,538 mm (Atap)
 • Δ ye : Δ total Lantai 5 - Δ total Lantai 4
 : 21,432 – 17,344
 : 4,088 mm
 : Δ total Lantai 4 - Δ total Lantai 3

$$\begin{aligned}
 &: 17,344 - 12,005 \\
 &: 5,339 \text{ mm} \\
 &: \Delta \text{ total Lantai 3} - \Delta \text{ total Lantai 2} \\
 &: 12,005 - 5,107 \\
 &: 6,898 \text{ mm} \\
 &: \Delta \text{ total Lantai 2} - \Delta \text{ total Lantai 1} \\
 &: 5,107 - 0 \\
 &: 5,107 \text{ mm} \\
 &: \Delta \text{ total Lantai 1} \\
 &: 0 \\
 \bullet \Delta x &: \Delta x \text{e Lantai 5} \times C_d \\
 &: 4,088 \times 5,5 \\
 &: 22,484 \\
 &: \Delta x \text{e Lantai 4} \times C_d \\
 &: 5,339 \times 5,5 \\
 &: 29,365 \\
 &: \Delta x \text{e Lantai 3} \times C_d \\
 &: 6,898 \times 5,5 \\
 &: 37,939 \\
 &: \Delta x \text{e Lantai 2} \times C_d \\
 &: 5,107 \times 5,5 \\
 &: 28,0885 \\
 &: \Delta x \text{e Lantai 1} \times C_d \\
 &: 0 \times 5,5 \\
 &: 0
 \end{aligned}$$

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

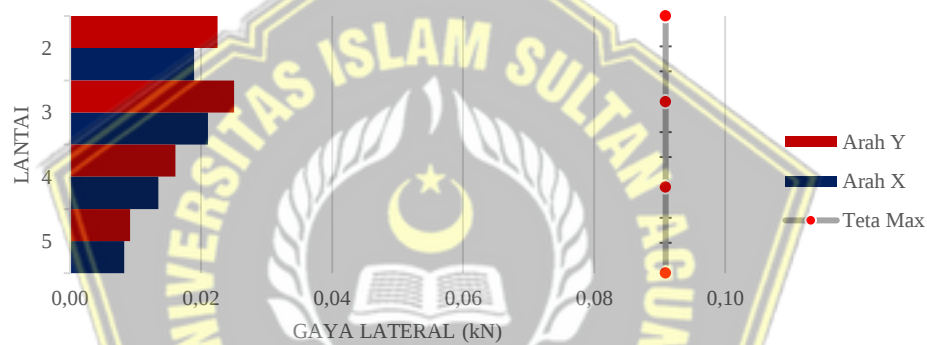
4.4.12. Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa

Untuk mengetahui layan bangunan tidak hanya dari menentukan simpangan antar lantai tetapi juga harus mengetahui tingkat kestabilan struktur yang terjadi akibat gempa. Pada table 4.26 dan 4.27 diketahui kestabilan struktur akibat gempa.

Dan juga grafik P-Delta pada masing-masing arah yang ditunjukkan pada Gambar 4.22 dan 4.23.

Tabel 4.27. Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa Arah – X

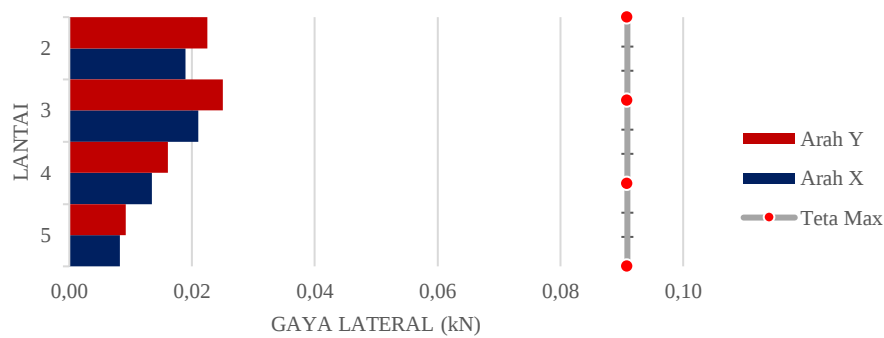
Arah X								
Story	Px	Delta	Ie	Vx	hsx	Cd	Teta	Cek
	kN	mm		kN	mm			
5	10012,5	20,620	1	1081,4	4200	5,5	0,0083	Aman
4	27653,0	24,591	1	2190,7	4200	5,5	0,0134	Aman
3	45412,7	32,049	1	2996,1	4200	5,5	0,0210	Aman
2	61694,0	23,821	1	3357,8	4200	5,5	0,0189	Aman
1	0,0	0,000	1	0,0	4200	5,5	0,0000	Aman



Gambar 4.23. Grafik P Delta Arah – X

Tabel 4.28. Cek Kestabilan Struktur Akibat Gempa Arah – Y

Arah Y								
Story	Px	Delta	Ie	Vy	hsx	Cd	Teta	Cek
	kN	mm		kN	mm			
6	1353,6	44,616	1	228,8	4200	5,5	0,0114	Aman
5	8890,8	21,670	1	999,2	4200	5,5	0,0083	Aman
4	26168,8	30,531	1	2061,0	4200	5,5	0,0168	Aman
3	43928,5	38,374	1	2813,2	4200	5,5	0,0259	Aman
2	60209,8	27,511	1	3143,9	4200	5,5	0,0228	Aman
1	0,0	0,000	1	0,0	4200	5,5	0,0000	Aman



Gambar 4.24. Grafik P Delta Arah – Y

Contoh perhitungan cek kestabilan struktur akibat gempa arah – y :

❖ Diketahui :

P_x , V_x dan V_y : Hasil Analisis Software Etabs

Δ : Hasil Perhitungan Simpangan Antar Lantai

I_e : 1

C_d : 5,5

h_{sx} : 4200 mm

❖ Ditanya

θ : ...?

❖ Jawab

$$\theta_{\text{Atap}} : \frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)} \dots\dots\dots (4.13)$$

$$: \frac{1353,6 \times 44,616 \times 1}{(228,8 \times 4000 \times 5,5)}$$

$$: 0,0120$$

$$\theta_{\text{Lantai 5}} : \frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)}$$

$$: \frac{8890,8 \times 21,670 \times 1}{(999,2 \times 4200 \times 5,5)}$$

$$: 0,0083$$

$$\theta_{\text{Lantai 4}} : \frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)}$$

$$: \frac{26168,8 \times 30,531 \times 1}{(2061 \times 4200 \times 5,5)}$$

$$: 0,0168$$

$$\begin{aligned}
 \theta \text{ Lantai 3} &: \frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)} \\
 &: \frac{43928,5 \times 50,314 \times 1}{(9546,3 \times 4200 \times 5,5)} \\
 &: 0,0343 \\
 \theta \text{ Lantai 2} &: \frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)} \\
 &: \frac{183811,7 \times 40,035 \times 1}{(10100,4 \times 4200 \times 5,5)} \\
 &: 0,0315 \\
 \theta \text{ Lantai 1} &: \frac{P \times \Delta \times I_e}{(V_y \times h_{sx} \times C_d)} \\
 &: \frac{221703,6 \times 13,041 \times 1}{(10305,9 \times 4200 \times 5,5)} \\
 &: 0,0121
 \end{aligned}$$

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

4.4.13. Cek Ketidakberaturan Struktur

Menurut SNI 1726 2019 Pasal 7.3.2, termasuk klasifikasi struktur beraturan dan tidak beraturan, dan struktur yang termasuk ketidakaturan struktur horizontal dan vertikal yang terlihat kriteria SNI 1726 2019 Pasal 7.3.2 harus diklasifikasikan sebagai beraturan dan tidak beraturan menurut Tabel 3 dan Tabel 3.10.

1. Ketidakberaturan struktur Horizontal

a. Ketidakaturan torsi 1A

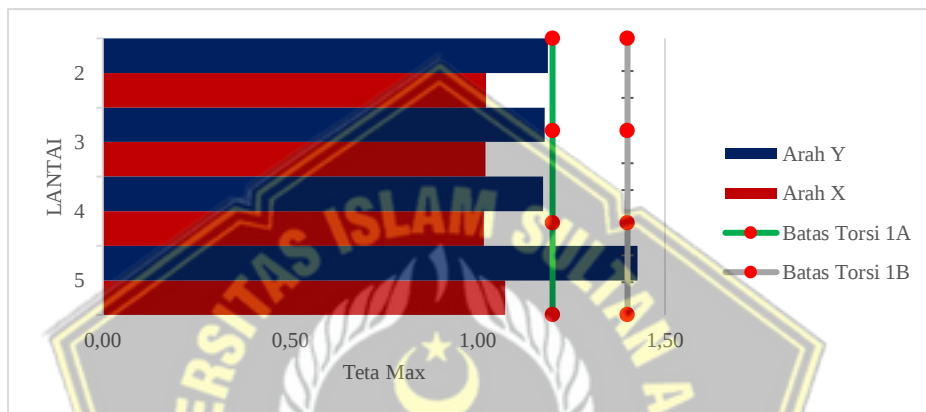
Sesuai dengan SNI 1726:2019 ketidakberaturan torsi 1A didefinisikan jika simpangan maksimum yang terjadi lebih besar dari 1,2 dari simpangan lantai rata - rata.

Tabel 4.29. Cek Ketidakberaturan Torsi 1A Arah X

Lantai	Arah X	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
5	1,074	OK
4	1,017	OK
3	1,021	OK
2	1,023	OK

Tabel 4.30. Cek Ketidakberaturan Torsi 1A Arah Y

Lantai	Arah Y	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
5	1,427	H.1b
4	1,175	OK
3	1,179	OK
2	1,188	OK



Gambar 4.25. Diagram Ketidakberaturan Torsi 1A dan 1B Arah X dan Y

b. Ketidakberaturan torsi 1B

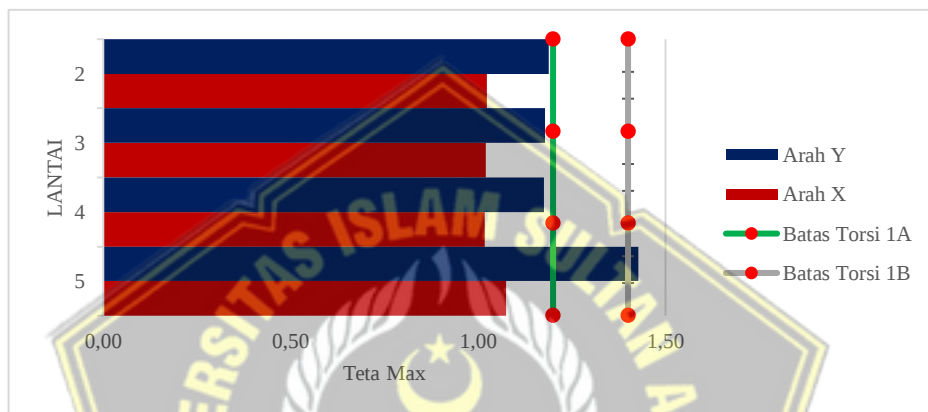
Mengacu pada SNI 1726 2019 ketidakberaturan torsi 1B didefinisikan jika simpangan maksimum yang terjadi lebih besar dari 1,4 simpangan lantai rata – rata.

Tabel 4.31. Cek Ketidakberaturan Torsi 1B Arah X

Lantai	Arah X	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
5	1,074	OK
4	1,017	OK
3	1,021	OK
2	1,023	OK

Tabel 4.32. Cek Ketidakberaturan Torsi 1B Arah Y

Lantai	Arah Y	
	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
5	1,427	H.1b
4	1,175	OK
3	1,179	OK
2	1,188	OK



Gambar 4.26. Diagram Ketidakberaturan Torsi 1A dan 1B Arah X dan Y

c. Ketidakberaturan 2 (Ketidakberaturan Sudut Dalam)

Tabel 4.33. Cek Ketidakberaturan Sudut Dalam

Lx	55,8	m
Px	3	m
Ly	25,2	m
Py	13,6	m
Lx/Px	0,1190	
Ly/Py	0,5397	
Cek	H.2	

Berdasarkan geometri bangunan ketidakberaturan ini ada karena bangunan berbentuk persegi tetapi terdapat sudut dalam.

- d. Ketidakberaturan 3 (Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma)

Tabel 4.34. Cek Ketidakberaturan Sudut Dalam

Syarat 1		
A_{total}	1239,84	m^2
A_{bukaan}	46,2	m^2
Cek	OK	

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 lantai dengan kekakuan lateral kurang dari 70% kekakuan lantai di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata lantai 3 di atasnya.

Tabel 4.35. Cek Ketidakberaturan 1A Arah X

Lantai	Arah X	
	Kekakuan	Cek
	kN/m	
Atap	84422,06	
5	291491,901	OK
4	484444,448	OK
3	515078,816	OK
2	780787,924	OK

Tabel 4.36. Cek Ketidakberaturan 1A Arah Y

Lantai	Arah Y	
	Kekakuan	Cek
	kN/m	
Atap	48851,222	
5	203508,121	OK
4	408827,01	OK
3	444841,663	OK
2	697708,848	OK

b. Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1B

Berdasarkan SNI 1726:2019, ketidakberaturan ini didefinisikan ada jika terdapat lantai dengan kekakuan lateral kurang dari 60% kekakuan lantai di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan lateral rata-rata lantai 3 di atasnya.

Tabel 4.37. Cek Ketidakberaturan 1B Arah X

Lantai	Arah X	
	Kekakuan	Cek
	kN/m	
Atap	84422,06	
5	291491,901	OK
4	484444,448	OK
3	515078,816	OK
2	780787,924	OK

Tabel 4.38. Cek Ketidakberaturan 1B Arah Y

Lantai	Arah Y	
	Kekakuan	Cek
	kN/m	
Atap	48851,222	
5	203508,121	OK
4	408827,01	OK
3	444841,663	OK
2	697708,848	OK

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, ketidakberaturan 2 pada struktur ini .

Tabel 4.39. Cek Ketidakberaturan Massa Tingkat

Lantai	Massa	Cek
	kg	
Atap	212279,67	
5	712298,07	V.2
4	1357074,35	V.2
3	1401447,09	OK
2	1363758,38	OK

d. Ketidakberaturan 3 (Ketidakberaturan Geometri Vertikal)

Tabel 4.40. Cek Ketidakberaturan Massa Tingkat

Lantai	L	Cek
	mm	
Atap	600	
5	600	OK
4	600	OK
3	600	OK
2	600	OK

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

e. Ketidakberaturan 4 (Ketidakberaturan Diskontinuitas Bidang Pada Elemen Vetikal 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 lantai kurang dari 80% kekuatan lateral lantai diatasnya.

Tabel 4.41. Cek Ketidakberaturan Tingkat Lemah

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	kN		kN	
Atap	259,352		228,7772	
5	1061,096	OK	999,1869	OK
4	2158,1693	OK	2060,9847	OK
3	2954,4825	OK	2813,2081	OK
2	3311,5991	OK	3143,8643	OK

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

Tabel 4.42. Cek Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	kN		kN	
Atap	259,352		228,7772	
5	1061,096	OK	999,1869	OK
4	2158,1693	OK	2060,9847	OK
3	2954,4825	OK	2813,2081	OK
2	3311,5991	OK	3143,8643	OK

Tabel 4.43. Rekapitulasi Cek Ketidakberaturan Struktur

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

Tabel 4.44. 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 4.45. 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

Berdasarkan SNI 1726 2019 Pasal 7.8.4.1 Untuk membran kaku, distribusi gaya lateral pada setiap lantai harus memperhitungkan pengaruh momen torsi bawaan, M_t , akibat eksentrisitas antara posisi pusat gravitasi dan pusat kekakuan . Untuk diafragma fleksibel, distribusi gaya pada member vertikal harus memperhitungkan posisi dan distribusi massa yang ditopangnya.

Tabel 4.46. Momen Torsi Arah X

Arah X	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	A_x	%	Ecc. (m)
5	1,074	0,801	4,0%	1,009
4	1,017	0,718	3,6%	0,905
3	1,021	0,724	3,6%	0,912
2	1,023	0,727	3,6%	0,916

Tabel 4.47. Momen Torsi Arah Y

Arah Y	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	A_x	%	Ecc. (m)
5	1,427	1,414	7,1%	3,945
4	1,175	0,959	4,8%	2,675
3	1,179	0,965	4,8%	2,693
2	1,188	0,980	4,9%	2,734

Rumus yang digunakan untuk pembesaran momen torsi (A_x) : $(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}})^2 \dots (4.10)$

Contoh perhitungan :

$$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} = 1,074$$

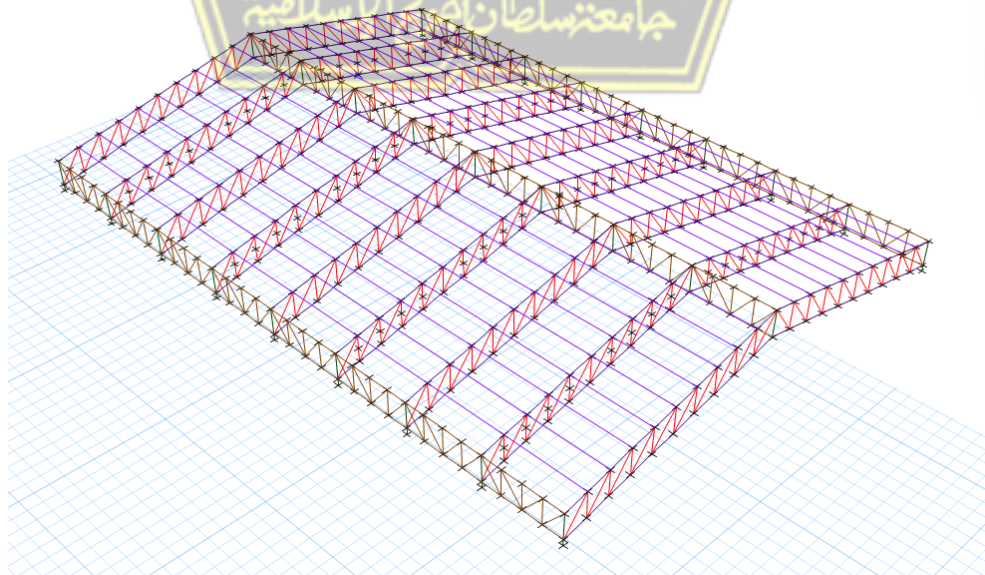
$$A_x = \left(\frac{1,074}{1,2}\right)^2 = 0,801$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio (\%)} &= \text{Torsi tak terduga (SNI 1726 2019)} \times A_x \\ &= 5\% \times 0,801 = 4,0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eksentrisitas (Ecc)} &= \text{Rasio} \times \text{Lebar struktur arah} \\ &= 4,0\% \times 25,2 = 1,009 \text{ m} \end{aligned}$$

4.4.15. Perhitungan Atap

Pada bangunan Kantor Bea Cukai Tanjung Emas ini terdapat rangkaian struktur atap yang harus ditinjau kembali sesuai dengan kriteria dari SNI terbaru.



Gambar 4.27. Desain Rangka Atap Gedung Bea Cukai Tanjung Emas

4.4.15.1. Perhitungan *Bracing* Atap

- Data Bahan

Gaya tarik pada track stank akibat beban terfaktor, $T_u = 15869,1 \text{ N}$

- PLAT SAMBUNG

Tegangan leleh baja, $f_y = 240 \text{ Mpa}$

Tegangan tarik putus, $f_u^p = 370 \text{ Mpa}$

Tebal plat sambung, $t_p = 8 \text{ mm}$

Lebar plat sambung, $L_p = 50 \text{ mm}$

- TRACK STANK

Tegangan leleh baja, $f_y = 250 \text{ Mpa}$

Tegangan tarik putus, $f_u = 410 \text{ Mpa}$

Diameter track stank, $d_t = 19 \text{ mm}$

- BAUT

Jenis baut, Tipe A-325

Tegangan leleh baja, $f_y = 740 \text{ Mpa}$

Tegangan tarik putus, $f_u^b = 825 \text{ Mpa}$

Diameter baut, $d_b = 16 \text{ mm}$

Jumlah baut, $n = 4 \text{ unit}$

- LAS SUDUT

Tipe, Mutu E7013

Tegangan tarik putus logam las, $f_{uw} = 390 \text{ Mpa}$

Tebal las, $t_w = 4 \text{ mm}$

Panjang las, $L_w = 100 \text{ mm}$

- Tahanan Tarik Plat

Luas penampang bruto, $A_g = t_p \times L_p = 400,00 \text{ mm}^2$

Luas penampang efektif, $A_e = t_p \times [L_p - (d_b + 2)] = 256,00 \text{ mm}^2$

Tahanan tarik plat berdasarkan luas

penampang brutto, $f \times T_n = 0.90 \times A_g \times f_y = 86400 \text{ N}$

Tahanan tarik plat berdasarkan luas

penampang efektif, $f \times T_n = 0.75 \times A_e \times f_u^p = 71040 \text{ N}$

Tahanan tarik plat (terkecil) yang digunakan,

$$f \times T_n = 71040 \quad \text{N}$$

- Tahanan Tarik Track Stank

Luas penampang bruto,

$$A_g = p / 4 \times d_t^2 = 283,53 \quad \text{mm}^2$$

Luas penampang efektif,

$$A_e = 0.90 \times A_g = 255,18 \quad \text{mm}^2$$

Tahanan tarik track stank

$$f \times T_n = 0.90 \times A_g \times f_y = 63794 \quad \text{N}$$

berdasarkan luas penampang brutto,

Tahanan tarik track stank

berdasarkan luas penampang

$$f \times T_n = 0.75 \times A_e \times f_u^p = 78467 \quad \text{N}$$

efektif,

Tahanan tarik plat (terkecil) yang

$$f \times T_n = 63794 \quad \text{N}$$

digunakan,

- Tahanan Geser Baut dan Tumpu Plat

Faktor reduksi kekuatan geser baut,

$$f_f = 0,75$$

Kondisi sambungan baut geser tunggal,

$$m = 1$$

Faktor pengaruh ulir pada bidang geser,

$$r_1 = 0,4$$

Luas penampang 1 baut,

$$A_b = p / 4 \times d_b^2 = 201,06$$

Tahanan geser baut,

$$f_f \times V_n = f_f \times r_1 \times m \times A_b \times f_u^b \times n = 199051 \quad \text{N}$$

Tahanan tumpu plat,

$$f_f \times R_n = 2.4 \times f_f \times d_b \times t_p \times f_u^p \times n = 85248 \quad \text{N}$$

Tahanan sambungan baut (terkecil),

$$f_f \times V_n = 85248 \quad \text{N}$$

- Tahanan Las

Tegangan tarik putus plat,

$$f_u^p = 370 \quad \text{MPa}$$

Tegangan tarik putus logam las,

$$f_{uw} = 390 \quad \text{MPa}$$

$$f_u^p < f_{uw}$$

Kuat tarik sambungan,

$$f_u = 370 \quad \text{MPa}$$

Tahanan las sudut,

$$f_f \times R_{nw} = 0.75 \times t_w \times (0.60 \times f_u) \times L_w = 66600 \quad \text{N}$$

- **Rekap Tahanan Sambungan**

Tahanan sambungan berdasarkan kekuatan

Plat : 71040 N

Track stank : 63794 N

Baut : 85248 N

Las : 66600 N

Tahanan sambungan terkecil : 63794 N

Gaya tarik pada *track stank* akibat beban terfaktor, $T_u = 15869,1$ N

Syarat yg harus dipenuhi :

$$T_u \leq \phi \times T_n$$

$$15869 < 63794 \rightarrow \text{AMAN}$$

4.4.15.2. Perhitungan Gording

- **Data Bahan**

Tegangan leleh baja (*yield stress*), $f_y = 240$ Mpa

Tegangan tarik putus (*ultimate stress*), $f_u = 370$ Mpa

Tegangan sisa (*residual stress*), $f_r = 70$ Mpa

Modulus elastik baja (*modulus of elasticity*), $E = 200000$ Mpa

Angka Poisson (*Poisson's ratio*), $u = 0,3$

- **Data Profil Baja**

Lip Channel : C 150.65.20.3,2

$h_t = 150$ mm

$b = 65$ mm

$a = 20$ mm

$t = 3,2$ mm

$A = 957$ mm²

$I_x = 3320000$ mm⁴

$I_y = 540000$ mm⁴

$S_x = 44200$ mm³

$S_y = 12200$ mm³

$r_x = 58,9$ mm

$$r_y = 23,7 \text{ mm}$$

$$c = 21,1$$

$$\text{Berat profil, } w = 7,51 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor reduksi kekuatan untuk lentur, } f_b &= 0,90 \\ \text{Faktor reduksi kekuatan untuk geser, } f_t &= 0,75 \\ \text{Diameter sagrod, } d &= 13 \text{ mm} \\ \text{Jarak (miring) antara gording, } s &= 1170 \text{ mm} \\ \text{Panjang gording (jarak antara rafter), } L_1 &= 4000 \text{ mm} \\ \text{Jarak antara sagrod (jarak dukungan lateral gording), } L_2 &= 1333,3 \text{ mm} \\ \text{Sudut miring atap, } a &= 15^\circ \end{aligned}$$

- Section Property

$$\begin{aligned} G &= E / [2 \times (1 + u)] = 76923,08 \text{ Mpa} \\ h &= h_t - t = 146,80 \text{ mm} \\ J &= 2 \times 1/3 \times b \times t^3 + 1/3 \times (h_t - 2 \times t) \times t^3 + 2/3 \times (a - t) \times t^3 = 3355,44 \text{ mm}^4 \\ I_w &= I_y \times h^2 / 4 = 2,909E+09 \text{ mm}^6 \\ X_1 &= p / S_x \times \sqrt{[E \times G \times J \times A / 2]} = 11170,87 \text{ Mpa} \\ X_2 &= 4 \times [S_x / (G \times J)]^2 \times I_w / I_y = 0,00063 \text{ mm}^2/\text{N}^2 \\ Z_x &= 1 / 4 \times h_t \times t^2 + a \times t \times (h_t - a) + t \times (b - 2 \times t) \times (h_t - t) = 36232 \text{ mm}^3 \\ Z_y &= h_t \times t \times (c - t / 2) + 2 \times a \times t \times (b - c - t / 2) + t \times (c - t)^2 + t \times (b - t - c)^2 = 21100 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G &= \text{modulus geser,} & Z_x &= \text{modulus penampang plastis thd. Sb.} \\ & & & X, \\ J &= \text{Konstanta puntir torsi,} & Z_y &= \text{modulus penampang plastis thd. Sb.} \\ & & & Y, \\ I_w &= \text{konstanta putir lengkung,} & X_1 &= \text{koefisien momen tekuk torsi lateral,} \\ h &= \text{tinggi bersih badan,} & X_2 &= \text{koefisien momen tekuk torsi lateral,} \end{aligned}$$

- Pembebanan Pada Atap

1. Beban Mati (*Dead Load*)

No	Material	Berat	Satuan	Lebar (m)	Q (N/m)
1	Berat sendiri gording	75,1	N/m		75,1
2	Atap baja (<i>span deck</i>)	100	N/m ²	1,2	117,0
Total beban mati,				$Q_{DL} =$	92,1 N/m

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup akibat beban air hujan	$Q_{hujan} = 0.025 \times 10 =$	0,25	kN/m ²
Jarak antara gording,	$s =$	1,17	m
Beban air hujan,	$q_{hujan} \times s \times 10^3 =$	293	N/m
Beban hidup merata akibat air hujan,	$Q_{LL} =$	293	N/m
Beban hidup terpusat akibat beban pekerja,	$P_{LL} =$	1000	N

3. Beban Terfaktor

Beban merata,	$Q_u = 1.2 \times Q_{DL} + 1.6 \times Q_{LL} =$	698,52	N/m
Beban terpusat,	$P_u = 1.6 \times P_{LL} =$	1600,00	N
Sudut miring atap,	$\alpha =$	0,26	rad
Beban merata terhadap sumbu x,	$Q_{ux} = Q_u \times \cos \alpha \times 10^{-3} =$	0,6747	N/mm
Beban merata terhadap sumbu y,	$Q_{uy} = Q_u \times \sin \alpha \times 10^{-3} =$	0,1808	N/mm
Beban terpusat terhadap sumbu x,	$P_{ux} = P_u \times \cos \alpha =$	1545,48	N
Beban terpusat terhadap sumbu y,	$P_{uy} = P_u \times \sin \alpha =$	414,11	N

4. Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Terfaktor

Panjang bentang gording terhadap sumbu x,	$L_x = L_1 =$	4000	mm
Panjang bentang gording terhadap sumbu y,	$L_y = L_2 =$	1333,30	mm
Momen akibat beban terfaktor terhadap sumbu x,	$M_{ux} = 1/10 \times Q_{ux} \times L_x^2 + 1/8 \times P_{ux} \times L_x =$	1852290	Nm
Momen pada ¼ bentang,	$M_A =$	1389218	Nm
Momen di tengah bentang,	$M_B =$	1852290	Nm
Momen pada ¾ bentang,	$M_C =$	1389218	Nm

Momen akibat beban terfaktor terhadap sumbu y,

$$M_{uy} = 1/10 \times Q_{uy} \times L_y^2 + 1/8 \times P_{uy} \times L_y = 101156 \text{ Nmm}$$

Gaya geser akibat beban terfaktor terhadap sumbu x,

$$V_{ux} = Q_{ux} \times L_x + P_{ux} = 4244 \text{ N}$$

Gaya geser akibat beban terfaktor terhadap sumbu y,

$$V_{uy} = Q_{uy} \times L_y + P_{uy} = 655 \text{ N}$$

5. Momen Nominal Pengaruh *Local Buckling*

Pengaruh tekuk lokal (*local buckling*) pada sayap :

Kelangsingan penampang sayap, $l = b / t = 20,313$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*, $l_p = 170 / \sqrt{f_y} = 10,973$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*, $l_r = 370 / \sqrt{(f_y - f_r)} = 28,378$

Momen plastis terhadap sumbu x, $M_{px} = f_y \times Z_x = 8695665 \text{ Nmm}$

Momen plastis terhadap sumbu y, $M_{py} = f_y \times Z_y = 5064115 \text{ Nmm}$

Momen batas tekuk terhadap sumbu x, $M_{rx} = S_x \times (f_y - f_r) = 7514000 \text{ Nmm}$

Momen batas tekuk terhadap sumbu y, $M_{ry} = S_y \times (f_y - f_r) = 2074000 \text{ Nmm}$

Momen nominal penampang untuk :

a. Penampang *compact*, $\lambda \leq \lambda_p$

$$\rightarrow M_n = M_p$$

b. Penampang *non-compact*, $l_p < l \leq l_r$

$$\rightarrow M_n = M_p - (M_p - M_r) * (l - l_p) / (l_r - l_p)$$

c. Penampang *langsing*, $l > l_r$

$$\rightarrow M_n = M_r * (l_r / l)^2$$

$$l > l_p \quad \text{dan} \quad l < l_r$$

Berdasarkan nilai kelangsingan sayap, maka termasuk penampang *non-compact*

Momen nominal penampang terhadap sumbu x dihitung sebagai berikut :

compact : $M_n = M_p = - \text{Nmm}$

$non-compact : M_n = M_p - (M_p - M_r) \times (1 - l_p) / (l_r - l_p) = 8061588 \text{ Nmm}$
 $langsing : M_n = M_r \times (l_r / l)^2 = - \text{Nmm}$
 Momen nominal terhadap sumbu x $non-compact M_{nx} 8061588 \text{ Nmm}$
 penampang :

Momen nominal penampang terhadap sumbu y dihitung sebagai berikut :

$compact : M_n = M_p = - \text{Nmm}$
 $non-compact : M_n = M_p - (M_p - M_r) \times (1 - l_p) / (l_r - l_p) = 3459632 \text{ Nmm}$
 $langsing : M_n = M_r \times (l_r / l)^2 = - \text{Nmm}$
 Momen nominal terhadap sumbu y $non-compact M_{ny} 3459632 \text{ Nmm}$
 penampang

6. Momen Nominal Pengaruh *Lateral Buckling*

Momen nominal komponen struktur dengan pengaruh tekuk lateral, untuk :

a. Bentang pendek : $L \leq L_p$
 $\rightarrow M_n = M_p = f_y \times Z_x$
 b. Bentang sedang : $L_p \leq L \leq L_r$
 $\rightarrow M_n = C_b \times [M_r + (M_p - M_r) \times (L_r - L) / (L_r - L_p)] \leq M_p$
 c. Bentang panjang : $L > L_r$
 $\rightarrow M_n = C_b \times p / L \times \sqrt{ [E \times I_y \times G \times J + (p \times E / L)^2 \times I_y \times I_w] } \leq M_p$
 Panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis, $L_p = 1.76 \times r_y \times \sqrt{ (E / f_y) } = 1204 \text{ mm}$
 Tegangan leleh dikurangi tegangan sisa, $f_L = f_y - f_r = 170 \text{ MPa}$
 Panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral, $L_r = r_y \times X_1 / f_L \times \sqrt{ [1 + \sqrt{ (1 + X_2 \times f_L^2) }] } = 3615 \text{ mm}$

Koefisien momen tekuk torsi lateral, $C_b = 12.5 \times M_{ux} / (2.5 \times M_{ux} + 3 \times M_A + 4 \times M_B + 3 \times M_C) = 1,14$
 Momen plastis terhadap sumbu x, $M_{px} = f_y \times Z_x = 8695665 \text{ Nmm}$
 Momen plastis terhadap sumbu y, $M_{py} = f_y \times Z_y = 5064115 \text{ Nmm}$
 Momen batas tekuk terhadap sumbu x, $M_{rx} = S_x \times (f_y - f_r) = 7514000 \text{ Nmm}$
 Momen batas tekuk terhadap sumbu y, $M_{ry} = S_y \times (f_y - f_r) = 2074000 \text{ Nmm}$

Panjang bentang terhadap sumbu y (jarak dukungan lateral),

$$L = L_2 = 1333 \text{ mm}$$

$$L > L_p \quad \text{dan} \quad L < L_r$$

→ Termasuk kategori : bentang sedang

Momen nominal terhadap sumbu x dihitung sebagai berikut :

$$M_{nx} = M_{px} = f_y \times Z_x = - \text{ Nmm}$$

$$M_{nx} = C_b \times [M_{rx} + (M_{px} - M_{rx}) \times (L_r - L) / (L_r - L_p)] = 9809496 \text{ Nmm}$$

$$M_{nx} = C_b \times p / L \times \sqrt{ [E \times I_y \times G \times J + (p \times E / L)^2 \times I_y \times I_w] } = - \text{ Nmm}$$

Momen nominal thd. sb. x untuk : bentang sedang $M_{nx} = 9809496 \text{ Nmm}$

$$M_{nx} > M_{px}$$

$$M_{nx} = 8695665 \text{ Nmm}$$

Momen nominal terhadap sumbu x yang digunakan,

Momen nominal terhadap sumbu y dihitung sebagai berikut :

$$M_{ny} = M_{py} = f_y \times Z_y = - \text{ Nmm}$$

$$M_{ny} = C_b \times [M_{ry} + (M_{py} - M_{ry}) \times (L_r - L) / (L_r - L_p)] = 5572635 \text{ Nmm}$$

$$M_{ny} = C_b \times p / L \times \sqrt{ [E \times I_y \times G \times J + (p \times E / L)^2 \times I_y \times I_w] } = - \text{ Nmm}$$

Momen nominal thd. sb. y untuk : bentang sedang $M_{ny} = 5572635 \text{ Nmm}$

$$M_{ny} > M_{py}$$

$$M_{ny} = 5064115 \text{ Nmm}$$

Momen nominal terhadap sumbu x yang digunakan,

7. Tahanan Momen Lentur

Momen nominal terhadap sumbu x :

Berdasarkan pengaruh *local buckling*, $M_{nx} = 8061588 \text{ Nmm}$

Berdasarkan pengaruh *lateral buckling*, $M_{nx} = 8695665 \text{ Nmm}$

Momen nominal terhadap sumbu x (terkecil) yg menentukan, $M_{nx} = 8061588 \text{ Nmm}$

Tahanan momen lentur terhadap sumbu x, → $f_b \times M_{nx} = 7255430 \text{ Nmm}$

Momen nominal terhadap sumbu y :

Berdasarkan pengaruh *local buckling*, $M_{ny} = 3459632 \text{ Nmm}$

Berdasarkan pengaruh *lateral buckling*, $M_{ny} = 5064115 \text{ Nmm}$

Momen nominal terhadap sumbu y (terkecil) yg menentukan,

$$M_{ny} = 3459632 \text{ Nmm}$$

Tahanan momen lentur terhadap sumbu y, $\rightarrow$

$$f_b \times M_{ny} = 3113669 \text{ Nmm}$$

Momen akibat beban terfaktor terhadap sumbu x,

$$M_{ux} = 1852290 \text{ Nmm}$$

Momen akibat beban terfaktor terhadap sumbu y,

$$M_{uy} = 101156 \text{ Nmm}$$

$$M_{ux} / (f_b \times M_{nx}) = 0,2553$$

$$M_{uy} / (f_b \times M_{ny}) = 0,0325$$

Syarat yg harus dipenuhi : $M_{ux} / (f_b \times M_{nx}) + M_{uy} / (f_b \times M_{ny}) \leq 1.0$

$$M_{ux} / (f_b \times M_{nx}) + M_{uy} / (f_b \times M_{ny}) = 0,2878 < 1.0 \text{ AMAN}$$

8. Tahanan Geser

Ketebalan plat badan tanpa pengaku harus memenuhi syarat,

$$h / t \leq 6.36 \times \sqrt{(E / f_y)}$$

$$45,88 \leq 183,60 \rightarrow \text{Plat badan memenuhi syarat}$$

Gaya geser akibat beban terfaktor terhadap sumbu x,

$$V_{ux} = 4244 \text{ N}$$

Luas penampang badan,

$$A_w = t \times h_t = 480 \text{ mm}^2$$

Tahanan gaya geser nominal thd.sb. x,

$$V_{nx} = 0.60 \times f_y \times A_w = 69120 \text{ N}$$

Tahanan gaya geser terhadap sumbu x, $\rightarrow$

$$f_f \times V_{nx} = 51840 \text{ N}$$

Gaya geser akibat beban terfaktor terhadap sumbu y,

$$V_{uy} = 655 \text{ N}$$

Luas penampang sayap,

$$A_f = 2 \times b \times t = 416 \text{ mm}^2$$

Tahanan gaya geser nominal thd.sb. y,

$$V_{ny} = 0.60 \times f_y \times A_f = 59904 \text{ N}$$

$$\rightarrow f_f \times V_{ny} = 44928 \text{ N}$$

Tahanan gaya geser terhadap sumbu x,

$$V_{ux} / (f_f \times V_{nx}) = 0,0819$$

$$V_{uy} / (f_f \times V_{ny}) = 0,0146$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$V_{ux} / (f_f \times V_{nx}) + V_{uy} / (f_f \times V_{ny}) \leq 1,0$$

$$V_{ux} / (f_f \times V_{nx}) + V_{uy} / (f_f \times V_{ny}) = 0,0965 \leq 1.0 \text{ AMAN}$$

9. Kontrol Interaksi Geser dan Lentur

Syarat yang harus dipenuhi untuk interaksi geser dan lentur :

$$M_u / (f_b \times M_n) + 0.625 \times V_u / (f_f \times V_n) \leq 1,375$$

$$M_u / (f_b \times M_n) = M_{ux} / (f_b \times M_{nx}) + M_{uy} / (f_b \times M_{ny}) = 0,2878$$

$$V_u / (f_f \times V_n) = V_{ux} / (f_f \times V_{nx}) + V_{uy} / (f_f \times V_{ny}) = 0,0965$$

$$\frac{M_u}{(f_b \times M_n)} + 0.625 \times \frac{V_u}{(f_v \times V_n)} = 0,3481$$

$$0,3481 \leq 1,375 \quad \text{AMAN}$$

10. Tahanan Tarik Sagrod

Beban merata terfaktor pada gording,	$Q_{uy} =$	0,1808	N/mm
Beban terpusat terfaktor pada gording,	$P_{uy} =$	414,11	N/m
Panjang sagrod (jarak antara gording),	$L_y = L_2 =$	1333	m
Gaya tarik pada sagrod akibat beban terfaktor,	$T_u = Q_{uy} \times L_y + P_{uy} =$	655	N
Tegangan leleh baja,	$f_y =$	240	MPa
Tegangan tarik putus,	$f_u =$	370	MPa
Diameter sagrod,	$d =$	13	mm
Luas penampang brutto sagrod,	$A_g = p / 4 \times d^2 =$	132,73	mm ²
Luas penampang efektif sagrod,	$A_e = 0.90 \times A_g =$	119,46	mm ²
Tahanan tarik sagrod berdasarkan luas penampang brutto,	$f \times T_n = 0.90 \times A_g \times f_y =$	28670	N
Tahanan tarik sagrod berdasarkan luas penampang efektif,	$f \times T_n = 0.75 \times A_e \times f_u =$	33150	N
Tahanan tarik sagrod (terkecil) yang digunakan,	$\rightarrow f \times T_n =$	28670	N
Syarat yg harus dipenuhi :	$T_u \leq$	$f \times T_n$	
	655	$\leq$ 28670	$\rightarrow$ AMAN

4.4.15.3. Perhitungan Angkur dan Base Plat

- Data Tumpuan

▪ BEBAN KOLOM

Gaya aksial akibat beban terfaktor,	$P_u =$	1600	N
Momen akibat beban terfaktor,	$M_u =$	1852290	Nmm
Gaya geser akibat beban terfaktor,	$V_u =$	4244	N

▪ PLAT TUMPUAN

Tegangan leleh baja,	$f_y =$	240	MPa
Tegangan tarik putus plat,	$f_u^p =$	370	MPa
Lebar plat tumpuan,	$B =$	400	mm
Panjang plat tumpuan,	$L =$	400	mm
Tebal plat tumpuan,	$t =$	20	mm

▪ KOLOM PEDESTRAL

Kuat tekan beton,	$f_c' =$	20	MPa
Lebar penampang kolom,	$I =$	2250	mm
Panjang penampang kolom,	$J =$	3250	mm

▪ DIMENSI KOLOM BAJA

Profil baja :	PIPA 140 (Steel Pipe)		
Tinggi total,	$h_t =$	140	mm
Tebal badan,	$t_w =$	6	mm

▪ ANGKUR BAUT

Jenis angkur baut,	Tipe :	A-325	
Tegangan tarik putus angkur baut,	$f_u^b =$	825	MPa
Tegangan leleh angkur baut,	$f_y =$	400	MPa
Diameter angkur baut,	$d =$	22	mm
Jumlah angkur baut pada sisi tarik,	$n_t =$	4	bh
Jumlah angkur baut pada sisi tekan,	$n_c =$	4	bh
Jarak baut terhadap pusat penampang kolom,	$f =$	150	mm
Panjang angkur baut yang tertanam di beton,	$L_a =$	500	mm

- Eksentrisitas Beban

$$e = M_u / P_u = 1157,68 \text{ mm}$$

$$L / 6 = 66,67 \text{ mm}$$

$$e > L / 6 \quad (\text{OK})$$

$$\begin{aligned}
 h &= h_t - t_f = 134 \text{ mm} \\
 e_t &= f + h / 2 = 217 \text{ mm} \\
 e_c &= f - h / 2 = 83 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jumlah angkur baut total,

$$n = n_t + n_c = 8 \text{ bh}$$

- Tahanan Tumpu Beton

Gaya tarik pada angkur baut, $P_t = P_u \times e_c / e_t = 612$

Gaya tekan total pada plat tumpuan, $P_{uc} = P_u + P_t = 2212$

Panjang bidang tegangan tekan beton, $Y = 3 \times (L - h) / 2 = 399,00$

Luas plat tumpuan baja, $A_1 = B \times L = 160000$

Luas penampang kolom pedestral, $A_2 = I \times J = 7312500$

Tegangan tumpu nominal, $f_{cn} = 0.85 \times f_c' \times \sqrt{A_2 / A_1} = 114,927$
 $f_{cn} = 1.70 \times f_c' = 34,000$

Tegangan tumpu nominal beton yg digunakan, $f_{cn} = 34,000$

Faktor reduksi kekuatan tekan beton, $f = 0,65$

Tegangan tumpu beton yg diijinkan, $f \times f_{cn} = 22,100$

Tegangan tumpu maksimum yang terjadi pada beton, $f_{cu} = 2 \times P_{uc} / (Y \times B) = 0,028$

Syarat yang harus dipenuhi:

$$\begin{array}{ccc}
 f_{cu} & \leq & f \times f_{cn} \\
 0,028 & \leq & 22,100 \quad \text{AMAN}
 \end{array}$$

- Kontrol Dimensi Plat Tumpuan

Lebar minimum plat tumpuan yang diperlukan, $B_{p \min} = P_{uc} / (0.5 \times f \times f_{cn} \times Y) = 1 \text{ mm}$

Lebar plat yang digunakan $B = 400 \text{ mm}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$\begin{aligned} B_{p \min} &\leq B \\ 1 &\leq 400 \quad \text{AMAN} \end{aligned}$$

Panjang bagian plat tumpuan $a = (L - 0.95 \times h_t) / 2 = 133.5 \text{ mm}$

jepit bebas, $f_{cu1} = (1 - a / Y) \times f_{cu} = 0.018 \text{ Mpa}$

Modulus penampang plastis plat, $Z = 1/4 \times B \times t^2 = 40000 \text{ mm}^3$

Momen yang terjadi pada plat akibat beban terfaktor, 87784 Nmm

$$M_{up} = 1/2 \times B \times f_{cu1} \times a^2 + 1/3 \times B \times (f_{cu} - f_{cu1}) \times a^2 =$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $f_b = 0.90$

Tahanan momen nominal plat, $M_n = f_y \times Z = 9600000 \text{ Nm}$

Tahanan momen plat, $f_b \times M_n = 8640000 \text{ Nm}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$\begin{aligned} M_{up} &\leq \Phi_b \times M_n \\ 87784 &\leq 8640000 \quad \text{AMAN} \end{aligned}$$

- Gaya Tarik Pada Angkur Baut

$$T_{u1} = P_t / n_t = 153 \text{ N}$$

Gaya tarik pada angkur baut,

Tegangan tarik putus angkur baut, $f_u^b = 825 \text{ MPa}$

Luas penampang angkur baut, $A_b = p / 4 \times d^2 = 380 \text{ mm}^2$

Faktor reduksi kekuatan tarik, $f_t = 0.90$

Tahanan tarik nominal angkur baut, $T_n = 0.75 \times A_b \times f_u^b = 235207 \text{ N}$

Tahanan tarik angkur baut, $f_t \times T_n = 211686 \text{ N}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$\begin{aligned} T_{u1} &\leq \Phi_t \times T_n \\ 153 &\leq 211686 \quad \text{AMAN} \end{aligned}$$

- Gaya Geser Pada Angkur Baut

Gaya geser pada angkur baut, $V_{u1} = V_u / n = 531 \text{ N}$

Tegangan tarik putus baut, $f_u^b = 825 \text{ MPa}$

Jumlah penampang geser, $m = 1$

Faktor pengaruh ulir pada bidang geser,	$r_1 =$	0.4
Luas penampang baut,	$A_b = p / 4 \times d^2 =$	380 mm ²
Faktor reduksi kekuatan geser,	$f_f =$	0.75
Tahanan geser nominal,	$V_n = r_1 \times m \times A_b \times f_u^b =$	125444 N
Tahanan geser angkur baut,	$f_f \times V_n =$	94083 N

Syarat yang harus

dipenuhi :

$$V_{u1} \leq \Phi_f \times V_n$$

$$531 \leq 94083 \quad \text{AMAN}$$

- Gaya Tumpu Pada Angkur Baut

Gaya tumpu pada angkur baut,	$R_{u1} = V_{u1} =$	531 N
Diameter baut,	$d =$	22 mm
Tebal plat tumpu,	$t =$	20 mm
Tegangan tarik putus plat,	$f_u^p =$	370 MPa
Tahanan tumpu nominal,	$R_n = 2.4 \times d \times t \times f_u^p =$	390720 N
Tahanan tumpu,	$f_f \times R_n =$	293040 N

Syarat yang harus

dipenuhi :

$$R_{u1} \leq \Phi_f \times R_n$$

$$531 \leq 293040 \quad \text{AMAN}$$

- Kombinasi Geser dan Tarik

Konstanta tegangan untuk baut mutu tinggi,	$f_1 =$	807 MPa
	$f_2 =$	621 MPa
Faktor pengaruh ulir pada bidang geser,	$r_2 =$	1.9
Tegangan geser akibat beban terfaktor,	$f_{uv} = V_u / (n \times A_b) =$	1.40 MPa
Kuat geser angkur baut,	$f_f \times r_1 \times m \times f_u^b =$	247.50 MPa

Syarat yang harus dipenuhi

$$f_{uv} = V_u / (n \times A_b) \leq \Phi_f \times r_1 \times m \times f_u^b$$

$$1.40 \leq 247.50 \quad \text{AMAN}$$

Gaya tarik akibat beban terfaktor,	$T_{u1} =$	153 N
Tahanan tarik angkur baut,	$f_f \times T_n = f_f \times f_1 \times A_b =$	230075 N

Syarat yang harus dipenuhi :

$$T_{u1} \leq \Phi f \times f_1 \times A_b$$

$$153 \leq 230075 \quad \text{AMAN}$$

Kuat tarik angkur baut, $f_t = 0.75 \times f_u^b = 618.75 \text{ MPa}$

Batas tegangan kombinasi, $f_1 - r_2 \times f_{uv} = 804.35 \text{ MPa}$

$f_2 = 621.00 \text{ MPa}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$f_t \leq f_1 - r_2 \times f_{uv}$$

$$618.75 \leq 804.35 \quad \text{AMAN}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$f_t \leq f_2$$

$$618.75 \leq 621.00 \quad \text{AMAN}$$

- Kontrol Panjang Angkur Baut

Panjang angkur tanam yang digunakan, $L_a = 500 \text{ mm}$

Kuat tekan beton, $f'_c = 20$

Tegangan leleh baja, $f_y = 400$

Diameter angkur baut, $d = 22$

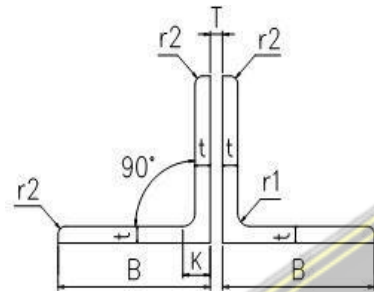
Panjang angkur tanam minimum yang diperlukan $L_{min} = f_y / (4 \times \sqrt{f'_c}) \times d = 492 \text{ mm}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$L_{min} \leq L_a$$

$$492 \leq 500 \quad \text{AMAN}$$

4.4.15.4. Perhitungan Sambungan Profil Baja + Baut



Profil Baja

2L 100.100.7.10

$a = 100$ mm

$b = 100$ mm

$T = 10$ mm

$t = 10$ mm

$r = 10$ mm

$A = 3800$ mm²

$I_x = 3500000$ mm⁴

$I_y = 7688500$ mm⁴

$r_x = 30.3$ mm

$r_y = 45$ mm

$S_x = 48750$ mm³

$S_y = 73220$ mm³

■ PLAT SAMBUNG

Tegangan leleh baja, $f_y = 240$ mm

Tegangan tarik putus plat, $f_u^p = 370$ MPa

Lebar plat sambung pada badan, $h_p = 50$ MPa

Tebal plat sambung pada badan, $t_{pw} = 10$ mm

Lebar plat sambung pada sayap, $l_p = 50$ mm

Tebal plat sambung pada sayap, $t_{pf} = 10$ mm

Faktor reduksi kekuatan tarik atau lentur plat, $\Phi = 0.9$ mm

$A_g = 1900$ mm²

■ BAUT

Jenis sambungan baut, Tipe baut : A-325

Tegangan tarik putus baut, $f_u^b = 825$ MPa

Diameter lubang $d = 18$ mm

Diameter baut, $d = 16$ mm

Jumlah baut pada penampang kritis badan, $n = 2$ bh

Jumlah baut pada badan,	$A_b =$	201.0624	mm ²
Faktor reduksi kekuatan geser baut,	$\phi_f =$	0.75	
Kekuatan Tarik Nominal	$f_{nt} =$	620	MPa
Kekuatan Geser Nominal	$f_{nv} =$	372	MPa

- Analisa Elemen Struktur Yang Disambung

Kuat leleh tarik penampang elemen tarik	$P_n = F_y \times A_g =$	912000	N
		912	kN

Kontrol leleh Tarik :

$$\begin{aligned} \Phi_t P_n &\geq P_u \\ 0.9 \cdot 912 &\geq 820,8 \\ 820,8 &\geq 820,8 \quad \text{AMAN} \end{aligned}$$

Faktor <i>shear lag</i>	$U =$	0.825	
Luasan neto penampang tarik	$A_n = A_g - (n \cdot (d_h + 2) \cdot T_p) =$	3440	mm ²
Luasan efektif	$A_e = U \cdot A_n =$	2838	mm ²
Nilai kuat nominal keruntuhan tarik	$P_n = F_u \cdot A_e =$	1050060	N
		1050.06	kN

Kontrol
keruntuhan

$$\begin{aligned} \text{Tarik : } \Phi_t P_n &\geq P_u \\ 0,9 \cdot 1050,06 &\geq 820,8 \\ 945.054 &\geq 820,8 \quad \text{AMAN} \end{aligned}$$

- Perhitungan Block Shear

Luasan <i>gross</i> bidang geser	$A_{gv} = ((l_{A-B}) \cdot t_p) \cdot 2 =$	4000	mm ²
Luasan <i>neto</i> bidang geser	$A_{nv} =$	3460	mm ²
Luasan <i>neto</i> bidang tarik	$A_{nt} =$	2920	mm ²
Faktor U_{bs}	$U_{bs} =$	1	
Nominal <i>block shear</i>	$R_n =$	1848520	N
		1848.52	kN

Kontrol block shear :

$$R_n \geq 0,6.F_y \times A_{gv} + U_{bs} \times F_u \times A_{nt}$$

$$1848,52 \geq 1656,4 \quad \text{AMAN}$$

Kontrol nominal block shear :

$$\Phi_t R_n \geq R_u = 0,75 \cdot 1656,4 > 820,08$$

$$1242,3 \geq 820,08 \quad \text{AMAN}$$

- Perhitungan *Bearing Strength* (Kuat Tumpu)

$$R_{n1} = f \times m \times r_1 \times f_u^b \times A_b$$

$$R_{n2} = f \times 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u^b$$

Geser $\Phi R_{n1} = 99525.888 \text{ N/baut}$
 $= 99.525888 \text{ kN/baut}$

Tumpu $\Phi R_{n2} = 106560 \text{ N/baut}$
 $= 106.56 \text{ kN/baut}$

Yang digunakan $= 99.525888 \text{ kN/baut}$

- Perhitungan *Bearing Strength* (Kuat Tumpu)

$$R_{ni} = 1,2 l_c \times t F_u \leq 2,4 d_b \times t F_u$$

Bearing strength baut

R_{n1}	$= 9820.8$	≤ 9.8208	kN
R_{n2}	$= 14284.8$	≤ 14.2848	kN
$R_{n2} + R_{n3}$	$= 14.2848$		kN
$R_n = R_{n1} + R_{n2} + R_{n3}$	$= 38.3904$		kN

Kontrol syarat kekuatan $\Phi_t R_n \geq R_u$

$$0,75 \cdot 190,92 > 72,541$$

$$143.19 > 72,541 \quad \text{AMAN}$$

- Pengaruh *Critical Slips* (Slip Kritis)

$$R_{ni} = \mu \times D_u \times h_f \times T_b \times n_s$$

$$= 51.415 \text{ kN} \quad (1 \text{ Baut})$$

$$2 \text{ baut} = 102.83 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kontrol syarat kekuatan } \Phi_t R_n &\geq R_u \\
 1 \cdot 102,83 &\geq 72,541 \\
 102,83 &\geq 72,541 \quad \text{AMAN}
 \end{aligned}$$

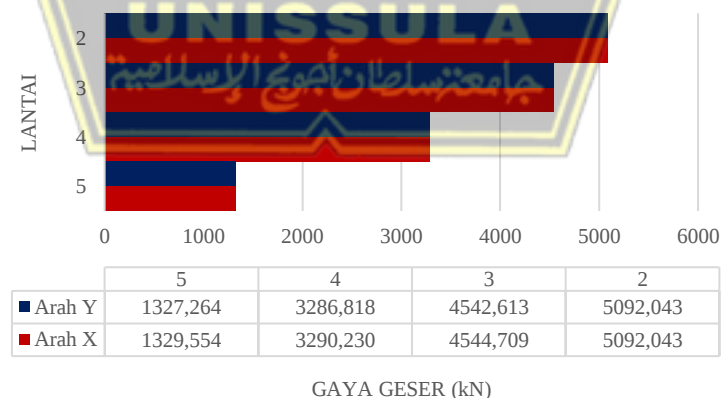
- Analisa Kekuatan Baut

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nv} \times A_b \\
 &= 74795 \text{ N} \\
 &= 74.7952128 \text{ kN} \\
 2 \text{ Baut} &= 149.59 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kontrol syarat kekuatan } \Phi_t R_n &\geq R_u \\
 0,75 \cdot 156,24 &\geq 72,541 \\
 112.1928192 &\geq 72,541 \quad \text{AMAN}
 \end{aligned}$$

4.4.16. Cek Redudansi

Berdasarkan pada SNI 1726 2019 Pasal 7.3.4.2 karena bangunan termasuk dalam kategori desain seismik D, maka redundansi struktur yang digunakan sebesar 1,3. Pengecekan ini ditinjau harus sesuai pada Tabel 15 pada SNI 1726 2019.



Gambar 4.28 Grafik Cek Redundansi

Dari hasil analisis yang didapatkan masing – masing tingkat mulai dari lantai 1 sampai dengan lantai atap atau lantai 5 memiliki gaya geser yang lebih besar dari gaya geser dasar seismik. Berdasarkan SNI 1726 2019 Tabel 15 karena struktur mempunyai ketidakberaturan torsi 1b maka redundansi yang digunakan sebesar 1,3.

4.4.17. 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)	= 0,6793 (Semarang, Tanah Lunak)
P	= 1,3 (Faktor Redundansi)
U1	= 1,4 DL
U2	= 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 Lr
U3	= 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 R
U4	= 1,2 DL + 1 LL + 1,6 Lr
U5	= 1,2 DL + 1,6 Lr + 0,5 Wx
U6	= 1,2 DL + 1,6 Lr + 0,5 Wy
U7	= 1,2 DL + 1,6 Lr + 0,375 Wx + 0,375 Wy
U8	= 1,2 DL + 1 LL + 1,6 R
U9	= 1,2 DL + 1,6 R + 0,5 Wx
U10	= 1,2 DL + 1,6 R + 0,5 Wy
U11	= 1,2 DL + 1,6 R + 0,375 Wx + 0,375 Wy
U12	= 1,2 DL + 1 LL + 0,5 Lr + 1 Wx
U13	= 1,2 DL + 1 LL + 0,5 Lr + 1 Wy
U14	= 1,2 DL + 1 LL + 0,5 Lr + 0,75 Wx + 0,75 Wy
U15	= 1,2 DL + 1 LL + 0,5 R + 1 Wx
U16	= 1,2 DL + 1 LL + 0,5 R + 1 Wy
U17	= 1,2 DL + 1 LL + 0,5 R + 0,75 Wx + 0,75 Wy
U18	= 0,9 DL + 1 Wx

$$\begin{aligned}
U19 &= 0,9 \text{ DL} + 1 \text{ Wy} \\
U20 &= 0,9 \text{ DL} + 0,75 \text{ Wx} + 0,75 \text{ Wy} \\
U21 &= (1,2 + 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + \rho \text{ Ex} + 0,3 \rho \text{ Ey} \\
U22 &= (1,2 + 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + \rho \text{ Ex} - 0,3 \rho \text{ Ey} \\
U23 &= (1,2 + 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} - \rho \text{ Ex} + 0,3 \rho \text{ Ey} \\
U24 &= (1,2 + 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} - \rho \text{ Ex} - 0,3 \rho \text{ Ey} \\
U25 &= (1,2 + 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 0,3 \rho \text{ Ex} + \rho \text{ Ey} \\
U26 &= (1,2 + 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} - 0,3 \rho \text{ Ex} + \rho \text{ Ey} \\
U27 &= (1,2 + 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} + 0,3 \rho \text{ Ex} - \rho \text{ Ey} \\
U28 &= (1,2 + 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} + 1,0 \text{ LL} - 0,3 \rho \text{ Ex} - \rho \text{ Ey} \\
U29 &= (0,9 - 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} + \rho \text{ Ex} + 0,3 \rho \text{ Ey} \\
U30 &= (0,9 - 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} + \rho \text{ Ex} - 0,3 \rho \text{ Ey} \\
U31 &= (0,9 - 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} - \rho \text{ Ex} + 0,3 \rho \text{ Ey} \\
U32 &= (0,9 - 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} - \rho \text{ Ex} - 0,3 \rho \text{ Ey} \\
U33 &= (0,9 - 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} + 0,3 \rho \text{ Ex} + \rho \text{ Ey} \\
U34 &= (0,9 - 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} - 0,3 \rho \text{ Ex} + \rho \text{ Ey} \\
U35 &= (0,9 - 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} + 0,3 \rho \text{ Ex} - \rho \text{ Ey} \\
U36 &= (0,9 - 0,2 \text{ S}_{\text{DS}}) \text{ DL} - 0,3 \rho \text{ Ex} - \rho \text{ Ey}
\end{aligned}$$

Dengan emnggunakan nilai S_{DS} dan ρ , menghasilkan perhitungan *Load Combination* yang akan digunakan dapat dilihat dalam Tabel 4.47.

Tabel 4.48. Kombinasi Pembebanan

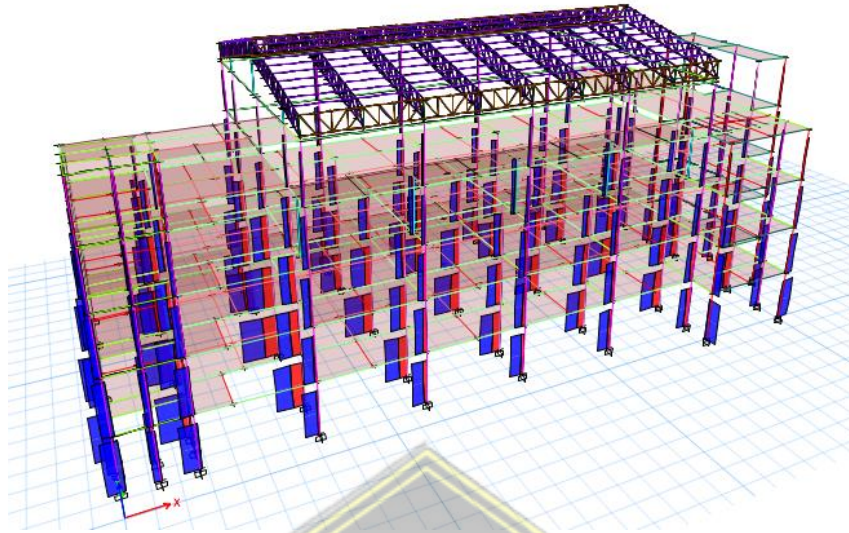
Nomor	DL	SIDL	LL	L _r	R	W _x	W _y	E _x	E _y
1,1	1,4	1,4							
2,1	1,2	1,2	1,6	0,5					
2,2	1,2	1,2	1,6		0,5				
3,1	1,2	1,2	1	1,6					
3,2	1,2	1,2		1,6		0,5			
3,3	1,2	1,2		1,6			0,5		
3,4	1,2	1,2		1,6		0,375	0,375		
3,5	1,2	1,2	1		1,6				

Tabel 4.48. Kombinasi Pembebanan (Lanjutan)

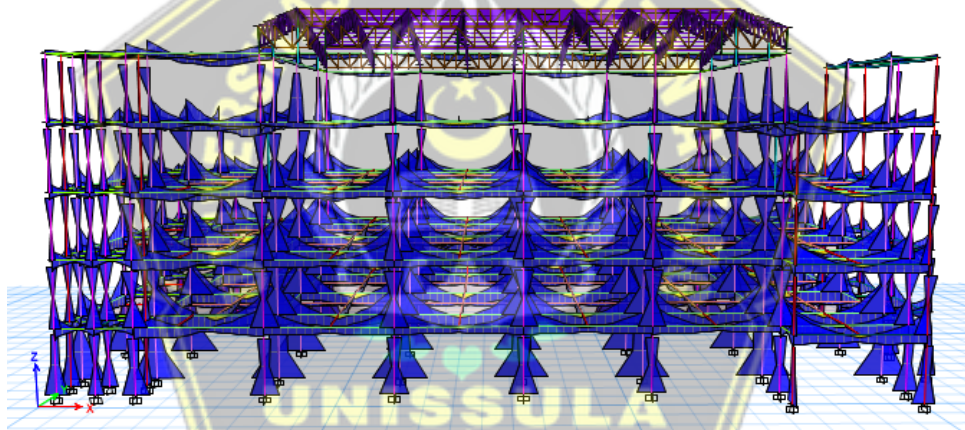
3,6	1,2	1,2			1,6	0,5			
3,7	1,2	1,2			1,6		0,5		
3,8	1,2	1,2			1,6	0,375	0,375		
4,1	1,2	1,2	1	0,5		1			
4,2	1,2	1,2	1	0,5			1		
4,5	1,2	1,2	1	0,5		0,75	0,75		
4,3	1,2	1,2	1		0,5	1			
4,4	1,2	1,2	1		0,5		1		
4,6	1,2	1,2	1		0,5	0,75	0,75		
5,1	0,9	0,9				1			
5,2	0,9	0,9					1		
5,3	0,9	0,9				0,75	0,75		
6,1	1,3359	1,3359	1					1,3	0,39
6,2	1,3359	1,3359	1					1,3	-0,39
6,3	1,3359	1,3359	1					-1,3	0,39
6,4	1,3359	1,3359	1					-1,3	-0,39
6,5	1,3359	1,3359	1					0,39	1,3
6,6	1,3359	1,3359	1					-0,39	1,3
6,7	1,3359	1,3359	1					0,39	-1,3
6,8	1,3359	1,3359	1					-0,39	-1,3
7,1	0,7641	0,7641						1,3	0,39
7,2	0,7641	0,7641						1,3	-0,39
7,3	0,7641	0,7641						-1,3	0,39
7,4	0,7641	0,7641						-1,3	-0,39
7,5	0,7641	0,7641						0,39	1,3
7,6	0,7641	0,7641						-0,39	1,3
7,7	0,7641	0,7641						0,39	-1,3
7,8	0,7641	0,7641						-0,39	-1,3

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

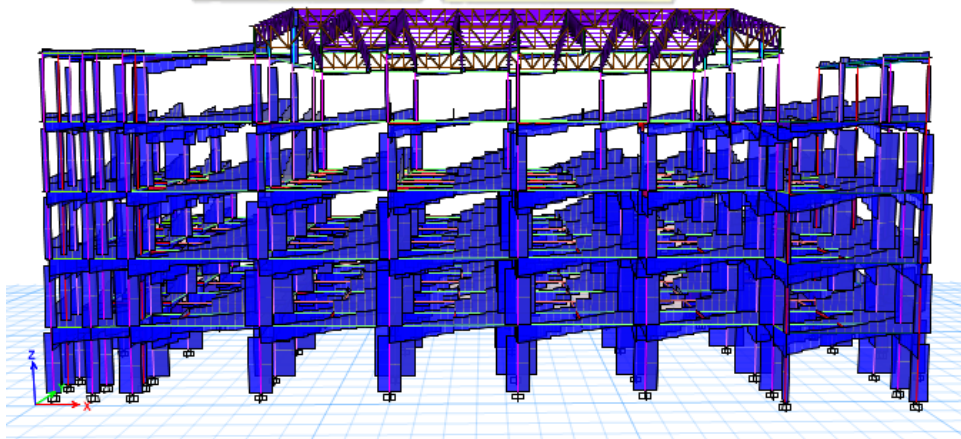
1. Gaya – Gaya Dalam Struktur



Gambar 4.29. Diagram Aksial Kombinasi *Evenlope*

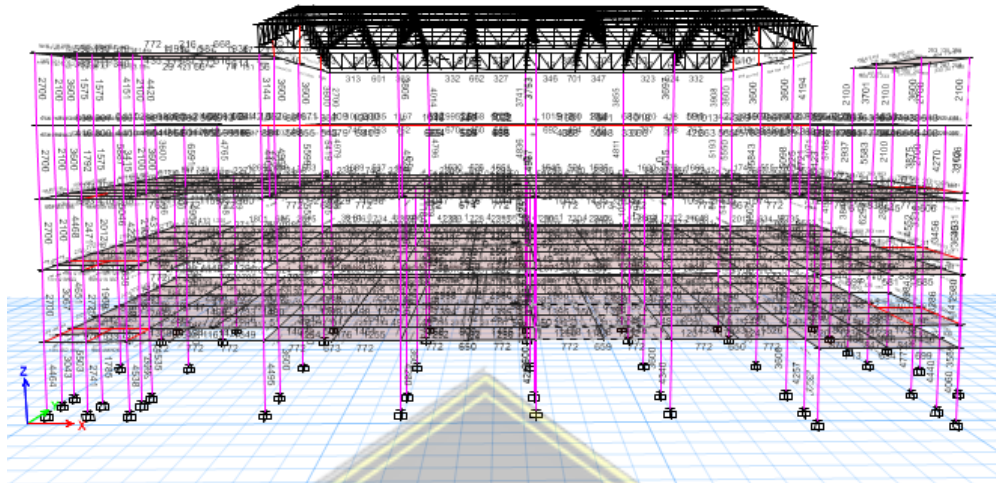


Gambar 4.30. Diagram Gaya Momen Kombinasi *Evenlope*

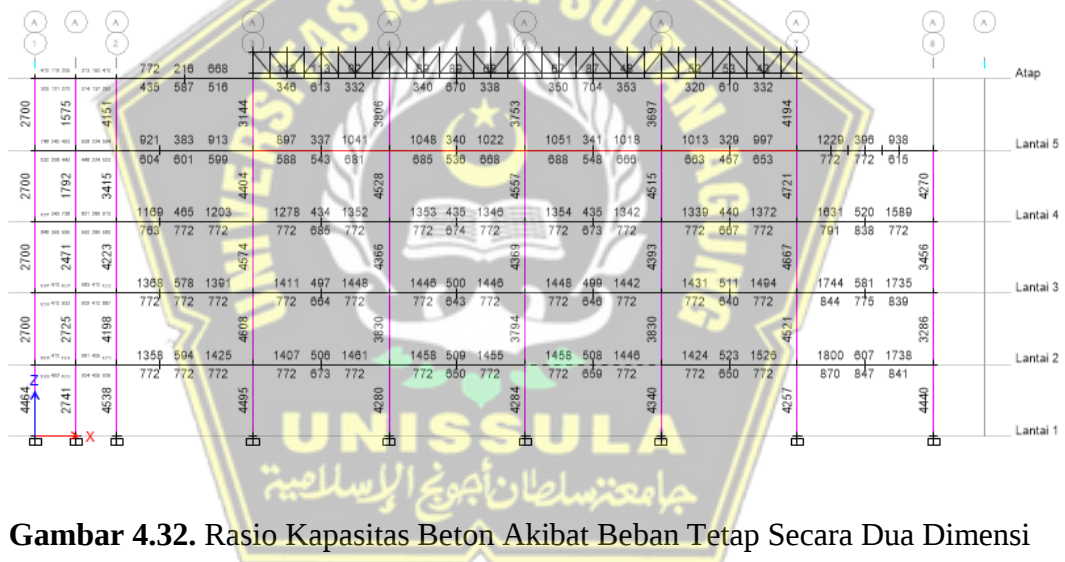


Gambar 4.31. Diagram Gaya Geser Kombinasi *Evenlope*

2. Rasio Kapasitas Beton



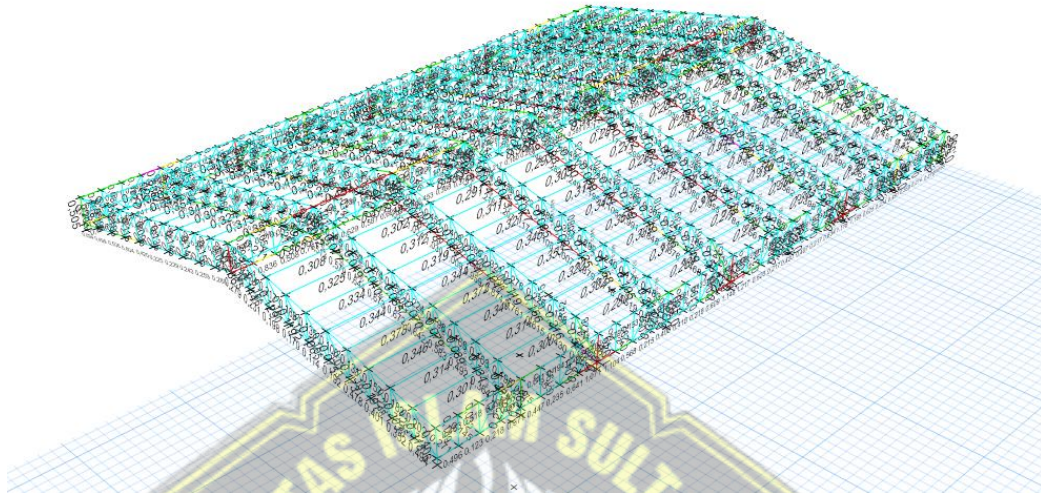
Gambar 4.31. Rasio Kapasitas Beton Akibat Beban Tetap Secara Tiga Dimensi



Gambar 4.32. Rasio Kapasitas Beton Akibat Beban Tetap Secara Dua Dimensi

4.4.17.1 Cek Kapasitas Penampang Atap

Pada pengecekan kapasitas penampang atap, diperhatikan dari hasil rasio tegangan baja yang digunakan sebagai rangka atap. Hasil dari rasio tersebut bisa dilihat pada Gambar 4.33 dan Tabel 4.48 berikut.



Gambar 4.33 Rasio Tegangan Rangka Atap

Tabel 4.49. Tabel Rasio Rangka Atap

TABLE: Steel Frame Design Summary - AISC 360-10						
Story	Label	Unique Name	Design Type	Design Section	PMM Ratio	P Ratio
Atap	C62	1209	Column	PIPA 140	1,108	0,073
Atap	C62	1209	Column	PIPA 140	0,234	0,024
Atap	C63	1250	Column	PIPA 140	1,132	0,285
Atap	C95	1320	Column	2L 100.100.9.10	0,021	0,011
Atap	C95	1320	Column	2L 100.100.9.10	0,068	0,033
Atap	C104	1361	Column	2L 100.100.9.10	0,022	0,011
Atap	C104	1361	Column	2L 100.100.9.10	0,071	0,033
Atap	C276	950	Column	2L 100.100.9.10	0,147	0,002
Atap	C277	948	Column	2L 100.100.9.10	0,155	0,004
Atap	C277	948	Column	2L 100.100.9.10	0,027	0,006
Atap	C278	898	Column	PIPA 140	0,505	0,025
Atap	C279	1006	Column	PIPA 140	0,037	0,015
Atap	C279	1006	Column	PIPA 140	0,072	0,047

Tabel 4.49. Tabel Rasio Rangka Atap (Lanjutan)

Atap	C285	996	Column	2L 100.100.9.10	0,014	0,003
Atap	C285	996	Column	2L 100.100.9.10	0,057	0,013
Atap	C294	1037	Column	2L 100.100.9.10	0,021	0,003
Atap	C313	1790	Column	2L 50.50.5.5	0,012	0,005
Atap	C316	1797	Column	2L 50.50.5.5	0,004	0,004
Atap	C316	1797	Column	2L 50.50.5.5	0,2	0,142
Atap	C320	1809	Column	2L 50.50.5.5	0,171	0,117
Atap	C111	1966	Column	2L 50.50.5.5	0,277	0,213
Atap	B363	1502	Beam	2L 100.100.9.10	0,311	0,24
Atap	B363	1502	Beam	2L 100.100.9.10	0,105	0,078
Atap	B364	1503	Beam	2L 100.100.9.10	0,35	0,225
Atap	B364	1503	Beam	2L 100.100.9.10	0,141	0,072
Atap	B827	831	Beam	CNP 150.65.20.3,2	0,186	0,011
Atap	B828	1864	Beam	CNP 150.65.20.3,2	0,309	0,071
Atap	B828	1864	Beam	CNP 150.65.20.3,2	0,175	0,006
Atap	B831	232	Beam	CNP 150.65.20.3,2	0,308	0,001
Atap	B832	235	Beam	CNP 150.65.20.3,2	0,223	0

Berdasarkan hasil analisis rasio tegangan baja profil akibat beban yang bekerja terdapat beberapa hasil rasio tegangan yang melebihi angka 1, sehingga profil baja pada atap membutuhkan perkuatan agar dapat menopang beban yang bekerja.

4.4.17.2 Cek Kapasitas Penampang Balok

Menurut SNI 2847 2019 pasal 18.6.1.1, balok sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian dari sistem gempa dan terutama dirancang untuk menahan lentur geser dari dimensi kritis yang ditentukan dalam pasal 18.6 disertakan. 2.1 Balok harus:

- Panjang bentang ℓ_n , diharuskan paling pendek $4d$
- Lebar bagian b_w minimal harus $0,3h$ dan minimal 250 mm
- Lebar balok yang diproyeksikan melampaui lebar tiang penopang tidak boleh melebihi minimum c_2 dan $0,75c_1$ di setiap sisi tiang penopang

Verifikasi tahanan penampang balok dihitung dengan menggunakan metode desain lentur, desain geser, dan desain torsi. Yang dapat dilihat pada perhitungan berikut.

1. Metode Desain Lentur

▪ Properti Material dan Penampang

Panjang Balok (L)	= 8000 mm
Lebar Balok (b)	= 350 mm
Tinggi Balok (h)	= 700 mm
Panjang Tumpuan	2.h = 1400 mm
Diameter Tulangan Longitudinal (d_b)	= 22 mm
Diameter Tulangan Pinggang (d_{bt})	= 16 mm
Diameter Tulangan Sengkang (d_s)	= 10 mm
Selimut Bersih (c_c)	= 40 mm
Tinggi Efektif Balok (d)	= 639 mm
Kuat Tekan Beton (f'_c)	= 30 MPa
Kuat Leleh Tul. Longitudinal (f_y)	= 400 MPa
Kuat Leleh Tul. Transversal (f_y)	= 400 MPa
β_1	$0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f'_c - 28) / 7 \leq 0.85$ = 0,835
Panjang Kolom (c_1)	= 600 mm
Lebar Kolom (c_2)	= 600 mm
L_n	$L - c_1 = 7400$ mm
Δ	= 1

▪ Gaya Dalam

$M_{u,tumpuan} (-)$	= -511,682 kN-m
$M_{u,tumpuan} (+)$	= 333,151 kN-m
$M_{u,lapangan} (-)$	= -340,116 kN-m
$M_{u,lapangan} (+)$	= 337,125 kN-m
P_u	= 0 kN

▪ Syarat Gaya dan Geometri

Syarat Gaya Aksial	$P_u \leq 0.1 A_g f'_c$	= OK
Syarat Tinggi Efektif	$L_n \geq 4d$	= OK
Syarat Lebar 1	$b \geq \min(0.3h, 250 \text{ mm})$	= OK
Syarat Lebar 2	$b \leq c_2 + 2 * \min(c_2, 0.75 c_1)$	= OK

▪ Penulangan Lentur Tumpuan Negatif

Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan (n)	= 8
d_b	= 22 mm
Jarak Bersih Antar Tulangan $(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	= 10,571 mm
Cek Jarak Bersih	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm = TIDAK
Jumlah Lapis	= 2
As Pasang	$n * \pi / 4 * d_b^2$ = 3041,062 mm ²
$A_{s \min,1}$	$(f_c') 0.5 / (4 * f_y) * b * d$ = 765,615 mm ²
$A_{s \min,2}$	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$ = 782,775 mm ²
Cek As min	As Pasang $\geq A_{s \min}$ = OK
ρ	$A_s / (b * d)$ = 1,36 %
$\rho_{\max,1}$	$0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f_c' / f_y * (600 / (600 + f_y))$ = 2,4 %
$\rho_{\max,2}$	2,5 % = 2,5 %
Cek As max	$\rho \leq \rho_{\max}$ = OK
A	$A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b)$ = 136,294 mm
M_n	$A_s * f_y * (d - a/2)$ = 694,4 kN-m
C	a / β_1 = 163,087 mm
ϵ_s	$(d - c) / c * 0.003$ = 0,009
ϕ	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$ = 0,9
ϕM_n	$\phi * M_n$ = 624,96 kN-m
$M_{u,tumpuan} (-)$	= 511,682 kN-m
Cek Kapasitas	$\phi M_n > M_u$ = OK
As Perlu	$M_u / [f_y * (d - a/2)]$ = 2240,864 mm ²

▪ Penulangan Lentur Tumpuan Positif

Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan (n)	= 4
d_b	= 22 mm
Jarak Bersih Antar Tulangan $(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	= 54 mm
Cek Jarak Bersih	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm = IYA
Jumlah Lapis	= 1
As Pasang	$n * \pi / 4 * d_b^2$ = 1520,531 mm ²

$$\begin{aligned}
A_{s \min,1} &= (f'_c)^{0.5} / (4 * f_y) * b * d = 765,613 \text{ mm}^2 \\
A_{s \min,2} &= 1.4 / (4 * f_y) * b * d = 782,775 \text{ mm}^2 \\
A_{s \min,4} &= 0.5 * A_s \text{ Tumpuan Negatif} = 1520,531 \text{ mm}^2 \\
\text{Cek } A_s \min &A_s \text{ Pasang} \geq A_s \min = \text{OK} \\
\rho &A_s / (b * d) = 0,68 \% \\
\rho_{\max,1} &0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f'_c / f_y * (600 / (600 + f_y)) = 2,4 \% \\
\rho_{\max,2} &2,5 \% = 2,5 \% \\
\text{Cek } A_s \max &\rho \leq \rho_{\max} = \text{OK} \\
a &A_s * f_y / (0.85 * f'_c * b) = 68,147 \text{ mm} \\
M_n &A_s * f_y * (d - a/2) = 367,924 \text{ kN-m} \\
C &a / \beta_1 = 81,543 \text{ mm} \\
\varepsilon_s &(d - c) / c * 0.003 = 0,021 \\
\phi &0.65 \leq 0.65 + (\varepsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9 = 0,9 \\
\phi M_n &\phi * M_n = 331,131 \text{ kN-m} \\
M_{u,\text{tumpuan (-)}} &= 331,151 \text{ kN-m} \\
\text{Cek Kapasitas} &\phi M_n > M_u = \text{NOT OK} \\
A_s \text{ Perlu} &M_u / [f_y * (d - a/2)] = 1376,824 \text{ mm}^2 \\
\blacksquare &\text{Penulangan Lentur Lapangan Negatif} \\
\text{Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan (n)} &= 8 \\
d_b &= 22 \text{ mm} \\
\text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1) = 10,571 \text{ mm} \\
\text{Cek Jarak Bersih} &\text{Jarak Bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm} = \text{TIDAK} \\
\text{Jumlah Lapis} &= 2 \\
A_s \text{ Pasang} &n * \pi/4 * d_b^2 = 3041,062 \text{ mm}^2 \\
A_{s \min,1} &(f'_c)^{0.5} / (4 * f_y) * b * d = 765,613 \text{ mm}^2 \\
A_{s \min,2} &1.4 / (4 * f_y) * b * d = 782,775 \text{ mm}^2 \\
A_{s \min,4} &0.25 * A_s \text{ Tumpuan Negatif} = 760,265 \text{ mm}^2 \\
\text{Cek } A_s \min &A_s \text{ Pasang} \geq A_s \min = \text{OK} \\
\rho &A_s / (b * d) = 1,36 \% \\
\rho_{\max,1} &0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f'_c / f_y * (600 / (600 + f_y)) = 2,4 \% \\
\rho_{\max,2} &2,5 \% = 2,5 \%
\end{aligned}$$

Cek As max	$\rho \leq \rho_{\max}$	= OK
a	$A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	= 136,294 mm
M_n	$A_s * f_y * (d - a/2)$	= 694,4 kN-m
C	a / β_1	= 163,087 mm
ϵ_s	$(d - c) / c * 0.003$	= 0,009
ϕ	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$	= 0,9
ϕM_n	$\phi * M_n$	= 624,96 kN-m
$M_{u,tumpuan} (-)$		= 340,116 kN-m
Cek Kapasitas	$\phi M_n > M_u$	= OK
As Perlu	$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	= 1489,507 mm ²

▪ Penulangan Lentur Lapangan Positif

Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan (n)		= 4
d_b		= 22 mm
Jarak Bersih Antar Tulangan	$(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	= 54 mm
Cek Jarak Bersih	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm	= IYA
Jumlah Lapis		= 1
As Pasang	$n * \pi/4 * d_b^2$	= 1520,531 mm ²
$A_{s \min,1}$	$(f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	= 765,613 mm ²
$A_{s \min,2}$	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	= 782,775 mm ²
$A_{s \min,4}$	$0.5 * A_s \text{ Tumpuan Negatif}$	= 760,265 mm ²
Cek As min	$A_s \text{ Pasang} \geq A_{s \min}$	= OK
ρ	$A_s / (b * d)$	= 0,68 %
$\rho_{\max,1}$	$0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f_c' / f_y * (600 / (600 + f_y))$	= 2,4 %
$\rho_{\max,2}$		2,5 % = 2,5 %
Cek As max	$\rho \leq \rho_{\max}$	= OK
a	$A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	= 68,147 mm
M_n	$A_s * f_y * (d - a/2)$	= 367,924 kN-m
C	a / β_1	= 81,543 mm
ϵ_s	$(d - c) / c * 0.003$	= 0,021
ϕ	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$	= 0,9
ϕM_n	$\phi * M_n$	= 331,131 kN-m

$M_{u,tumpuan} (-)$		= 337,125 kN-m
Cek Kapasitas	$\phi M_n > M_u$	= NOT OK
As Perlu	$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	= 1393,247 mm ²

2. Metode Desain Geser

a. Properti Material dan Penampang

Panjang Balok (L)		= 8000 mm
Lebar Balok (b)		= 350 mm
Tinggi Balok (h)		= 700 mm
Panjang Tumpuan	2.h	= 1400 mm
Diameter Tulangan Longitudinal (d_b)		= 22 mm
Diameter Tulangan Pinggang (d_{bt})		= 16 mm
Diameter Tulangan Sengkang (d_s)		= 10 mm
Selimut Bersih (c_c)		= 40 mm
Tinggi Efektif Balok (d)		= 639 mm
Kuat Tekan Beton (f'_c)		= 30 MPa
Kuat Leleh Tul. Longitudinal (f_y)		= 400 MPa
Kuat Leleh Tul. Transversal (f_y)		= 400 MPa
β_1	$0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f'_c - 28) / 7 \leq 0.85$	= 0,835
Panjang Kolom (c_1)		= 600 mm
Lebar Kolom (c_2)		= 600 mm
L_n	$L - c_1$	= 7400 mm
Λ		= 1

b. Gaya Dalam

$V_{u,tumpuan} (-)$	= 296,966 kN-m
$V_{u,tumpuan} (+)$	= 319,574 kN-m

c. Tumpuan Gaya Desain

$V_{g,tumpuan}$	= 236,755 kN
As^+ Tumpuan	= 1520,531 mm ²
As^- Tumpuan	= 3041,062 mm ²

$$\begin{aligned}
 a_{pr+} &= 85,184 \text{ mm} \\
 a_{pr-} &= 170,368 \text{ mm} \\
 M_{pr+} &= A_{s+} * (1.25 f_y) * (d - a_{pr+}/2) = 453428456 \text{ Nmm} \\
 M_{pr-} &= A_{s-} * (1.25 f_y) * (d - a_{pr-}/2) = 842094613 \text{ Nmm} \\
 V_{\text{sway}} \text{ atau } V_{pr} &= (M_{pr+} + M_{pr-}) / L_n = 175071 \text{ N} \\
 V_e &= V_g + V_{pr} = 411825 \text{ N}
 \end{aligned}$$

▪ Tumpuan Tahanan Geser Beton

$$\begin{aligned}
 V_{pr} &= 175071 \text{ N} \\
 1/2 V_e &= 205931 \text{ N} \\
 P_u &= 0 \text{ N} \\
 A_g f_c' / 20 &= 367500 \text{ N} \\
 V_c \text{ Diperhitungkan? } & V_c = 0 \text{ jika } V_{pr} \geq 1/2 V_e \text{ dan } P_u < A_g f_c' / 20 = \text{IYA} \\
 V_c &= 208247 \text{ N}
 \end{aligned}$$

▪ Tumpuan Penulangan Geser

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Kaki} &= 4 \\
 A_v &= n * \pi/4 * d_s^2 = 314,159 \text{ mm}^2 \\
 \text{Spasi} &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Spasi Max 1} &= d / 4 = 159,75 \text{ mm} \\
 \text{Spasi Max 2} &= 6 d_b = 132 \text{ mm} \\
 \text{Spasi Max 3} &= 150 \text{ mm} = 150 \text{ mm} \\
 \text{Cek Spasi} &= \text{OK} \\
 V_s &= A_v * f_y * d / s = 802991 \text{ N} \\
 \text{Batas } V_s &= 0.66 * (f_c')^{0.5} * b * d = 808488 \text{ N} \\
 \Phi &= 0,75 \\
 V_n &= V_c + V_s = 1011238 \text{ N} \\
 V_u &= 411,825 \text{ N} \\
 \phi V_n / V_u &= 1,842 \\
 \text{Cek Kapasitas} &= \phi V_n / V_u \geq 1 = \text{OK}
 \end{aligned}$$

▪ Lapangan Penulangan Geser

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Kaki} &= 4 \\
 A_v &= n * \pi/4 * d_s^2 = 314,159 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Spasi	= 100 mm
Spasi Max	$d / 2 = 150 \text{ mm}$
Cek Spasi	= OK
V_s	$A_v * f_y * d / s = 535237 \text{ N}$
Batas V_s	$0.66 * (f_c')^{0.5} * b * d = 808488 \text{ N}$
Φ	= 0,75
V_n	$V_c + V_s = 743574 \text{ N}$
V_u	= 319573,7 N
$\phi V_n / V_u$	= 1,745
Cek Kapasitas	$\phi V_n / V_u \geq 1 = \text{OK}$

3. Metode Desain Torsi

a. Properti Material dan Penampang

Panjang Balok (L)	= 8000 mm
Lebar Balok (b)	= 350 mm
Tinggi Balok (h)	= 700 mm
Panjang Tumpuan	$2.h = 1400 \text{ mm}$
Diameter Tulangan Longitudinal (d_b)	= 22 mm
Diameter Tulangan Pinggang (d_{bt})	= 16 mm
Diameter Tulangan Sengkang (d_s)	= 10 mm
Selimut Bersih (c_c)	= 40 mm
Tinggi Efektif Balok (d)	= 639 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat Leleh Tul. Longitudinal (f_y)	= 400 MPa
Kuat Leleh Tul. Transversal (f_y)	= 400 MPa
β_1	$0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f_c' - 28) / 7 \leq 0.85 = 0,835$
Panjang Kolom (c_1)	= 600 mm
Lebar Kolom (c_2)	= 600 mm
L_n	$L - c_1 = 7400 \text{ mm}$
Λ	= 1

▪ Parameter Geometri Penampang untuk Perhitungan Torsi

A_{cp}	$b \cdot h$	$= 245000 \text{ mm}^2$
P_{cp}	$2 \cdot (b+h)$	$= 2100 \text{ mm}$
X_o	$b - 2c_c - d_s$	$= 260 \text{ mm}$
Y_o	$h - 2c_c - d_s$	$= 610 \text{ mm}$
A_{oh}	$x_o \cdot y_o$	$= 159,6 \text{ mm}^2$
A_o	$0,86 A_{oh}$	$= 134810 \text{ mm}^2$
Ph	$2 \cdot (x_o + y_o)$	$= 1740 \text{ mm}$
Gaya Dalam (T_u)		$= 8,578 \text{ kN-m}$

▪ Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

T_{cr}	$0.33 \cdot (f_c')^{0.5} \cdot A_{cp}^2 / P_{cp}$	$= 51663930 \text{ Nmm}$
Φ		$= 0,75$
$\phi T_{cr} / 4$		$= 9686987 \text{ Nmm}$
Perlu Tulangan Torsi	$T_u > \phi T_{cr} / 4$	$= \text{TIDAK}$

Berdasarkan hasil cek penampang balok pada uraian tersebut dapat disimpulkan pada *output* tabel 4.52 berikut.

Tabel 4.50. Hasil Cek Penampang Balok

Kesimpulan	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	NOT OK
Kapasitas Geser	OK
Kapasitas Torsi	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	8 D22
Longitudinal Tumpuan Tengah	4 D16
Longitudinal Tumpuan Bawah	4 D22
Longitudinal Lapangan Atas	8 D22
Longitudinal Lapangan Tengah	4 D16
Longitudinal Lapangan Bawah	4 D22
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	4D10-100
Sengkang Lapangan	4D10-150

4.4.17.3. Cek Kapasitas Penampang Kolom

Menurut SNI 2847 2019 pasal 18.7.1.1, kolom terbuat dari sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian dari sistem gempa dan dirancang terutama untuk menahan lentur, geser dan aksial yang dikandungnya. Karena batas dimensi yang diberikan dalam Pasal 18.7.2.1, kolom harus memenuhi persyaratan berikut:

- Dimensi penampang minimum yang diukur dalam garis lurus melalui pusat geometri adalah 300 mm atau lebih.
- Rasio dimensi penampang terkecil dengan dimensi vertikalnya lebih besar atau sama dengan 0,4

Pengecekan kapasitas penampang kolom dihitung menggunakan metode desain longitudinal dan desain transversal yang ditinjau pada kolom dimensi 60x60; 45x60; dan 45x35. Untuk perhitungan penampang kolom dapat dilihat pada tabel 4.53 sampai dengan 4.61 berikut.

1. Metode Desain Longitudinal

- Properti Material dan Penampang

Panjang/Tinggi Kolom (L)	= 4200 mm
Sisi Pendek Kolom (b)	= 600 mm
Sisi Panjang Kolom, (h)	= 600 mm
Diameter Tulangan Longitudinal, (db)	= 22 mm
Diameter Tulangan Sengkang, (ds)	= 10 mm
Selimut Bersih, (cc)	= 40 mm
Kuat Tekan Beton, (fc')	= 30 mm
Kuat Leleh Baja Tulangan, (fy)	= 400 mm
Tinggi Balok, (hb)	= 700 mm
Ln	= 3500 mm

- Syarat Gaya dan Geometri

Syarat Gaya Aksial	$P_u > 0.1 A_g f_c' = \text{OK}$
Syarat Sisi Terpendek	$b \geq 300 \text{ mm} = \text{OK}$
Syarat Rasio Dimensi Penampang	$b/h \geq 0.4 = \text{OK}$

▪ Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial – Lentur

Jumlah Tulangan, (n)	= 22
Luas Tulangan Longitudinal, (As)	$n \cdot \pi/4 \cdot d_b^2 = 8362,9 \text{ mm}^2$
Rasio Tulangan, (ρ)	$As / (b \cdot h) = 2,32\%$
Cek p_{min} dan p_{max}	$1\% \leq \rho \leq 6\% = \text{OK}$

▪ Pengecekan *Strong Column Weak Beam* (SCWB)

Mu Kolom Desain	= 373,120 kN-m
Pu Kolom Desain	= 508,493 kN-m
Mu Kolom Atas	= 84,6 kN-m
Pu Kolom Atas	= 244,4102 kN-m
Mn- Tumpuan Balok	= 511,682 kN-m
Mn+ Tumpuan Balok	= 333,151 kN-m
SMnc	= 1260,96 kN-m
Cek SCWB	$M_{nc} \geq 1.2 \cdot (M_{n-} + M_{n+}) = \text{OK}$

2. Metode Desain Transversal

Properti Material dan Penampang	
Panjang/Tinggi Kolom (L)	= 4200 mm
Sisi Pendek Kolom (b)	= 600 mm
Sisi Panjang Kolom, (h)	= 600 mm
Diameter Tulangan Longitudinal, (db)	= 22 mm
Diameter Tulangan Sengkang, (ds)	= 10 mm
Selimut Bersih, (cc)	= 40 mm
Kuat Tekan Beton, (fc')	= 30 mm
Kuat Leleh Baja Tulangan, (fy)	= 400 mm
Tinggi Balok, (hb)	= 700 mm
Ln	= 3500 mm
Panjang Zona Sendi Plastis	
lo1	h = 600 mm
lo2	$Ln / 6 = 583,3 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} lo_3 &= 450 \text{ mm} = 450 \text{ mm} \\ lo &= \text{Max}(lo_1; lo_2; lo_3) = 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

▪ Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kaki Sisi Pendek, (n1)} &= 4 \\ \text{Jumlah Kaki Sisi Panjang, (n2)} &= 4 \\ \text{Spasi, (s)} &= 100 \text{ mm} \\ \text{Spasi Kaki Terbesar, (xi max)} &= 150 \text{ mm} \\ \text{Ash 1} &= 314,159 \text{ mm}^2 \\ \text{Ash 2} &= 314,159 \text{ mm}^2 \\ \text{Ash / s, 1} &= 3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ \text{Ash / s, 2} &= 3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

▪ Kekangan Zona Sendi Plastis

$$\begin{aligned} \text{Lebar Penampang Inti Beton, bc} &= b - 2cc = 520 \text{ mm} \\ \text{Panjang Penampang Inti Beton, hc} &= h - 2cc = 520 \text{ mm} \\ \text{Luas Penampang Kolom, Ag} &= b * h = 360000 \text{ mm}^2 \\ \text{Luas Penampang Inti Beton, Ach} &= bc * hc = 270400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Sumbu Lemah

$$\text{Ash/s min, 1} = 0.3 (bc * fc' / fy) * (Ag / Ach - 1) = 3,877 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ash/s min, 2} = 0.09 * bc * fc' / fy = 3,510 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek Ash/s 1} \quad \text{Ash/s 1} \geq \text{Ash/s min} = \text{OK}$$

- Sumbu Kuat

$$\text{Ash/s min, 1} = 0.3 (bc * fc' / fy) * (Ag / Ach - 1) = 3,877 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ash/s min, 2} = 0.09 * bc * fc' / fy = 3,510 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek Ash/s 1} \quad \text{Ash/s 2} \geq \text{Ash/s min} = \text{OK}$$

- Cek Spasi

$$\text{smax,1} = b/4 = 150 \text{ mm}$$

$$\text{smax,2} = 6 * db = 132 \text{ mm}$$

$$\text{hx} = xi \text{ max} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{smax,3} = so = 100 \leq 100 + (350 - hx) / 3 \leq 150 = 150 \text{ mm}$$

$$\text{smax} = \text{Min}(smax1, smax2, smax3) = 132 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Spasi} = \text{OK}$$

▪ Kuat Geser Zona Sendi Plastis

$$M_{pr} \text{ Kolom} = 1055,394 \text{ kN-m}$$

$$V_{u1} = 2 * M_{pr} \text{ Kolom} / L_n = 603082 \text{ N}$$

$$\text{Sumbu Lemah} = 160045 \text{ N}$$

$$V_{u2}, \text{ Sumbu Kuat} = 243325 \text{ N}$$

- Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u = \text{Max}(V_{u1}, V_{u2}) = 603082 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0,17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0,5} h; d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 301145 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c = 502965 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 2,333 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0,062 (f_c')^{0,5} h / f_y = 0,5094 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = 0,35 h / f_y = 0,525 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Cek } A_s/s = A_s / s \geq \text{Max}(A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min}) = \text{OK}$$

- Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u = \text{Max}(V_{u1}, V_{u2}) = 603082 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0,17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0,5} h; d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 301145 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} = V_u / \phi - V_c = 502965 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 2,333 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 1} = 0,062 (f_c')^{0,5} h / f_y = 0,5094 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_s/s \text{ Min 2} = 0,35 h / f_y = 0,525 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Cek } A_s/s = A_s / s \geq \text{Max}(A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min}) = \text{OK}$$

▪ Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis

$$\text{Jumlah Kaki Sisi Pendek, } n_1 = 4$$

$$\text{Jumlah Kaki Sisi Panjang, } n_2 = 4$$

$$\text{Spasi, } s = 100 \text{ mm}$$

$$A_v \text{ Sumbu Lemah} = 314,519 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ Sumbu Kuat} = 314,519 \text{ mm}^2$$

- Kekangan Luar Zona Sendi Plastis

$$\begin{aligned} \text{Spasi max 1} & 6d_b = 132 \text{ mm} \\ \text{Spasi max 2} & 150 \text{ mm} = 150 \text{ mm} \\ \text{Cek Spasi} & \text{Spasi} \leq \text{Spasi Max} = \text{OK} \end{aligned}$$

- Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis

- Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u = 160405 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h; d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 301145 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \text{Max} (V_u / \phi - V_c; 0) = 0$$

$$A_v / s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 0$$

$$A_s / s \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} b / f_y = 0 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$A_s / s \text{ Min 2} = 0,35 b / f_y = 0 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$\text{Cek } A_s / s \quad A_v / s \geq A_v / s \text{ Perlu} = \text{OK}$$

- Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u = 243235 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h; d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 301145 \text{ N}$$

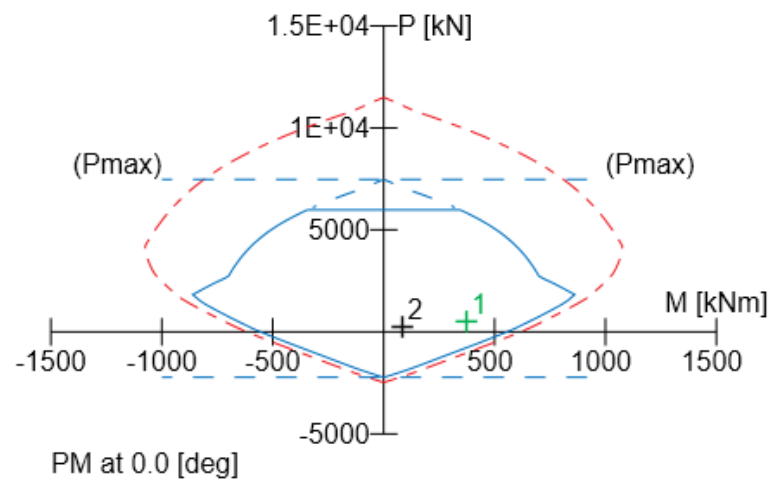
$$V_s \text{ Perlu} = \text{Max} (V_u / \phi - V_c; 0) = 23168$$

$$A_v / s \text{ Perlu} = V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2 = 0,1075$$

$$A_s / s \text{ Min 1} = 0.062 (f_c')^{0.5} b / f_y = 0,5094 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$A_s / s \text{ Min 2} = 0,35 b / f_y = 0,525$$

$$\text{mm}^2 / \text{mm} \text{ Cek } A_s / s \quad A_v / s \geq A_v / s \text{ Perlu} = \text{OK}$$



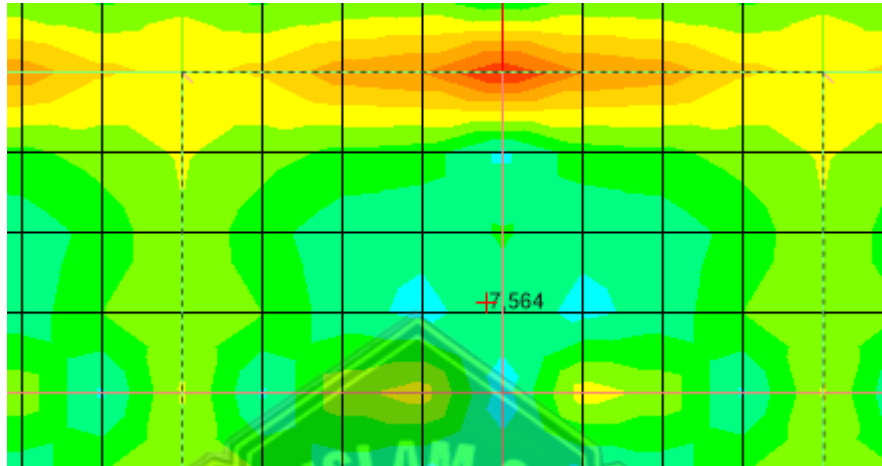
Gambar 4.34. Output Cek Penampang Kolom 60x60 dari Software SpColumn

Tabel 4.51. Hasil Cek Penampang Kolom 60x60

Kesimpulan	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	16 D22
Tulangan Transversal/Senggang Tumpuan	
Sumbu Lemah	2D10-100
Sumbu Kuat	2D10-100
Tulangan Transversal/Senggang Lapangan	
Sumbu Lemah	2D10-150
Sumbu Kuat	2D10-150

4.4.17.4. Cek Kapasitas Penampang Pelat Lantai

Untuk pengecekan penampang pelat lantai digunakan acuan SNI 1726:2019 juga yang berisikan standarisasi beton bertulang yang difokuskan pada struktur pelat lantai pada ruang arsip yang dibahas pada uraian berikut.



Gambar 4.37. Momen Maksimum Pelat Lantai pada Ruang Arsip

▪ Properti Material dan Penampang

Panjang Pelat Arah Sumbu 1, (L1) = 4000 mm

Panjang Pelat Arah Sumbu 2, (L2) = 8000 mm

Tebal Pelat, (t) = 120 mm

Diameter Tulangan, (db) = 10 mm

Selimut Bersih, (cc) = 20 mm

Tebal Efektif Penampang, (d) $h - cc - ds - db/2$ = 85 mm

Kuat Tekan Beton, (fc') = 30 MPa

Kuat Leleh Tulangan, (fy) = 400 Mpa

Modulus Elastisitas Beton, (Ec) $4700 * \sqrt{fc'}$ = 25743

β_1 $0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (fc' - 28) / 7 \leq 0.85$ = 0,8357

λ (asumsi tidak menggunakan beton ringan) = 1

▪ Penulangan Lentur (per meter lari)

M Max akibat M11 Max = 4,779 kN-m

M Max akibat M22 Max = 7,218 kN-m

– Momen Positif M11

Spasi Tulangan, (s)		= 150
Spasi Maksimum, (smax)	$2 * t \text{ dan } 450 \text{ mm}$	= 240 mm
Cek Spasi Maksimum	$s \leq smax$	= OK
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, (n)	$b / s = 1000 / s$	= 6,6667
db		= 10 mm
Jarak Bersih Antar Tulangan	$s - db$	= 140 mm
Cek Jarak Bersih	Jarak Bersih $\geq db$ dan 25 mm	= OK
As Pasang	$n * \pi/4 * db^2$	= 523,6 mm ²
As min (fy < 420 MPa)	$0.2\% * b * t$	= 240 mm ²
As min (fy $\geq$ 420 MPa)	$(0.18\% * 420 / fy) * b * t$	= 226,8 mm ²
Cek As min	As Pasang $\geq$ As min	= OK
Tinggi Blok Beton, (a)	$As * fy / (0.85 * fc' * b)$	= 8,213 mm
Kapasitas Lentur, (Mn)	$As * fy * (d - a/2)$	= 16,942 kN-m
Lokasi Garis Netral, (c)	a / β_1	= 9,828 mm
Regangan Tulangan Tarik, (ϵ_s)	$(d - c) / c * 0.003$	= 0,023
Faktor Reduksi, (ϕ)	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$	= 0,9
Kapasitas Lentur Tereduksi, (ϕMn)	$\phi * Mn$	= 15,248 kN-m
Momen Ultimit, (Mu)		= 4,779 kN-m
Cek Kapasitas	$\phi Mn > Mu$	= OK

– Momen Positif M22

Spasi Tulangan, (s)		= 150
Spasi Maksimum, (smax)	$2 * t \text{ dan } 450 \text{ mm}$	= 240 mm
Cek Spasi Maksimum	$s \leq smax$	= OK
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, (n)	$b / s = 1000 / s$	= 7
db		= 10 mm
Jarak Bersih Antar Tulangan	$s - db$	= 140 mm
Cek Jarak Bersih	Jarak Bersih $\geq db$ dan 25 mm	= OK
As Pasang	$n * \pi/4 * db^2$	= 523,6 mm ²
As min (fy < 420 MPa)	$0.2\% * b * t$	= 240 mm ²
As min (fy $\geq$ 420 MPa)	$(0.18\% * 420 / fy) * b * t$	= 226,8 mm ²
Cek As min	As Pasang $\geq$ As min	= OK

Tinggi Blok Beton, (a)	$As * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	= 8,213 mm
Kapasitas Lentur, (Mn)	$As * f_y * (d - a/2)$	= 14,848 kN-m
Lokasi Garis Netral, (c)	a / β_1	= 9,828 mm
Regangan Tulangan Tarik, (ϵ_s)	$(d - c) / c * 0.003$	= 0,023
Faktor Reduksi, (ϕ)	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$	= 0,9
Kapasitas Lentur Tereduksi, (ϕM_n)	$\phi * M_n$	= 13,363 kN-m
Momen Ultimit, (Mu)		= 7,218 kN-m
Cek Kapasitas	$\phi M_n > M_u$	= OK

- Tulangan Minimum

Spasi Tulangan, (s)		= 150
Spasi Maksimum, (smax)	$2 * t$ dan 450 mm	= 240 mm
Cek Spasi Maksimum	$s \leq s_{max}$	= OK
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, (n)	$b / s = 1000$	= 7
Db		= 10 mm
Jarak Bersih Antar Tulangan	$s - db$	= 140 mm
Cek Jarak Bersih	Jarak Bersih $\geq db$ dan 25 mm	= OK
Jumlah Lapis		= 2
As Pasang	$n * \pi/4 * db^2$	= 523,6 mm ²
As min ($f_y < 420$ MPa)	$0.2\% * b * t$	= 240 mm ²
As min ($f_y \geq 420$ MPa)	$(0.18\% * 420 / f_y) * b * t$	= 226,8 mm ²
Cek As min	$As_{Pasang} \geq As_{min}$	= OK

▪ Lendutan Pelat

- Kapasitas Retak Lentur

Momen Inersia Pelat, (Ig)		= 144000000 mm ⁴
Tegangan Retak, (fr)	$0.62 \sqrt{f_c'}$	= 3,396 MPa
Garis Netral, (y)	$t / 2$	= 60 mm
Kapasitas Retak Lentur, (Mcr)	$fr * I_g / y$	= 8,15 kN-m
Momen Inersia Retak, (Icr)	$0.25 I_g$	= 36000000 mm ⁴

- Lendutan Arah Sumbu 1

M11 Max Akibat DL		= 1,49 kN-m
M11 Min Akibat DL		= -2,725 kN-m

M11 Max Akibat SIDL	= 0,76 kN-m
M11 Min Akibat SIDL	= -1,373 kN-m
M11 Max Akibat LL	= 2,427 kN-m
M11 Min Akibat LL	= -4,368 kN-m
Ma Lapangan (+)	= 4,677 kN-m
Ma Tumpuan (-)	= -8,466 kN-m
Mcr / Ma Lapangan	= 1,743 kN-m
Mcr / Ma Tumpuan	= 0,963 kN-m
Ie Lapangan	= 144000000 mm ⁴
Ie Tumpuan	= 132356194 mm ⁴
Ie Rata-Rata	= 138178097 mm ⁴
Lendutan Seketika Akibat DL, δ_i , DL	= 0,953 mm
Lendutan Seketika Akibat SIDL, δ_i , SIDL	= 0,485 mm
Lendutan Seketika Akibat LL, δ_i , LL	= 1,546 mm
Syarat Lendutan Seketika LL	= 11,111 mm
Cek Lendutan Seketika	= OK
Faktor Jangka Panjang, λ	= 1,529
Lendutan Jangka Panjang, Δ_{LT}	= 3,746
Syarat Lendutan Jangka Panjang	= 16,667 mm
Cek Lendutan Jangka Panjang	= OK
– Lendutan Arah Sumbu 2	
M22 Max Akibat DL	= 3,778 kN-m
M22 Min Akibat DL	= -7,158 kN-m
M22 Max Akibat SIDL	= 1,902 kN-m
M22 Min Akibat SIDL	= -3,634 kN-m
M22 Max Akibat LL	= 5,645 kN-m
M22 Min Akibat LL	= -10,567 kN-m
Ma Lapangan (+)	= 11,325 kN-m
Ma Tumpuan (-)	= -21,359 kN-m
Mcr / Ma Lapangan	= 0,72 kN-m
Mcr / Ma Tumpuan	= 0,382 kN-m
Ie Lapangan	= 76253143 mm ⁴

Ie Tumpuan	= 42000282 mm ⁴
Ie Rata-Rata	= 59126713 mm ⁴
Lendutan Seketika Akibat DL, δ_i , DL	= 22,818 mm
Lendutan Seketika Akibat SIDL, δ_i , SIDL	= 11,514 mm
Lendutan Seketika Akibat LL, δ_i , LL	= 33,981 mm
Syarat Lendutan Seketika LL	= 22,222 mm
Cek Lendutan Seketika	= NOT OK
Faktor Jangka Panjang, λ	= 1,529
Lendutan Jangka Panjang, ΔL_T	= 86,476
Syarat Lendutan Jangka Panjang	= 33,333 mm
Cek Lendutan Jangka Panjang	= NOT OK

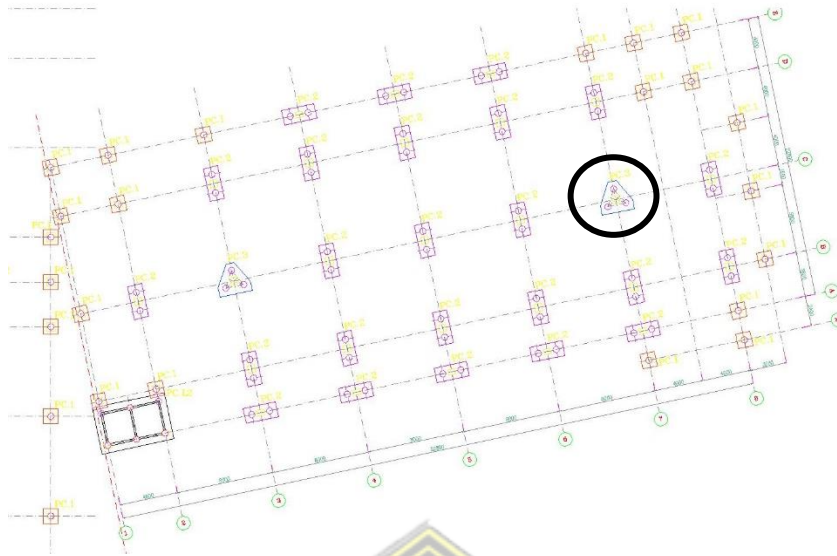
4.4.18. Perhitungan Pondasi

4.4.18.1 Tiang Pancang

Pondasi adalah bagian bawah rangka bangunan yang berfungsi untuk memindahkan beban bangunan di atasnya ke tanah penahan beban di bawahnya. Oleh karena itu, saat merencanakan pondasi perancah untuk bangunan, jenis tanah, kondisi tanah di bawah lokasi konstruksi yang direncanakan, dan perancah diperhitungkan. Perencanaan yang tepat dapat meletakkan dasar untuk instalasi yang aman, efisien dan ekonomis.

4.4.18.2 Cek Pondasi untuk Titik di Tengah Bangunan

Desain pancang kolom yang digunakan menggunakan tiang pancang *spun pile* pada gambar 4.33 terdapat letak pondasi kolom, kolom AS 5-C.



Gambar 4.39 Letak pondasi kolom yang ditinjau

4.4.18.3. Perhitungan Pondasi

- Data Tanah

Pengujian yang dilakukan adalah menggunakan pengujian *Soil Test* pada tabel 4.63 adalah hasil dari data pengujian.

Tabel 4.63. Data Hasil Pengujian

DATA HASIL PENGUJIAN			LABORATORIUM (DATA BOR TANAH)				SPT
No	Kedalaman		Jenis Tanah	c (kN/m ²)	γ_m (t/m ³)	ϕ (°)	Nilai SPT Terkoreksi N
	z_1 (m)	z_2 (m)					
1	0	2.5	Lempung	27.8	17.75	21.3	0
2	2.5	5	Lempung	27.8	17.75	21.3	12.5
3	5	7.5	Lempung	27.8	17.75	21.3	8.5
4	7.5	10	Lempung	27.8	17.75	21.3	9.5
5	10	12.5	Lempung	27.8	17.75	21.3	10
6	12.5	15	Lempung	27.8	17.75	21.3	10
7	15	17.5	Lempung	27.8	17.75	21.3	10.5
8	17.5	20	Lempung	27.8	17.75	21.3	11.5
9	20	22.5	Lempung	27.8	17.75	21.3	12
10	22.5	25	Lempung	27.8	17.75	21.3	13
11	25	27.5	Pasir	10.10	17.48	30.20	20
12	27.5	30	Pasir	10.10	17.48	30.20	24.5
13	30	32.5	Pasir	10.10	17.48	30.20	29
14	32.5	35	Pasir	10.10	17.48	30.20	32
15	35	37.5	Pasir	10.10	17.48	30.20	32.5

16	37.5	40	Pasir	10.10	17.48	30.20	34
17	40	42.5	Pasir	10.10	17.48	30.20	34.5
18	42.5	45	Pasir	10.10	17.48	30.20	36.5
19	45	47.5	Pasir	10.10	17.48	30.20	37
20	47.5	50	Pasir	10.10	17.48	30.20	37.5
21	50	52.5	Pasir	10.10	17.48	30.20	37.5

(Sumber : Pengujian Tanah Lab. Tanah Fakultas Teknik UNISSULA)

▪ Data Bahan

Pada jenis tiang pancang yang digunakan menggunakan beton bertulang tampang lingkaran.

Dimensi tiang pancang $D = 0.50 \text{ m}$

Panjang tiang pancang, $L = 50.00 \text{ m}$

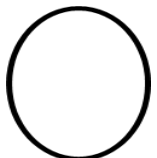
Kuat tekan beton tiang pancang, $F_c = 49.8 \text{ m}$

Kuat tekan beton tiang pancang, $W_c = 240 \text{ Kn/m}^3$

▪ Tahanan Aksial Tiang Pancang

1. Berdasarkan Kekuatan Bahan

Pada pondasi proyek ini ada tiga jenis pondasi yang bisa digunakan.

	Lebar Tiang persegi (D)	0,50
	Luas penampang tiang persegi (A)	0,25
	Keliling	2
	Momen Inersia	0,005208
	Keterangan Tipe/jenis pondasi	1
	Lebar Tiang persegi (D)	0,50
	Luas penampang tiang persegi (A)	0,19
	Keliling	1,73205072
	Momen Inersia	0,002005
	Keterangan Tipe/jenis pondasi	2
	Lebar Tiang persegi (D)	0,50
	Luas penampang tiang persegi (A)	0,20
	Keliling	1,570796327
	Momen Inersia	0,003068
	Keterangan Tipe/jenis pondasi	3

Pondasi yang akan digunakan pada proyek Bea Cukai Tanjung Emas Semarang adalah nomor 3 yaitu lingkaran.

Luas penampang tiang pancang	$A =$	0.1963	m
Berat tiang pancang	$W_p = A \times L \times W_c =$	2356.19	m
Kuat tekan beton tiang pancang,	$F_c' =$	49800	kPa
Kapasitas dukung nominal tiang pancang	$P_n = 0.85 \times f_c' \times A - 1.2 \times W_p =$	5484	kN
Faktor reduksi kekuatan	$\Phi =$	0.65	
Tahanan aksial tiang pancang	$\Phi \times P_n =$	3564.63	kN
Momen inersia	$I =$	0.0031	
Keliling permukaan pancang	$K =$	1.57079	m

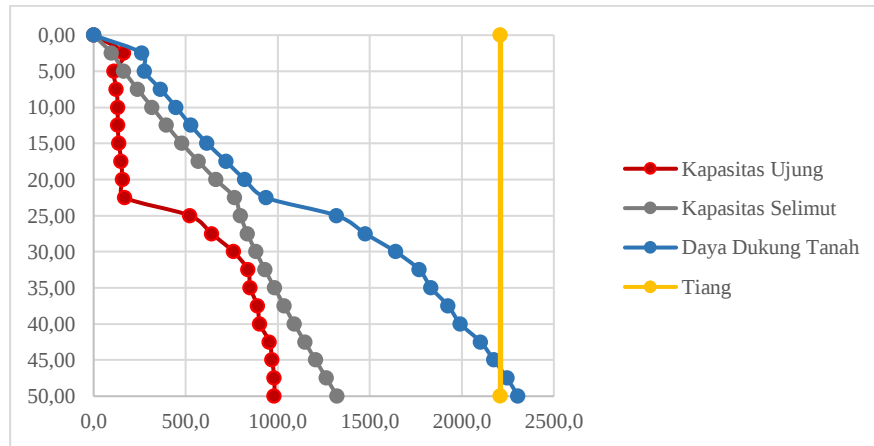


Tabel 4.64. Kapasitas Beban Akibat Delta

No	Kedalaman	Nilai SPT	L ₁	As	Pb	Ps	Pn1	P _{n2}	Ult Ps	f * P _n	Jumlah PN	Pn
	z ₁ (m)	N	(m)	m ²	kN	kN	kN	kN	kN	kN		4D-8D
1	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0	0
2	2.50	12.50	2.5	3.9	163.6	98.17477042	261.8	932.66	98.17	261.80	0	0
3	5.00	8.50	2.5	3.9	111.3	66.75884389	276.2	634.21	164.93	276.20	0	0
4	7.50	9.50	2.5	3.9	124.4	74.61282552	363.9	708.82	239.55	363.90	0	0
5	10.00	10.00	2.5	3.9	130.9	78.53981634	449.0	746.13	318.09	448.99	0	0
6	12.50	10.00	2.5	3.9	130.9	78.53981634	527.5	746.13	396.63	527.53	0	0
7	15.00	10.50	2.5	3.9	137.4	82.46680716	616.5	783.43	479.09	616.54	0	0
8	17.50	11.50	2.5	3.9	150.5	90.32078879	719.9	858.05	569.41	719.95	0	0
9	20.00	12.00	2.5	3.9	157.1	94.24777961	820.7	895.35	663.66	820.74	0	0
10	22.50	13.00	2.5	3.9	170.2	102.1017612	935.9	969.97	765.76	935.93	0	0
11	25.00	20.00	2.5	3.9	523.6	31.41592654	1320.8	1492.26	797.18	1320.78	0	0
12	27.50	24.50	2.5	3.9	641.4	38.4845100	1477.1	1828.01	835.66	1477.07	0	0
13	30.00	29.00	2.5	3.9	759.2	45.55309348	1640.4	2163.77	881.22	1640.43	0	0
14	32.50	32.00	2.5	3.9	837.8	50.26548246	1769.2	2387.61	931.48	1769.24	0	0
15	35.00	32.50	2.5	3.9	850.8	51.05088062	1833.4	2424.92	982.53	1833.38	0	0
16	37.50	34.00	2.5	3.9	890.1	53.40707511	1926.1	2536.84	1035.94	1926.06	0	0
17	40.00	34.50	2.5	3.9	903.2	54.19247327	1993.3	2574.14	1090.13	1993.34	0	0
18	42.50	36.50	2.5	3.9	955.6	57.33406593	2103.0	2723.37	1147.47	2103.03	0	0
19	45.00	37.00	2.5	3.9	968.7	58.11946409	2174.2	2760.67	1205.59	2174.24	1	2174.2439
20	47.50	37.50	2.5	3.9	981.7	58.90486225	2246.2	2797.98	1264.49	2246.24	1	2246.2387
21	50.00	37.50	2.5	3.9	981.7	58.90486225	2305.1	2797.98	1323.40	2305.14	0	0
										Jumlah	2	4420.4827

Di atas ujung tiang : 8 D 46 m
 $f \times P_n = 2210.24$ Kn

Di bawah ujung tiang : 8 D 48 m



Gambar 4.40 Grafik Kapasitas Beban Akibat Delta

2. Rekap Tahanan Aksial Tiang Pancang

Berdasarkan kekuatan bahan yaitu 3564,63 kN sedangkan berdasarkan hasil uji SPT Meyerhof yaitu 2210,00 kN. Pada desain pondasi ini menggunakan 2210.00 kN karena daya dukung aksial terkecil dan tahanan aksial tiang pancang.

Pada tahanan Lateral Tiang Pancang kali ini menggunakan dua metode, yaitu metode *BROMS* dan *BRINCH HANSEN*.

a. Berdasarkan Deflaksi Tiang Maksimum (*BROMS*)

Tahanan lateral tiang (*H*) kategori tiang panjang, dapat dihitung dengan persamaan 4.14 dan 4.15 dibawah ini.

$$H = y_o \times k_h \times D / [2 \times \beta \times (e \times \beta + 1)] \dots\dots\dots(4.14)$$

$$\beta = [k_h \times D / (4 \times E_c \times I_c)]^{0.25} \dots\dots\dots(4.15)$$

dengan,

D =	Diameter tiang pancang (m),	D =	0.50 m
L =	panjang tiang pancang (m),	L =	50.00 m
k_h =	modulus subgrade horisontal (kN/m ³),	k_h =	3000000 kN/m ³
E_c =	modulus elastis tiang (kN/m ²),	$E_c = 4700 \times \ddot{O} f'_c \times 10^3 =$	33167484 kN/m ²
I_c =	momen inersia penampang (m ⁴),	$I_c = p / 64 \times D^4 =$	0.003068 m ⁴
e =	Jarak beban lateral terhadap muka tanah (m),	e =	0.0010 m
y_o =	defleksi tiang maksimum (m).	$y_o =$	0.003 m
b =	koefisien defleksi tiang,	$b = [k_h \times D / (4 \times E_c \times I_c)]^{0.25} =$	1.385534058 m

$$\beta \geq L = 69.28 > 2.5 \text{ maka termasuk tiang panjang (AMAN)}$$

Tahanan lateral nominal tiang pancang $H = y_o \times k_n \times D / [2 \times b \times c(e \times b + 1)] = 1621.68 \text{ kN}$

Faktor reduksi kekuatan $f = 0.85$

Tahanan lateral tiang pancang $F \times H_n = 1378.42 \text{ N}$

b. Berdasarkan Momen Maksimum (*BRINCH HANSEN*)

Pada metode Brinch Hansen (1961) menggunakan tahanan lateral ultimit pada tiang-tiang pendek.

Kuat lentur beton tiang pancang $F_b = 0.40 \times f_c' \times 10^3 = 1621.68 \text{ kN/m}^2$

Tahanan Momen $W = I_c / (D/2) = 0.01227 \text{ m}^3$

Momen maksimum $M_y = f_b \times W = 1378.42 \text{ N}$

Pada pondasi perhitungan terdapat perhitungan kohesi rata-rata dengan hasil kohesi rata-rata disepanjang tiang diperoleh pada tabel 4.65.

Tabel 4.65. Hasil Kohesi tanah rata-rata

No	Kedalaman		L_1	c_u	$c_u \times L_1$	L_1	$c_u \times L_1$
	$z_1 \text{ (m)}$	$z_2 \text{ (m)}$	(m)	$\text{(kN/m}^2\text{)}$		(m)	
1	0.00	2.50	2.5	27.80	69.50	0.0	0.00
2	2.50	5.00	2.5	27.80	69.50	2.5	69.50
3	5.00	7.50	2.5	27.80	69.50	5.0	139.00
4	7.50	10.00	2.5	27.80	69.50	7.5	208.50
5	10.00	12.50	2.5	27.80	69.50	10.0	278.00
6	12.50	15.00	2.5	27.80	69.50	12.5	347.50
7	15.00	17.50	2.5	27.80	69.50	15.0	417.00
8	17.50	20.00	2.5	27.80	69.50	17.5	486.50
9	20.00	22.50	2.5	27.80	69.50	20.0	556.00
10	22.50	25.00	2.5	10.10	25.25	22.5	581.25
11	25.00	27.50	2.5	10.10	25.25	25.0	606.50
12	27.50	30.00	2.5	10.10	25.25	27.5	631.75
13	30.00	32.50	2.5	10.10	25.25	30.0	657.00
14	32.50	35.00	2.5	10.10	25.25	32.5	682.25
15	35.00	37.50	2.5	10.10	25.25	35.0	707.50
16	37.50	40.00	2.5	10.10	25.25	37.5	732.75
17	40.00	42.50	2.5	10.10	25.25	40.0	758.00
18	42.50	45.00	2.5	10.10	25.25	42.5	783.25
19	45.00	47.50	2.5	10.10	25.25	45.0	808.50
20	47.50	50.00	2.5	10.10	25.25	47.5	833.75
21	50.00	52.50	2.5	10.10	25.25	50.0	859.00

Dengan total kedalaman pondasi tiang pancang terdapat $\Sigma L_1 = 50.00$ m
maka didapatkan hasil $\Sigma C_u \times L_1 = 859.00$

Kohesi tanah rata-rata : $C_u = \Sigma [C_u \times L_1] / \Sigma L_1 = 17.18 \text{ kN/m}^2$

$$f = H_n / [9 \times \check{c}_u \times D] \quad \text{pers.(1)}$$

$$g = L - (f + 1.5 \times D) \quad \text{pers.(2)}$$

$$M_y = H_n \times (e + 1.5 \times D + 0.5 \times f) \quad \text{pers.(3)}$$

$$M_y = 9 / 4 \times D \times \check{c}_u \times g^2 \quad \text{pers.(4)}$$

Dengan rumus persamaan diatas diperoleh hasil perhitungan dibawah ini.

Dari pers.(1) :	$f =$	0.01293	$\times H_n$		
Dari pers.(2) :	$g =$	49.250	$- 0.013 \times H_n$		
	$g^2 =$	0.000	$\times H_n^2$	$-1.274 \times H_n +$	2425.563
				$9 / 4 \times D \times c_u =$	19.328
Dari pers.(3) :	$M_y =$	$H_n \times ($	0.751	$0.006 \times H_n)$	
	$M_y =$	0.006	$\times H_n^2$	$0.751 \times H_n$	
Dari pers.(4) :	$M_y =$	0.003	$\times H_n^2$	$-24.625 \times H_n$	46880.059
					$-$
Pers.kuadrat:	$0 =$	0.003	$\times H_n^2$	$25.376 \times H_n$	46880.059

Dari pers. Kuadrat diperoleh tahanan lateral nominal $H_n = 1543.731 \text{ kN}$

$$F = 19.968 \text{ m}$$

$$M_{\max} = H_n \times (e + 1.5 \times D + 0.5 \times f) = 16572.208 \text{ kNm}$$

$$M_{\max} > M_y \rightarrow \text{Termasuk tiang panjang (AMAN)}$$

$$\text{Dari pers (3) } M_y = H_n \times (0.751 + 0.00647 \times H_n) \quad 244.46 = 0.00647 \times H_n^2 + 0.75100 \times H_n$$

$$\text{Pers Kuadrat } 0 = 0.00647 \times H_n^2 + 0.75100 \times H_n - 244.46$$

Dari pers. Kuadrat diperoleh tahanan lateral nominal $H_n = 144.841 \text{ kN}$

Faktor reduksi kekuatan menggunakan $\Phi = 0.60$

$$\text{Tahanan lateral tiang pancang } \Phi \times H_n = 86.90 \text{ kN}$$

• Rekap tahanan lateral tiang

Rekap uraian tahanan aksial tiang pancang diperoleh berdasarkan deflaksi tiang maksimum (broms) yaitu 1378,42 kN dan berdasarkan momen maksimum (Brinch Hansen) diperoleh 86,90 kN. Pada perhitungan ini dipakai 86.90 kN karena merupakan tahanan lateral terkecil.

- Data Bahan Pilecap

Kuat tekan beton,

$$f'_c = 25.00 \text{ Mpa}$$

Kuat leleh baja tulangan *deform* ($\bar{E} > 12 \text{ mm}$),

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

Kuat leleh baja tulangan polos ($\bar{E} \leq 12 \text{ mm}$),

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

Berat beton bertulang,

$$w_c = 24 \text{ kN/m}$$

- Data Dimensi Pondasi

Lebar kolom arah x,

$$b_x = 0.60 \text{ m}$$

Lebar kolom arah y,

$$b_y = 0.60 \text{ m}$$

Jarak tiang pancang tepi terhadap sisi luar

beton,

$$a = 0.60 \text{ m}$$

Tebal pilecap,

$$h = 1.00 \text{ m}$$

Tebal tanah di atas pilecap,

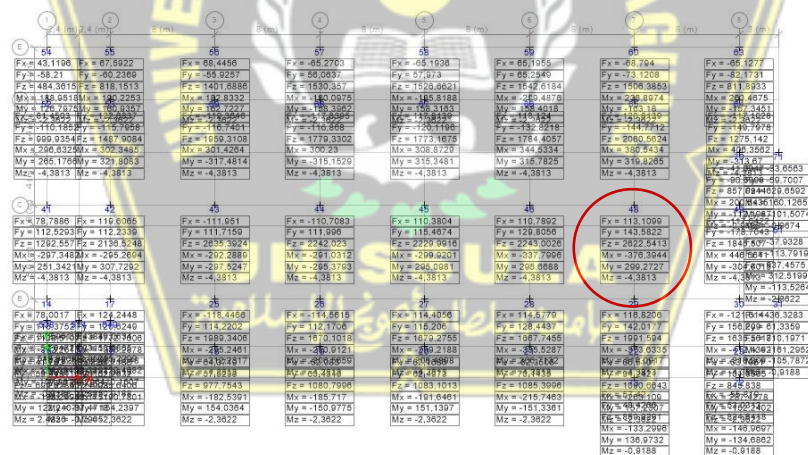
$$z = 0.80 \text{ m}$$

Berat volume tanah di atas pilecap,

$$w_s = 18.00 \text{ kN/m}$$

Posisi kolom (dalam = 40, tepi = 30, sudut = 20)

$$a_s = 40$$



Gambar 4.41 Output Joint Reactions

- Data Beban Pondasi

Gaya aksial kolom akibat beban terfaktor,

$$P_{uk} = 2622.54 \text{ kN}$$

Momen arah x akibat beban terfaktor.

$$M_{ux} = 376.39 \text{ kNm}$$

Momen arah y akibat beban terfaktor.

$$M_{uy} = 299.27 \text{ kNm}$$

Gaya lateral arah x akibat beban terfaktor,

$$H_{ux} = 113.11 \text{ kN}$$

Gaya lateral arah y akibat beban terfaktor,

$$H_{uy} = 143.58 \text{ kN}$$

Tahanan aksial tiang pancang,
Tahanan lateral tiang pancang,

$$f \times P_n = 2210.00 \text{ kN}$$

$$f \times H_n = 86.90 \text{ N}$$

• Data Susunan Tiang Pancang

Susunan tiang pancang arah x :

No.	Jumlah	x	$n \times x^2$
	n	(m)	(m ²)
1	1	0.75	0.56
2	1	0.00	0.00
3	1	-0.75	0.56
n =	3	$S x^2 =$	1.13

Susunan tiang pancang arah y :

No.	Jumlah	y	$n \times y^2$
	n	(m)	(m ²)
1	1	0.87	0.76
2	2	-0.43	0.37
n =	3	$S y^2 =$	1.13

Lebar pilecap arah x,

$$L_x = 2.70$$

Lebar pilecap arah y,

$$L_y = 2.50$$

• Gaya Aksial Pada Tiang Pancang

Berat tanah di atas pilecap,

$$W_s = L_x \times L_y \times z \times w_s = 97.20$$

Berat pilecap,

$$W_c = L_x \times L_y \times h \times w_c = 162.00$$

Total gaya aksial terfaktor,

$$P_u = P_{uk} + 1.2 \times W_s + 1.2 \times W_c = 2933.58$$

Lengan maksimum tiang pancang arah x thd. pusat,

$$x_{max} = 0.75$$

Lengan maksimum tiang pancang arah y thd. pusat,

$$y_{max} = 0.87$$

Lengan minimum tiang pancang arah x thd. pusat,

$$x_{min} = -0.75$$

Lengan minimum tiang pancang arah y thd. pusat,

$$y_{min} = -0.43$$

Gaya aksial maksimum dan minimum

$$p_{umax} = P_u / n + M_{ux} \times x_{max} / n x S x^2$$

pada tiang pancang,

$$+ M_{uy} \times y_{max} / n y S y^2 = 1141.25$$

$$p_{umin} = P_u / n + M_{ux} \times x_{min} / S x^2 +$$

$$M_{uy} \times y_{min} / S y^2 = 863.47$$

Syarat yang dipenuhi:

$$\begin{array}{ccc} p_{umax} & \leq & f \times P_n \\ 1141.25 & < & 2210.00 \end{array} \rightarrow \text{AMAN}$$

• Gaya Lateral Pada Pondasi

Gaya Lateral x

$$h_{ux} = H_{ux} / n = \Phi \times H_n$$

Gaya Lateral y

$$h_{uy} = H_{uy} / n = 1378.42 \text{ kN}$$

Gaya Lateral kombinasi dua arah $h_{umax} = \sqrt{(h_{ux}^2 + h_{uy}^2)}$ 60.93 kN

Syarat yang dipenuhi:
$$h_{\text{umax}} \leq f \times H_n$$

$$60.93 < 86.90 \rightarrow \text{AMAN}$$

• Tinjauan Geser Arah X

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton, $d' = 0.070 \text{ m}$
Tebal efektif pilecap, $d = h - d' = 0.930 \text{ m}$
Jarak bid. kritis terhadap sisi luar, $c_x = (L_x - b_x - d) / 2 = 0.585 \text{ m}$
Berat beton, $W_1 = c_x \times L_y \times h \times w_c = 35.100 \text{ kN}$
Berat tanah, $W_2 = c_x \times L_y \times z \times w_s = 21.060 \text{ kN}$
 $V_{ux} = p_{\text{umax}} - W_1/n - W_2/n =$
Gaya geser arah x, $W_{2/n} = 3405.016 \text{ kN}$
Lebar bidang geser untuk tinjauan arah x, $b = L_y = 2500 \text{ mm}$
Tebal efektif pilecap, $d = 930 \text{ mm}$
Rasio sisi panjang thd. sisi pendek kolom, $\beta = b_x / b_y = 1.0000$
Kuat geser pilecap arah x, diambil nilai terkecil dari V:
 $V_c = [1 + 2 / \beta_c] \times \sqrt{f'_c} \times b \times d / 6 \times 10^{-3} = 5812.500 \text{ kN}$
 $V_c = [a_s \times d / b + 2] \times \sqrt{f'_c} \times b \times d / 12 \times 10^{-3} = 16352.500 \text{ kN}$
 $V_c = 1 / 3 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \times 10^{-3} = 3875.000 \text{ kN}$
Diambil, kuat geser pilecap, $V_c = 5812.500 \text{ kN}$
Faktor reduksi kekuatan geser, $\Phi = 0.85$
Kuat geser pilecap, $\Phi \times V_c = 4940.625 \text{ kN}$

Syarat yang dipenuhi: $\Phi \times V_c \geq V_{ux}$

$$4940.625 \geq 3405.016 \rightarrow \text{AMAN}$$

• Tinjauan Geser Y

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton, $d' = 0.100 \text{ m}$
Tebal efektif pilecap, $d = h - d' = 0.930 \text{ m}$
Jarak bid. kritis terhadap sisi luar, $c_x = (L_x - b_x - d) / 2 = 0.705 \text{ m}$
Berat beton, $W_1 = c_x \times L_y \times h \times w_c = 45.684 \text{ kN}$
Berat tanah, $W_2 = c_x \times L_y \times z \times w_s = 27.410 \text{ kN}$
Gaya geser arah y, $V_{uy} = p_{\text{umax}} - W_1/n - W_2/n = 116.880 \text{ kN}$
Lebar bidang geser untuk tinjauan arah y, $b = L_y = 2700 \text{ mm}$
Tebal efektif pilecap, $d = 930 \text{ mm}$
Rasio sisi panjang thd. sisi pendek kolom, $\beta_c = b_x / b_y = 1.0000$

$$V_c = [1 + 2/b_c] \times \sqrt{f_c'} \times b \times d / 6 \times 10^{-3} = 6277.500 \text{ kN}$$

Kuat geser pilecap arah y, diambil nilai terkecil dari V:

$$V_c = [a_s \times d / b + 2] \times \sqrt{f_c'} \times b \times d / 12 \times 10^{-3} = 16507.500 \text{ kN}$$

$$V_c = 1 / 3 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \times 10^{-3} = 4185.000 \text{ kN}$$

Diambil, kuat geser pilecap, $V_c = 6277.500 \text{ kN}$

Faktor reduksi kekuatan geser, $\Phi = 0.85$

Kuat geser pilecap, $\Phi \times V_c = 5335.875 \text{ kN}$

Syarat yang dipenuhi: $\Phi \times V_c \geq V_{ux}$

$$5335.875 \geq 1116.880 \text{ AMAN}$$

• Tinjauan Geser Dua Arah (PONS)

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton, $d' = 0.100 \text{ m}$

Tebal efektif pilecap, $d = h - d' = 0.900 \text{ m}$

Lebar bidang geser pons arah x, $B_x = b_x + d = 1.500 \text{ m}$

Lebar bidang geser pons arah y, $B_y = b_y + d = 1.500 \text{ m}$

Gaya geser pons akibat beban terfaktor pada kolom, $P_{uk} = 2622.541 \text{ kN}$

Luas bidang geser pons, $A_p = 2 \times (B_x + B_y) \times d = 5.400 \text{ m}^2$

Lebar bidang geser pons, $b_p = 2 \times (B_x + B_y) = 6.000 \text{ m}$

Rasio sisi panjang thd. sisi pendek kolom, $b_c = b_x / b_y = 1.0000$

Tegangan geser pons, diambil nilai terkecil dari f_p

$$f_p = [1 + 2/b_c] \times \sqrt{f_c'} / 6 = 2.500 \text{ Mpa}$$

$$f_p = [a_s \times d / b_p + 2] \times \sqrt{f_c'} / 12 = 3.333 \text{ Mpa}$$

$$f_p = 1 / 3 \times \sqrt{f_c'} = 1.667 \text{ Mpa}$$

Tegangan geser pons yang disyaratkan, $\Phi = 1.667 \text{ Mpa}$

Faktor reduksi kekuatan geser pons, $\Phi = 0.85$

Kuat geser pons, $\Phi \times V_{np} = f \times A_p \times f_p \times 10^3 = 7650.00 \text{ kN}$

Syarat yang dipenuhi: $\Phi \times V_{np} \geq P_{uk}$

$$7650.000 \geq 2622.541 \text{ AMAN}$$

• Pembesian Pilecap Tulangan Lentur Arah X

Jarak tepi kolom terhadap sisi luar pilecap,	$c_x = (L_x - b_x) / 2 =$	1.050 m
Jarak tiang thd. sisi kolom,	$e_x = c_x - a =$	0.225 m
Berat beton,	$W_1 = c_x \times L_y \times h \times w_c =$	63.000 kN
Berat tanah,	$W_2 = c_x \times L_y \times z \times w_s =$	37.800 kN
Momen yang terjadi pada pilecap,	$M_{ux} = p_{umax} \times e_x - W_1 \times c_x / n - W_2 \times c_x / n =$	221.500 kN/m
Lebar pilecap yang ditinjau,	$b = L_y =$	2700 mm
Tebal pilecap,	$h =$	1000 mm
Jarak pusat tulangan thd. sisi luar beton,	$d' =$	70 mm
Tebal efektif plat,	$d = h - d' =$	930 mm
Kuat tekan beton,	$f'_c =$	25 Mpa
Kuat leleh baja tulangan,	$f_y =$	400 Mpa
Modulus elastis baja,	$E_s =$	2.00E+05 Mpa
Faktor distribusi teg. beton	$b_1 =$	0.85
	$r_b = b_1 \times 0.85 \times f'_c / f_y \times 600 / (600 + f_y) =$	0.02709375
Faktor reduksi kekuatan lentur,	$\Phi =$	0.80
	$R_{max} = 0.75 \times r_b \times f_y \times [1 - \frac{1}{2} \times 0.75 \times r_b \times f_y / (0.85 \times f'_c)] =$	6.574
	$M_n = M_{ux} / \Phi =$	276.875 Kn/m
	$R_n = M_n \times 10^6 / (b \times d^2) =$	0.11856
	$R_n \leq R_{max} \quad (AMAN)$	
Rasio tulangan yang diperlukan,	$r = 0.85 \times f'_c / f_y \times [1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0.85 \times f'_c}}] =$	0.000297
Rasio tulangan minimum,	$r_{min} =$	0.0013
Rasio tulangan yang digunakan,	$r =$	0.0013
Luas tulangan yang diperlukan,	$A_s = r \times b \times d =$	3138.75 mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	$D =$	25 mm
Jarak tulangan yang diperlukan,	$s = p / 4 \times D^2 \times b / A_s =$	422 mm
Jarak tulangan maksimum,	$s_{max} =$	200 mm
Jarak tulangan yang digunakan,	$s =$	300 mm
Digunakan tulangan,	$D =$	25 mm
Luas tulangan terpakai,	$A_s = p / 4 \times D^2 \times b / s =$	6627

• Pembesian Pilecap Tulangan Lentur Arah Y

Jarak tepi kolom terhadap sisi luar pilecap,	$c_y = (L_x - b_y) / 2 =$	0.950 m
Jarak tiang thd. sisi kolom,	$e_y = c_y - a =$	0.350 m
Berat beton,	$W_1 = c_x \times L_x \times h \times w_c =$	61.560 kN
Berat tanah,	$W_2 = c_x \times L_x \times z \times w_s =$	36.936 kN
Momen yang terjadi pada pilecap,	$M_{ux} = p_{umax} \times e_y - W_1 \times c_y / n - W_2 \times c_y / n =$	368.245 kN/m
Lebar pilecap yang ditinjau,	$b = L_x =$	2700 mm
Tebal pilecap,	$h =$	1000 mm
Jarak pusat tulangan thd. sisi luar beton,	$d' =$	100 mm
Tebal efektif plat,	$d = h - d' =$	900 mm
Kuat tekan beton,	$f'_c =$	25 Mpa
Kuat leleh baja tulangan,	$f_y =$	400 Mpa
Modulus elastis baja,	$E_s =$	2.00E+05 Mpa
Faktor distribusi teg. beton,	$\beta_1 =$	0.85
Faktor reduksi kekuatan lentur,	$\rho_b = \beta_1 \times 0.85 \times f'_c / f_y \times 600 / (600 + f_y) =$ $\Phi =$	0.02709375 0.90
	$R_{max} = 0.75 \times \rho_b \times f_y \times [1 - 1/2 \times 0.75 \times \rho_b \times f_y / (0.85 \times f'_c)] =$ $M_n = M_{ux} / \Phi =$	6.574 409.162 Kn/m
	$R_n = M_n \times 10^6 / (b \times d^2) =$	0.18709
	$R_n \leq R_{max} \quad (\text{AMAN})$	
Rasio tulangan yang diperlukan,	$\rho = 0.85 \times f'_c / f_y \times [1 - \sqrt{1 - 2 \times M_n / (0.85 \times f'_c \times b \times d^2)}]$	0.005
Rasio tulangan minimum,	$\rho_{min} =$	0.0018
Rasio tulangan yang digunakan,	$\rho =$	0.0018
Luas tulangan yang diperlukan,	$A_s = \rho \times b \times d =$	4374.000 mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	$D =$	25 mm
Jarak tulangan yang diperlukan,	$s = p / 4 \times D^2 \times b / A_s =$	303 mm
Jarak tulangan maksimum,	$s_{max} =$	300 mm
Jarak tulangan yang digunakan,	$s =$	300 mm
Digunakan tulangan,	$D 25$	300
Luas Tulangan terpakai	$A_s = p / 4 \times D^2 \times b / s =$	4417.86 m ²

• Desain Tulangan Susut

Rasio tulangan susut minimum,	$\rho_{smin} =$	0.0014
Luas tulangan susut arah x,	$A_{sx} = \rho_{smin} \times b \times d =$	3515 mm ²
Luas tulangan susut arah y,	$A_{sy} = \rho_{smin} \times b \times d =$	3402 mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	$\emptyset$	25 mm
Jarak tulangan susut arah x,	$s_x = p / 4 \times \emptyset^2 \times b / A_{sx} =$	377 mm
Jarak tulangan susut maksimum arah x,	$s_{x,max} =$	200 mm
Jarak tulangan susut arah x yang digunakan,	$s_x =$	200 mm
Jarak tulangan susut arah y,	$s_y = p / 4 \times \emptyset^2 \times b / A_{sy} =$	390 mm
Jarak tulangan susut maksimum arah y,	$s_{y,max} =$	200 mm
Jarak tulangan susut arah y yang digunakan,	$s_y =$	200 mm
Digunakan tulangan susut arah x,	$\emptyset$ 25 -	250 mm
Digunakan tulangan susut arah y,	$\emptyset$ 25 -	250 mm



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 berdasarkan standar Tabel SIMAK PUPR, struktur mengalami kerusakan ringan dan sedang, namun tidak ada perubahan ataupun deformasi elemen struktur yang signifikan atau membahayakan struktur, terutama bangunan utama.
2. Pada kemampuan layan struktur terdapat ketidakberaturan torsi 1b dan ketidakberaturan massa. Tetapi secara keseluruhan, masih aman.
3. Analisa cek penampang struktur berdasarkan acuan yang tertera pada SNI 1726 2019 dan SNI 2847 2019 menghasilkan beberapa komponen struktural baja dan beton dari keseluruhan gedung yang tidak aman jika terjadi gempa.
4. Analisa perhitungan daya dukung pondasi menggunakan hasil pengujian laboratorium, data-data yang di peroleh adalah N-SPT, metode yang digunakan menggunakan metode meyerhof.
5. Tidak terjadinya penurunan bangunan secara signifikan, karena Gedung Bea Cukai Tanjung Emas ini berdiri di atas pondasi pancang yang di tanam sedalam 50 meter dan telah menyentuh tanah keras.
6. Secara garis besar struktur Gedung Bea Cukai Tanjung Emas memiliki hasil analisa yang terhitung aman walaupun diperlukan beberapa perkuatan yang tidak banyak 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 sedang, walaupun tidak mengalami deformasi elemen struktur, alangkah

lebih baik jika tetap dilakukan perbaikan agar tidak menjadi kerusakan total struktur pada Gedung Bea Cukai Tanjung Emas di kemudian hari pada saat terjadinya gempa bumi. Maka dari itu, disarankan menambahkan perkuatan pada masing-masing elemen struktur yang memadahi.

2. Perlu dibuat kembali atau dilengkapinya gambar gambar perencanaan, agar memudahkan jika dilakukannya renovasi maupun perbaikan bangunan.



DAFTAR PUSTAKA

- (Pinayungan, 2019). (2019). BAB II Tinjauan Pustaka BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1. 1–64. *Gastronomía ecuatoriana y turismo local.*, 1(69), 5–24.
- Antonius. (2020). LAPORAN HASIL KAJIAN STRUKTUR LIPPO CIKARANG ORANGE COUNTY TOWER C D & E F CIKARANG - KABUPATEN BEKASI CV . CAHYA KARYA UTAMA. *Laporan Hasil Kajian Struktur Lippo Cikarang Orange County Tower C D & E F Cikarang, Kab. Bekasi, Structural Engineering*, 48.
- Antonius. (2021). Perilaku Dasar Dan Desain Beton Bertulang Berdasarkan SNI-2847-2019. In *Unissula Press*. UNISSULA PRESS.
- Arifin, Z. (2015). Analisis Struktur Gedung POP Hotel Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Pushover Analysis. *Jrsdd*, 3(3), 427–440.
- Enggartiasto, L. (2021). *Studi Kelayakan Struktur Bangunan Lama Berdasarkan Standar Bangunan Gedung Terbaru yang Berlaku Di Indonesia* (Nomor 1). UNISSULA.
- Enggartiasto, L. (2022). *Asesmen kekuatan dan tingkat kelayakan struktur gedung lama menggunakan standar terbaru*. 1–15.
- Liono, S. (2019). Pendetailan Tulangan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Sesuai dengan SNI 03-2847-2002. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 15–41. <https://doi.org/10.28932/jts.v7i1.1338>
- Nasional, B. S. (1997). *SNI 03 4430:1997 Tentang Peraturan Pengujian Hammer Test*.
- Nasional, B. S. (2019a). *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung* (Nomor 8).
- Nasional, B. S. (2019b). *SNI 2847 : 2019 PERSYARATAN BETON STRUKTURAL UNTUK BANGUNAN GEDUNG* (Nomor 8).
- Pranoto, Y. (2019). Evaluasi Struktur Gedung KPKNL bontang dan Metode

Perbaikannya. *Jurnal Teknologi Sipil*, 3(2), 57–65. <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TS/article/view/3727>

Pratama, A., Oni, J., Amandani, B., Sipil, D. T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2018). *Perencanaan struktur gedung kuliah fakultas ekonomi unnes semarang*. 7, 176–188.

