

TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN STRUKTUR PADA BANGUNAN MESIN DI
SMELTER MANYAR GRESIK BERDASARKAN
SNI-2847:2019**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Pendidikan Program Sarjana (S1)
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun oleh:

**Avtrian Dimas Bagas Pengestu
NIM: 30201800030**

**David Cahyo Ferianto
NIM: 30201800038**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2023**

ABSTRAK

Kerusakan dan kegagalan struktur sering terjadi salah satunya akibat dari kesalahan dalam memilih sistem struktur yang tidak dapat memberikan kinerja yang baik ketika terjadi pembebanan berulang, seperti beban gempa. Tujuan penelitian yang disusun yaitu: Menganalisa struktur bangunan sesuai SNI 2847:2019 dan merencanakan struktur atas yang meliputi pendimensian serta penulangan balok, kolom, menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Metode yang digunakan adalah *Design Direct Method* (DDM). Materi penelitian diperoleh dari lokasi rencana pembangunan yang dapat langsung dipergunakan sebagai sumber dalam perancangan struktur, meliputi: Pengambilan dokumentasi dan *Shop Drawing*. Hasil analisis struktur bangunan Join balok-kolom SRPMK pada tulangan transversal Dipasang 3 kaki D13 ($A_{sh} = 398,12 \text{ mm}^2$) dengan jarak 150 mm. Hasil perencanaan struktur atas menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada balok syarat bentang bersih minimum elemen lentur terpenuhi ($14070 > 6478$) karena jika bentang terlalu pendek maka potensi terjadinya sendi plastis akan semakin mudah. Hasil perencanaan kolom Luas tulangan atas adalah ($A_s = 3.430 \text{ mm}^2$), sehingga gaya yang bekerja pada tulangan atas pada sebelah kiri HBK adalah ($T_1 = 1.715 \text{ kN}$) sisi kanan HBK ($T_2 = 980 \text{ kN}$).

Kata Kunci: Perencanaan struktur, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), SNI 2847:2019, SNI-1726-2019.

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN STRUKTUR PADA BANGUNAN MESIN DI SMELTER
MANYAR GRESIK BERDASARKAN SNI-1726:2019



Avtrian Dimas Bagas Paugestu
NIM : 30201800030



David Cahyo Ferianto
NIM : 30201800038

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Januari 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Prof. Dr. Ir. Antonius, MT**
NIDN: 0605046703
2. **Lisa Fitriyana, ST., M.Eng**
NIDN: 0631128901
3. **Selvia Agustina, ST., M.Eng**
NIDN: 0609099001

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: 14 / A.2 / SA - T / 1 / 2023

Pada hari ini tanggal 30-01-2023 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 : Wakil Dekan II
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Avtrian Dimas Bagus Pangestu
NIM : 30201800030

David Cahyo Ferianto
NIM: 30201800038

Judul : Perencanaan Struktur Pada Bangunan Mesin Di Smelter Manyar Gresik
Berdasarkan SNI-1726:2019

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	9 Februari 2022	
2	Seminar Proposal	28 Juli 2022	ACC
3	Pengumpulan data	29 Juli 2022	
4	Analisis data	1 November 2022	
5	Penyusunan laporan	8 November 2022	
6	Selesai laporan	28 Februari 2023	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama



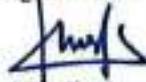
Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

Dosen Pembimbing Pendamping



Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :
NAMA : Avtrian Dimas Bagas Pangestu
NIM : 30201800030
NAMA : David Cahyo Ferianto
NIM : 30201800038

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :
Perencanaan struktur pada bangunan mesin di smelter manyar gresik berdasarkan
SNI-1726:2019 benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak
benar maka kami bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini kami buat untuk dipergunakan sebagaimana
mestinya.



PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Avtrian Dimas Bagas Pangestu

NIM : 30201800030

NAMA : David Cahyo Ferianto

NIM : 30201800038

JUDUL TUGAS AKHIR : Perencanaan Struktur Pada Bangunan Mesin Di Smelter Manyar Gresik Berdasarkan SNI-1726:2019

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

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

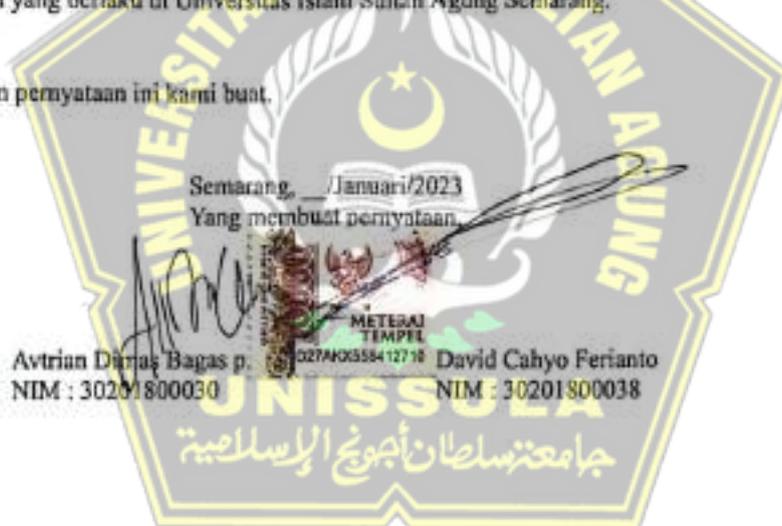
Demikian pernyataan ini kami buat.

Semarang, Januari/2023

Yang membuat pernyataan,

Avtrian Dimas Bagas p.
NIM : 30201800030

David Cahyo Ferianto
NIM : 30201800038



MOTTO

"Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia (selama) kamu menyuruh (berbuat) yang makruf, mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Seandainya Ahlulkitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik" -Q.S.Āli 'Imrān :110

"Allah tidak membebani seorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya" -Q.S. Al Baqarah : 286

"Menuntut ilmu adalah takwa. Menyampaikan ilmu adalah ibadah. Mengulang-ulang ilmu adalah dzikir. Mencari ilmu adalah jihad" -Abu Hamid Al Ghazali

"Angin tidak berhembus untuk menggoyangkan pepohonan, melainkan menguji kekuatan akarnya" -Ali bin Abi Thalib

"Menyia-nyiakan waktu lebih buruk dari kematian. Karena kematian memisahkanmu dari dunia, sementara menyia-nyiakan waktu memisahkanmu dari Allah." - Imam bin Al Qayim

"Jangan menjelaskan dirimu kepada siapa pun, karena yang menyukaimu tidak butuh itu. Dan yang membencimu tidak percaya itu." - Ali bin Abi Thalib

"Beri ribuan kesempatan bagi musuhmu untuk menjadi teman, tapi jangan beri satu kesempatan bagi temanmu untuk menjadi musuhmu." - Ali bin Abi Thalib

"Kurang cerdas dapat diperbaiki dengan belajar, kurang cakap dapat dihilangkan dengan pengalaman.. namun tidak jujur itu sulit untuk diperbaiki"-Mohammad Hatta

UNISSULA
جامعة سلطان أبجويج الإسلامية

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya yang selalu berkorban agar anaknya dapat menempuh Pendidikan serta yang memberikan segenap kasih sayang, semangat, dukungan dan do'a untuk keberkahan saya dalam mencari ilmu yang bermanfaat.
2. Adik saya tercinta yang telah memberikan dukungan dan do'a sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
3. Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Bapak Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng yang telah membimbing segenap tenaga dan sepenuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang penuh manfaat dan sangat berguna selama saya menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA.
5. Saudara David Cahyo Ferisuto rekan Tugas Akhir, teman seperjuangan dalam hal apapun.
6. Saudara Bahrul Budiyanto yang telah sabar dalam membantu Tugas Akhir ini
7. Teman-teman Teknik Sipil UNISSULA Angkatan 2018 yang turut memberikan semangat kepada saya.
8. Seluruh Karyawan Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah membantu mencari dan menyiapkan ruangan untuk melaksanakan seminar.

Avtrian Dimas Bagas p.

NIM : 30201800030

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya. Bapak Subioto dan Ibu haryanti yang selalu berkorban agar anaknya dapat menempuh Pendidikan serta yang memberikan segenap kasih sayang, semangat, dukungan dan do'a untuk keberkahan saya dalam mencari ilmu yang bermanfaat.
2. Saudara saya tercinta yang telah memberikan dukungan dan do'a sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng yang telah membimbing segenap tenaga dan sepenuh hati untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang penuh manfaat dan sangat berguna selama saya menuntut ilmu di Fakultas Teknik UNISSULA.
5. Saudara Avtrian Dimas Bagas p rekan Tugas Akhir, teman seperjuangan dalam hal apapun.
6. Teman-teman Teknik Sipil UNISSULA Angkatan 2018 yang turut memberikan semangat
7. Seluruh Karyawan Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah membantu mencari dan menyiapkan ruangan untuk melaksanakan seminar.

David Cahyo Ferianto

NIM : 30201800038

DAFTAR ISI

HALAMAN DEPAN	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
ABSTRAK	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Maksud dan Tujuan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Data Teknis	5
2.3. Prosedur Analisis Seismik	5
2.4. Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	6
2.5. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	8
2.6. Koefisien Sitas	8
2.7. Investigasi Geoteknik Desain Seismik	9
2.8. Formulasi Pembebanan Struktur	10
2.9. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	10
2.10. Kolom Struktur Bangunan	11
2.11. Pembebanan Komponen Struktur	13
2.12. Penyaluran Tulangan	14

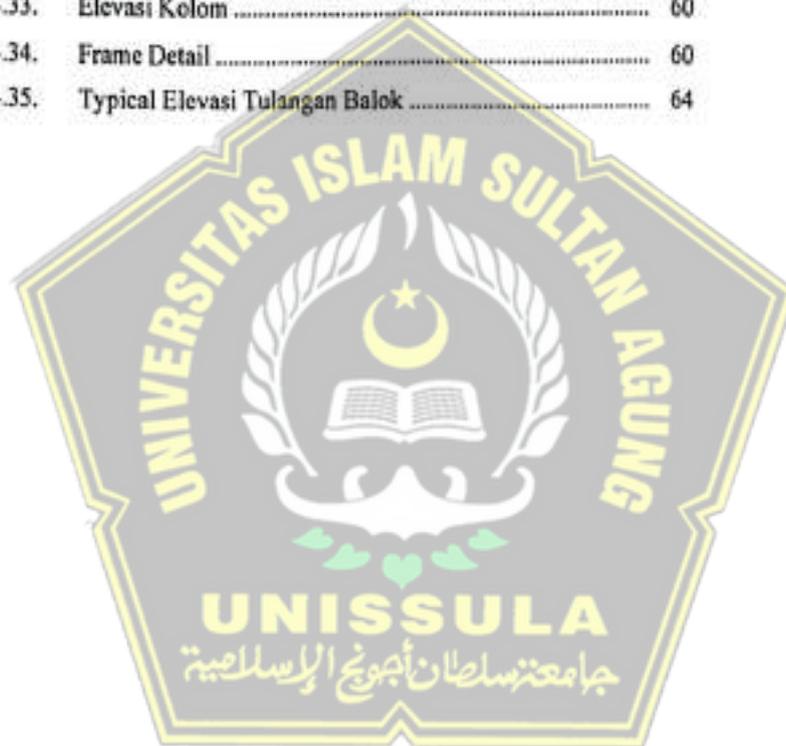
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1.	Pengertian Umum	15
3.2.	Tipe Penelitian	15
3.3.	Teknik Pengumpulan Data	15
3.4.	Tahap Persiapan	15
3.5.	Metode Analisis Data	16
3.6.	Metode Pengolahan Data	17
3.7.	Pemecahan Masalah	18
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	20
4.1.	Deskripsi Bangunan	20
4.2.	Pra-Dimensi dan Pemodelan Struktur	21
4.2.1.	Pemodelan Struktur	22
4.2.2.	Mutu dan Bahan	22
4.3.	Modelling Etabs V.18	23
4.3.1.	Inisiasi Model Struktur Bangunan	23
4.3.2.	Input <i>Material Properties</i>	23
4.3.3.	Input <i>Frame Section</i> (Elemen Struktur)	24
4.3.4.	Input Beban Gempa Respons Spektrum	31
4.4.	Formulasi Pembebanan Struktur	34
4.5.	Analisis Desain Seismik	34
4.5.1.	Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa	34
4.5.2.	Klasifikasi Situs	35
4.5.3.	Parameter Respons Spektral Gempa Desain (Nilai S_{ds} dan S_{d1})	35
4.5.4.	Spektrum Respons Desain	36
4.5.5.	Kategori Desain Seismik dan Sistem Gaya Gempa	36
4.5.6.	Perhitungan Pusat Massa Tiap Lantai	37
4.5.7.	Kontrol Hasil Analisa Dinamik Gempa	38
4.6.	Analisis Ketidakberaturan	43
4.7.	Perencanaan Balok	45
4.7.1.	Data Perencanaan Balok	45

4.7.2.	Perencanaan Lentur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	46
4.7.3.	Desain Penulangan Lentur	47
4.7.4.	Perencanaan Torsi pada Balok	49
4.7.5.	Menentukan tinggi minimum balok	50
4.7.6.	Desain tulangan lentur	50
4.7.7.	Memeriksa torsi	50
4.7.8.	Menentukan tulangan geser	50
4.8.	Joint Balok Kolom SRPMK	50
4.9.	Penulangan Kolom	52
4.9.1.	Data Perencanaan Kolom	52
4.9.2.	Menghitung Sisa Muka Kolom yang Tidak Terlingkup Balok	52
4.9.3.	Kuat Geser Kolom M_e	54
4.9.4.	Keseimbangan Gaya dalam Arah Horizontal ...	54
4.9.5.	Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom terhadap Beban Aksial Terfaktor	55
4.9.6.	Perilaku Struktur <i>Strong Column Weak Beam</i> ..	55
4.9.10.	Diagram Interaksi P-M Kolom	56
4.10.	<i>Drawing</i> Pemodelan Struktur	58
BAB V	PENUTUP	67
DAFTAR PUSTAKA	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2.	Jenis Kolom	12
Gambar 3.2.	Tahapan Analisis Data	16
Gambar 3.3.	Lokasi Penelitian	17
Gambar 3.4.	Bagan Alir Penelitian	19
Gambar 4.1.	<i>Plan View</i> Bangunan	20
Gambar 4.2.	Vektor Dimensi Kolom	21
Gambar 4.3.	Struktur Bangunan dalam Gambar 3D	22
Gambar 4.4.	<i>Model Initialization</i>	23
Gambar 4.5.	Input Material properties	23
Gambar 4.6.	Input Balok B1 1975 × 1800	24
Gambar 4.7.	Input Balok B3 1500 × 1300	25
Gambar 4.8.	Input Balok B3 3520 × 1800	25
Gambar 4.9.	Input Balok B3 1800 × 700	26
Gambar 4.10.	Input Balok B3 1800 × 1100	26
Gambar 4.11.	Input Balok B3 2900 × 1800	27
Gambar 4.12.	<i>Input Stiffness Modification factors</i>	27
Gambar 4.13.	Input Kolom Induk K1 2600 × 2000	28
Gambar 4.14.	Input Kolom K2 2000 × 1400	28
Gambar 4.15.	Input Kolom K3 1400 × 1200	29
Gambar 4.16.	Input Kolom K3 2600 × 1200	29
Gambar 4.17.	Input Kolom K3 2000 × 2000	30
Gambar 4.18.	Input Kolom K3 2000 × 1200	30
Gambar 4.19.	<i>Input Stiffness Modification factors</i>	31
Gambar 4.20.	Penambahan Fungsi Respons Spektrum	32
Gambar 4.21.	Penambahan <i>Load Case Data</i> Respons Spektrum	33
Gambar 4.22.	Penambahan <i>Load Case Data</i> Respons Spektrum	33
Gambar 4.23.	Grafik Nilai Spektrum Respons Percepatan Desain Website Resmi Kementerian Pekerjaan Umum	36
Gambar 4.24.	Perhitungan beban mati (DL) Balok	37

Gambar 4.25.	Perhitungan beban mati (DL) Kolom	38
Gambar 4.26.	<i>Deform Shape</i>	40
Gambar 4.27.	Ketidakteraturan Ia dan Ib	44
Gambar 4.28.	Desain balok – kolom bangunan	53
Gambar 4.29.	Diagram Interaksi P-M Kolom	56
Gambar 4.30.	Tata Letak Balok Beton	58
Gambar 4.31.	Tata Letak Kolom Beton	59
Gambar 4.32.	Elevasi Balok	59
Gambar 4.33.	Elevasi Kolom	60
Gambar 4.34.	Frame Detail	60
Gambar 4.35.	Typical Elevasi Tulangan Balok	64



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Standar Peraturan yang Digunakan	5
Tabel 2.2.	Target Keandalan untuk Stabilitas Struktur Akibat Beban Gempa	6
Tabel 2.3.	Target Keandalan untuk Komponen Struktur Biasa Non Kritis Akibat Beban Gempa	6
Tabel 2.4.	Klasifikasi Situs	7
Tabel 2.5.	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	7
Tabel 2.6.	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik	8
Tabel 2.7.	Koefisien Situs, F_a	8
Tabel 2.8.	Koefisien Situs, F_v	9
Tabel 2.9.	Koefisien Situs F_{PGA}	9
Tabel 4.1.	Data Parameter Respon Spektral Terpetakan	35
Tabel 4.2.	Data Parameter Respons Spektral Desain	35
Tabel 4.3.	Adopsi Faktor Modifikasi Modulus Getar	39
Tabel 4.4.	<i>Modal Participating Mass Ratio</i>	39
Tabel 4.5.	Nilai Hasil Partisipasi Massa Bangunan	41
Tabel 4.6.	Perbandingan Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik	43
Tabel 4.7.	Perbandingan Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik	43
Tabel 4.8.	Ketidakteraturan Torsi	44
Tabel 4.9.	<i>Story Max Over Average Drift</i> arah Horizontal	44
Tabel 4.10.	<i>Story Max Over Average Drift</i> arah Vertikal	45
Tabel 4.11.	Perencanaan Balok	45
Tabel 4.12.	Perencanaan Kolom	52
Tabel 4.13.	Gaya Aksial Lentur	55
Tabel 4.14.	Ukuran Tulangan Beton	61
Tabel 4.15.	Pemilihan Tulangan untuk Balok	62
Tabel 4.16.	Pemilihan Tulangan untuk Kolom	65

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 **"PERENCANAAN STRUKTUR PADA BANGUNAN MESIN DI SMELTER MANYAR GRESIK BERDASARKAN SNI-1726:2019"** 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 Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan dorongan dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari keterbatasan ilmu pengetahuan, kemampuan, pemahaman, dan kurangnya pengalaman yang dimiliki, dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, Januari, 2023

Penulis



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tingkat pembangunan di semua negara baik negara maju maupun berkembang sangatlah tinggi. Pembangunan tersebut tidak lepas dari proyek-proyek konstruksi seperti *smelter*. Kebanyakan dari bangunan *smelter* adalah bangunan dengan struktur utama beton bertulang. Struktur beton bertulang memerlukan beberapa material seperti semen, pasir, besi beton dengan panjang yang beragam, dan material-material lainnya. Material besi tulangan beton (rebar) merupakan salah komponen struktur yang memiliki persentase terhadap biaya paling tinggi sekitar 20 – 30 % dari biaya proyek (Formoso, Asce, Cesare, & Isatto, 2003). Baja tulangan beton merupakan salah satu bahan yang umum digunakan dalam suatu komponen struktur bangunan dalam pementasan. Perkembangan penggunaan baja sebagai tulangan beton beserta teknologinya sangat pesat bersama tingkat kebutuhannya. Hal ini merupakan tantangan bagi orang-orang teknik sipil khususnya untuk dapat merencanakan tulangan beton dengan kekuatandan mutu yang lebih baik dengan tidak melupakan aspek-aspek ekonomis.

Gaya-gaya dalam dari struktur yang dibebani sampai beban batas (*ultimate load*). Sedangkan pendekatan metode kinematik umumnya digunakan pada rancangan yang sudah ada (*existing design*) karena keseimbangan dari model yang dipakai hanya berlaku sesuai dengan keadaan tertentu. Sampai saat ini model yang dianggap konsisten dan rasional dalam perencanaan struktur beton adalah pendekatan melalui “*strut and tie model*” (STM). STM merupakan suatu metode perancangan yang mendasarkan pada asumsi bahwa aliran gaya-gaya dalam struktur beton dan terutama pada daerah yang mengalami distorsi dapat didekati sebagai suatu sistem rangka batang yang terdiri dari strut (batang tekan atau penunjang) dan *tie* (batang tarik atau pengikat). Sehingga *strut and tie* merupakan *resultante* dari medan tegangan (*stress field*). Pada *strut* yang bekerja adalah beton sedangkan pada *tie* yang bekerja adalah tulangan yang terpasang.

Pile cap mempunyai fungsi untuk menyebarkan beban ke tiang kelompok (*pile group*). *Pile cap* harus direncanakan dengan baik dan efisien agar tidak mengalami kegagalan seperti patah maupun pergeseran (satu arah maupun dua arah) desain *pile cap* juga harus sesuai dengan kebutuhan agar tidak boros. Oleh sebab itu dibutuhkan perhitungan yang teliti untuk perencanaan dimensi *pile cap*, tebal *pile cap* serta penulangan *pile cap*. Beton bertulang merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan atau material yaitu beton polos dan tulangan baja. Beton polos merupakan bahan yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi memiliki kekuatan tarik yang rendah. Sedangkan tulangan baja akan memberi kekuatan tarik yang besar sehingga tulangan baja akan memberi kekuatan tarik yang diperlukan. Dengan adanya kelebihan masing-masing elemen tersebut, maka konfigurasi antara beton dan tulangan baja diharapkan dapat saling bekerjasama dalam menahan gaya-gaya yang berkerja dalam struktur tersebut, dimana gaya tekan ditahan oleh beton, dan tarik ditahan oleh tulangan baja. Sistem struktur gedung adalah susunan tata letak struktur agar gedung dapat memikul beban bangunan, seperti beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, dan beban lainnya.

Kerusakan dan kegagalan struktur sering terjadi salah satunya akibat dari kesalahan dalam memilih sistem struktur yang tidak dapat memberikan kinerja yang baik ketika terjadi pembebanan berulang, seperti beban gempa. Agar terhindari kegagalan dan kerusakan pada struktur, pemilihan sistem struktur yang tepat adalah hal yang sangat penting dalam merencanakan suatu konstruksi. Sistem rangka pemikul momen adalah sistem struktur yang memiliki rangka ruang pemikulbeban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Sistem rangka pemikul momen terdapat tiga jenis salahsatunya, yaitu sistem rangka pemikul momen khusus. SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) merupakan sistem rangka yang dapat digunakan untuk bangunan daerah zona gempa yang tinggi yaitu zona 5 hingga zona 6. Sistem ini menggunakan komponen struktur dengan joint-nya untuk menahan gaya yang berkerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial.

Angka faktor modifikasi sistem rangka pemikul momen khusus bernilai sebesar $R = 8$. Sistem ini merupakan jenis sistem rangka yang memiliki daktilitas penuh sehingga dalam perencanaannya menggunakan sistem penahan beban lateral

yang memenuhi peraturan detailing khusus serta daktilitas penuh. Konsep *strong column weak beam* dalam sitem rangka pemikul momen khusus mengandung arti bahwa konstruksi kolom yang ada harus lebih kaku dari pada balok sehingga kerusakan struktur ketika terjadi beban lateral atau gempa, terlebih dahulu terjadi pada balok, lalu kerusakan struktur terjadi pada kolom.

Dalam industri pertambangan mineral logam, *smelter* merupakan bagian dari proses sebuah produksi, mineral yang ditambang dari alam biasanya masih tercampur dengan kotoran yaitu material bawaan yang tidak diinginkan. Sementara ini, material bawaan tersebut harus dibersihkan, selain itu juga harus dimurnikan pada *smelter*. *Smelter* adalah sebuah fasilitas pengolahan hasil tambang yang berfungsi meningkatkan kandungan logam seperti timah, nikel, tembaga, emas, dan perak hingga mencapai tingkat yang memenuhi standar sebagai bahan baku produk akhir. Proses tersebut telah meliputi pembersihan mineral logam dari pengotor dan pemurnian.

Bangunan smelter manyar gresik merupakan bangunan mesin yang berfungsi untuk mengolah material mentah menjadi material siap pakai. Material yang diolah pada mesin smelter adalah material tembaga yang diolah untuk keperluan industri. Perencanaan pondasi apabila harus menopang beban berupa mesin, maka pondasi tersebut dipengaruhi oleh beban yang bergetar, beban ini disebabkan oleh gaya-gaya mesin yang tidak seimbang dan beban statis sistem (pondasi dan mesin). Pada mesin smelter pembakaran digunakan pondasi dinamis tipe pedestal, pondasi ini berupa struktur beton bertulang dengan ketinggian tertentu yang terdiri dari balok dan kolom yang ditumpu oleh pondasi *slab*. Bagian atas dari kolom dihubungkan dengan *top slab* sehingga membentuk lantai untuk meletakkan mesin. Metode pekerjaan untuk membangun pondasi tipe pedestal adalah metode cast in situ.

Pada proyek yang digunakan menggunakan standar ICS 91.080.40 sedangkan pada penelitian tugas akhir ini menggunakan acuan SNI 2847-2019 tentang persyaratan beton struktural dan SNI-1727:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan, disusun rumusan masalah:

1. Bagaimana hasil perencanaan elemen-elemen struktur yang mengacu pada SNI 03-2847-2019?
2. Bagaimana hasil perancangan struktur menggunakan kaidah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi:

1. Objek penelitian yang ditinjau adalah komponen struktur beton bertulang;
2. Metode yang digunakan adalah *Design Direct Method* (DDM) dengan desain plat datar dalam (interior) dan eksterior;
3. Sistem pelat terdiri dari 12 panel dalam kedua arahnya dengan ukuran panel 6.0×7.0 m

1.4. Maksud dan Tujuan

Tujuan penelitian yang disusun yaitu:

1. Menganalisa struktur bangunan sesuai SNI 2847:2019.
2. Merencanakan struktur atas yang meliputi pendimensian serta penulangan balok, kolom, menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Standar Nasional Indonesia (SNI) 2847 2019 berisi tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Syarat yang dimaksud mencakup syarat beban, analisis struktur, desain elemen struktur hingga evaluasi kekuatan.

Tabel 2.1. Standar Peraturan yang Digunakan

No.	Standar	Tentang
1.	SNI 2847:2019	persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung
2.	SNI 1726:2019	Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung
3.	SNI 1727:2020	beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan bangunan lain

(Sumber: Data sekunder penelitian, 2022)

2.2. Data Teknis

Spesifikasi material yang digunakan dalam perencanaan bangunan adalah sebagai berikut:

1. Mutu beton yang digunakan $f_c = 27.5$ Mpa
2. Mutu baja yang digunakan $f_y = 400$ Mpa
3. Modulus elastis dari beton $E = 24.600$ Mpa.

2.3. Prosedur Analisis Seismik

Komponen-komponen struktural dan nonstruktural dan sambungannya yang didesain dengan prosedur berbasis kinerja sesuai 0 atau dengan prosedur analisis yang didukung dengan pengujian untuk memberikan keandalan (*reliability*) yang konsisten dengan target keandalan yang disyaratkan. Sistem struktural yang terkena beban gempa harus berdasarkan target keandalan sesuai Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.2. Target Keandalan untuk Stabilitas Struktur Akibat Beban Gempa

Kategori Risiko	Peluang Kegagalan Bersyarat/ <i>Conditional Probability of Failure</i> Akibat MCE_R (%)
I & II	10
III	5
IV	2,5

(Sumber: SNI-1726-2019)

Prosedur analisis yang digunakan harus mempertimbangkan ketidakpastian dalam pembebanan dan tahanan. Metode pengujian sesuai 0 hanya diperbolehkan untuk proyek tertentu dan tidak boleh digunakan untuk pengembangan nilai-nilai tahanan material yang digunakan untuk penggunaan pada sistem struktur secara umum.

Tabel 2.3. Target Keandalan untuk Komponen Struktur Biasa Non Kritis Akibat Beban Gempa

Kategori Risiko	Peluang Kegagalan Bersyarat/ <i>Conditional Probability of Failure</i> Akibat MCE_R (%)
I & II	25
III	15
IV	9

(Sumber: SNI-1726-2019)

2.4. Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Bangunan berada pada kategori risiko II (Fasilitas Manufaktur) dengan nilai faktor keutamaan gempa $I_e = 1,0$. Klasifikasi situs dapat dilihat pada tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4. Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{V} (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_v	\bar{q} (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 - 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	175 - 350	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 - 350	15 - 50	50 - 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\bar{q} < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI \geq 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{q} \leq 50$ kPa		

Catatan: N/A = tidak dapat digunakan

(Sumber: SNI-1726-2019)

2.5. Kategori Desain Seismik

Tabel 2.5. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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

(Sumber: SNI-1726-2019)

Tabel 2.6. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

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

(Sumber: SNI-1726-2019)

2.6. Koefisien Situs

Tabel 2.7. Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE _R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Catatan:

(a) = SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

(Sumber: SNI-1726-2019)

Tabel 2.8. Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE _R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,25$	$S_I = 0,5$	$S_I = 0,75$	$S_I = 1,0$	$S_I = 1,25$	$S_I \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Catatan:

SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

(Sumber: SNI-1726-2019)

2.7. Investigasi Geoteknik Desain Seismik

Tabel 2.9. Koefisien Situs F_{PGA}

Kelas Situs	PGA $\leq 0,1$	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA = 0,5	PGA $\geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1
SE	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
SF	SS ^(a)					

Catatan:

S = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

(Sumber: SNI-1726-2019)

2.8. Formulasi Pembebanan Struktur

Terdapat beberapa klasifikasi kombinasi beban sesuai SNI 1727:2020 sesuai pasal 2.3.1 yaitu:

$$1,4 D$$

$$1,4D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$$

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

$$1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$$

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

$$1,2D + Ev + Eh + 1,0L + 0,2S$$

$$0,9D - Ev + Eh$$

$$1,0D + 0,7Ev + 0,7Eh$$

$$1,0D + 0,525Ev + 0,525Eh + 0,75L + 0,75S$$

$$0,6D + 0,7Ev + 0,7Eh$$

Keterangan:

D = beban mati

L = beban hidup

Lr = beban hidup di atap

S = beban salju

R = beban air hujan

W = beban angin

Ev = gaya gempa vertikal

Eh = gaya gempa horizontal

2.9. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Pengertian dari Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah suatu sistem rangka ruang dalam dimana komponen – komponen struktur dan join – joinnya dapat menahan gaya–gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dipakai untuk daerah dengan resiko gempa tinggi (wilayah gempa 5 dan 6). SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) adalah desain struktur beton bertulang dengan pendetailan yang menghasilkan struktur yang fleksibel (memiliki daktilitas yang tinggi). Dengan pendetailan mengikuti ketentuan SRPMK, maka faktor reduksi gaya gempa R dapat diambil sebesar 8, yang artinya bahwa gaya gempa rencana hanya 1/8 dari

gaya gempa untuk elastis desain (Pengambilan nilai $R > 1$ artinya mempertimbangkan post-elastic desain, yaitu struktur mengalami kelelahan tanpa kegagalan fungsi).

Desain struktur beton bertulang dengan SRPMK sudah dimulai sejak tahun 1960 (Blume et al, 1961) dan pertama kali diwajibkan penggunaannya untuk wilayah yang memiliki resiko gempa tinggi dalam Uniform Building Code (ICBO 1973). Saat ini, SPRMK wajib digunakan untuk wilayah dengan resiko gempa tinggi (ketagori desain sesimik D, E dan F dalam ASCE-7). SPRMK dapat digunakan juga dalam kategori desain seismik A, B dan C, namun perlu diperhatikan jika tidak ekonomis. Untuk desain yang ekonomis dengan SPRMK, bentang balok yang proporsional adalah 6 sampai 9 m. Untuk jarak antar lantai disarankan tidak lebih dari 6 m. Untuk jarak antar lantai yang tinggi, perlu diperhatikan kemungkinan *soft story*.

2.5.1. Kolom Struktur Bangunan

Sebuah bangunan gedung akan aman dari kerusakan, baik yang disebabkan oleh bencana alam maupun kegagalan struktur apabila jenis pondasi dan struktur penyusunnya telah sesuai dengan standar perhitungan. Salah satu elemen dalam struktur bangunan yang sangat penting adalah kolom. Keberadaan kolom atau yang kerap disebut pilar sangat penting mengingat pembuatan kolom difungsikan sebagai rangka yang akan memastikan bangunan tetap berdiri kokoh. Namun, sebelum membahas fungsi khusus kolom secara detail, kami akan menjelaskan definisi dan jenis-jenis kolom yang biasa digunakan dalam bangunan. Sesuai dengan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, adapun yang dimaksud kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kalidimensi lateral terkecil.

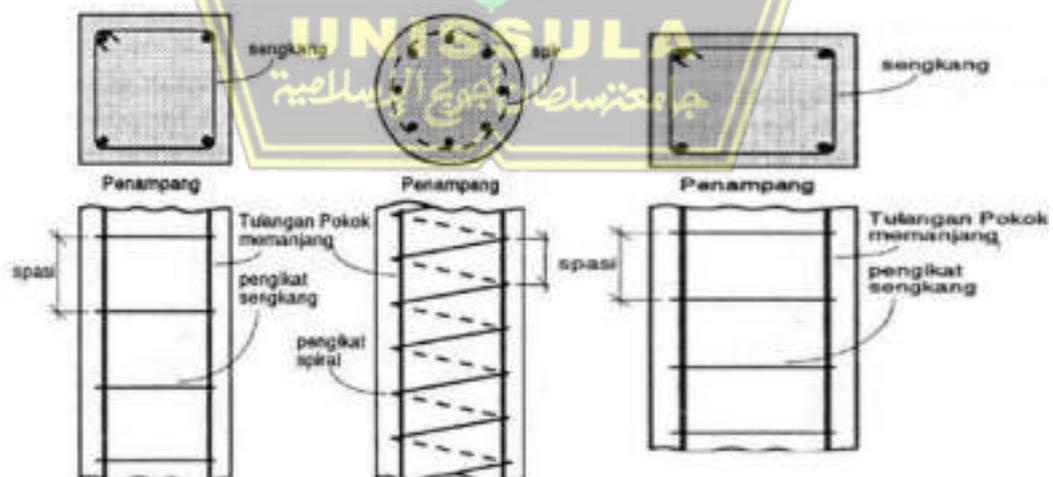
Dalam KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia), adapun yang dimaksud kolom adalah tiang (pilar) penyangga yang biasanya terbuat dari beton yang bertulang besi. Sementara menurut Sudarmoko (1996), kolom merupakan suatu struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya lantai dan runtuhnya bangunan secara total. Struktur dalam kolom

terbuat dari besi dan beton. Kedua bahan ini memiliki sifat gabungan yang cukup baik di mana besi merupakan material yang tahan terhadap tarikan, sedangkan beton merupakan material yang tahan tekanan.

Jika dilihat berdasarkan bentuk dan susunan tulangnya, adapun jenis kolom terbagi menjadi tiga kategori. Di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Kolom segi empat atau bujur sangkar dengan tulangan memanjang dan menyengkang;
2. Kolom bundar dengan tulangan memanjang dan menyengkang berbentuk spiral. Adapun fungsi dari tulangan spiral ini adalah memberi kemampuan kolom untuk menyerap deformasi cukup besar sebelum runtuh sehingga mampu mencegah terjadinya kehancuran seluruh struktur bangunan sebelum proses redistribusi momen dan tegangan terwujud;
2. Kolom komposit, yaitu gabungan antara beton dan profil baja sebagai pengganti tulangan di dalamnya;

Dalam beberapa kasus, kolom bersengkang merupakan jenis kolom yang kerap digunakan karena proses pengerjaannya yang relatif lebih mudah dan terjangkau dari segi biaya. Meskipun demikian, jenis kolom segi empat dan kolom bundar juga kerap digunakan terutama di daerah dengan tingkat potensi gempa yang berisiko tinggi. Gambar di bawah ini akan menjelaskan perbedaan jenis kolom segi empat atau bujur sangkar, kolom bundar, dan kolom komposit.



Gambar 2.2. Jenis Kolom
(Sumber: Dipohusodo, 1994)

Kolom utama biasanya terpasang dalam jarak 3,5 meter agar dimensi balok untuk menopang lantai tidak begitu besar. Kolom jenis ini memiliki peran yang cukup penting dalam menopang seluruh bagian bangunan secara vertikal.

2.5.2. Pembebanan Komponen Struktur

Dalam perencanaan bangunan, struktur gedung harus direncanakan agar kuat menahan semua beban yang bekerja padanya. Berdasarkan Arah kerja beban, maka beban dapat dikelompokkan menjadi beban gravitasi (beban vertikal) dan beban lateral (beban horizontal). Berdasarkan Peraturan Pembebanan Untuk Gedung, jenis – jenis beban yang bekerja pada struktur dapat didefinisikan sebagai berikut.

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat dari semua bagian bangunan yang bersifat tetap termasuk semua unsur tambahan, mesin – mesin serta peralatan tetap (*fixed equipment*) yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari bangunan tersebut.

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian dan penggunaan suatu bangunan, dan di dalamnya termasuk beban – beban pada lantai yang berasal dari barang – barang yang dapat berpindah (*moveble equipment*), mesin – mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari bangunan dan dapat diganti selama masa hidup suatu bangunan.

3. Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut. Ketika pengaruh gempa pada struktur bangunan ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah gaya – gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa tersebut.

Struktur tahan gempa harus dirancang dengan menggunakan prinsip desain kapasitas (*capacity design*). Prinsip desain kapasitas adalah pengendalian energi gempa yang masuk dalam struktur agar struktur dapat berperilaku memuaskan dan

tidak terjadi runtuh pada saat terjadi gempa kuat. Prinsip ini diwujudkan dengan pengendalian terbentuknya sendi – sendi plastis pada lokasi – lokasi tertentu pada struktur gedung, yaitu pada ujung – ujung elemen balok.

2.5.3. Penyaluran Tulangan

Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dapat dilihat pada rumus berikut:

$$I_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4\sqrt{f'_c}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dan tidak kurang dari:

$$I_{db} = 0,04 \times d_b \times f_y \dots\dots\dots (2.4)$$

panjang penyaluran dalam kondisi ini tidak boleh diambil kurang dari 200 mm

d_b : nilai diameter tulangan

f_y : nilai kuat leleh tulangan

f'_c : nilai kuat tekan beton



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pengertian Umum

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam analisa struktur yaitu:

1. Pengumpulan data teknis
2. Perhitungan dimensi balok
3. Perhitungan balok atap
4. Perhitungan balok lantai
5. Perhitungan kolom
6. Perhitungan portal
7. Perhitungan beban gempa

3.2. Tipe Penelitian

Dari jenis metode penelitian, penelitian ini termasuk penelitian eksperimen. Eksperimen adalah satu cara untuk mencari hubungan sebab akibat (hubungan kasual) antara dua faktor yang sengaja ditimbulkan oleh peneliti dengan mengeliminasi atau mengurangi atau menyisihkan faktor-faktor lain yang mengganggu (Arikunto, 2019). Penelitian ini mengamati akibat perubahan suatu metode dan kemudian hasilnya dibandingkan.

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Materi penelitian diperoleh dari lokasi rencana pembangunan yang dapat langsung dipergunakan sebagai sumber dalam perancangan struktur, meliputi:

1. Pengambilan dokumentasi;
2. *Shop Drawing*.

3.4. Tahap Persiapan

Struktur bangunan adalah penopang dari pertimbangan kenyamanan sebuah bangunan. Kuat bangunan untuk menopang beban orang, peralatan rumah tangga, *furniture*, kondisi gempa, dan penurunan tanah yang mengakibatkan miringnya posisi bangunan, retak, atau muncul perbedaan elevasi lantai yang berakibat pada

pecahnya keramik atau lantai. Struktur sebuah bangunan berkisar pada Struktur Bawah, yaitu pondasi, dan Struktur Atas yaitu:

1. Kolom
2. Balok

3.5. Metode Analisis Data

Dalam mengolah data-data sekunder terdapat beberapa metode analisis data yang dapat dilakukan untuk menghitung nilai material tulangan diantaranya adalah dengan cara:

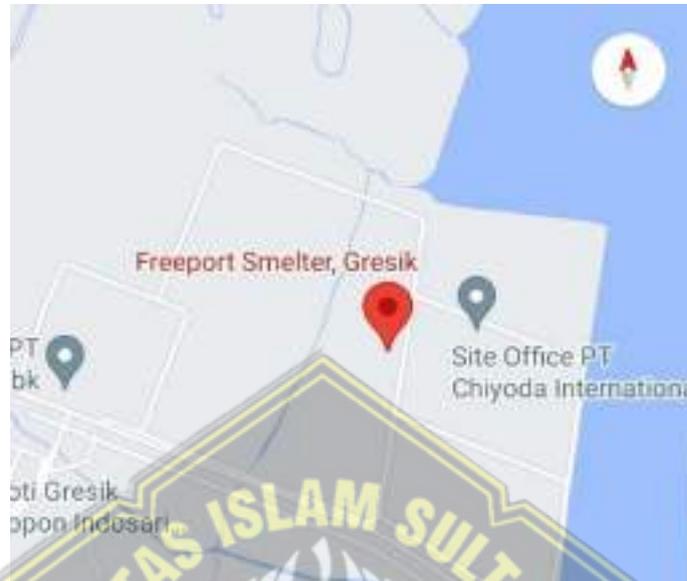


Gambar 3.2. Tahapan Analisis Data

3.6. Metode Pengolahan Data

1. Lokasi Pekerjaan

Lokasi pekerjaan dilakukan di Smelter Manyar Gresik



Gambar 3.3. Lokasi Penelitian

(Sumber: www.dite.com)

2. Sistem Struktur

Sistem struktur atas terdiri atas pelat lantai, balok anak, balok induk, kolom dari bahan beton bertulang. Struktur pelat beton bertulang menggunakan sistem konvensional, yaitu pelat dua arah yang ditumpu di tepinya oleh balok beton bertulang. Sistem struktur penahan beban lateral terdiri atas balok-kolom-pelat sebagai rangka portal arah-X dan arah-Y sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Beton Bertulang ($R=8$) sesuai yang disyaratkan oleh SNI yang berlaku.

3. Standar dan Peraturan

Perencanaan struktur bangunan ini berdasarkan peraturan, standar dan ketentuan yang berlaku di Indonesia, khususnya yang tercantum dalam peraturan-peraturan sebagai berikut,

- a. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726:2012,
- b. Persyaratan beton struktural untuk bangunan Gedung, SNI 2847:2013,

- c. Persyaratan Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung, SNI-1727-2013,
- d. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, SNI 1729:2015,
- b. Baja tulangan beton, SNI 2052-2017.

3.7. Pemecahan Masalah

1. Sistem Lantai dan Balok

Sistem struktur pelat lantai penahan beban gravitasi mulai lantai satu sampai dengan lantai atap menggunakan pelat dua arah beton bertulang.

2. Sistem Struktur Atap

Sistem struktur atap, pada area ruang pertemuan menggunakan beton bertulang konvensional yang disesuaikan dengan elevasi atap arsitektur serta kebutuhan ketinggian *plafond*.

3. Sistem Penahan Gaya Lateral

Sistem struktur penahan gaya lateral gedung direncanakan untuk menahan beban gempa nominal sesuai dengan persyaratan SNI-1726- 2012.

4. Pembebanan

Beban yang diperhitungkan meliputi : beban mati, beban hidup dan beban gempa serta beban angin.

5. Analisis Beban Gempa (Seismik)

Analisis beban gempa dengan respon spektrum dari analisa dinamik dan analisa statik ekuivalen mengikuti Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726:2012.

6. Kombinasi Pembebanan yang Ditinjau dari Beban Gravitasi

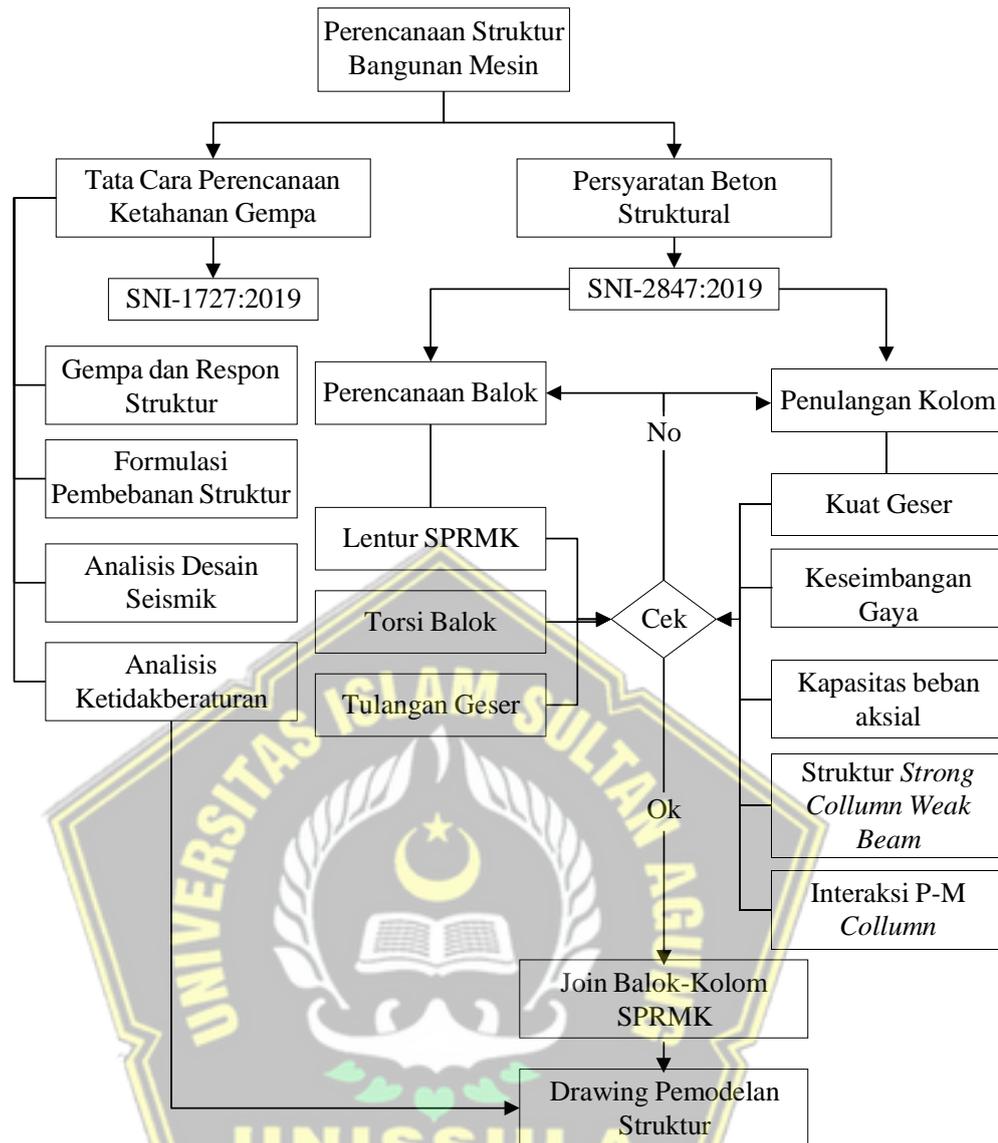
Beban gempa dianggap terjadi bersamaan dalam dua arah yang ortogonal (arah-X & arah-Y) dan dikombinasikan dengan beban gravitasi.

7. Perhitungan Balok

Perhitungan balok menggunakan hasil analisa hitung struktur yang menghasilkan desain tulangan longitudinal.

8. Perhitungan Kolom

- a. Tulangan Longitudinal
- b. Interaksi P-M Kolom
- c. Penulangan Geser



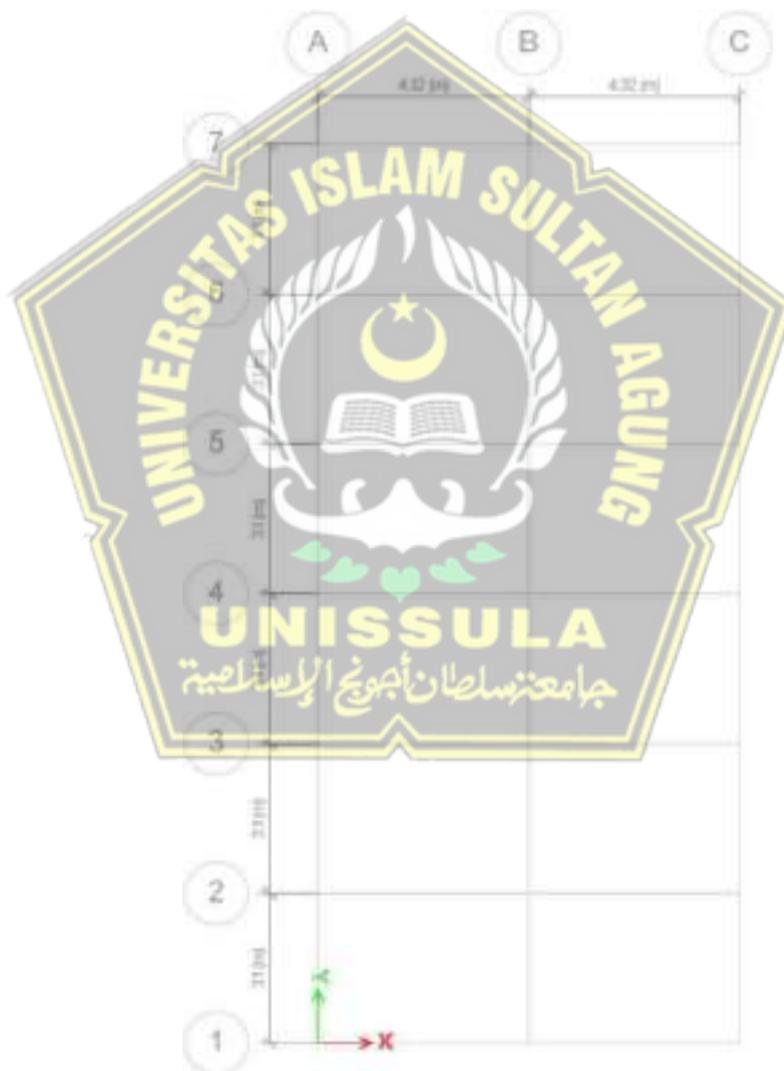
Gambar 3.4. Bagan Alir Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

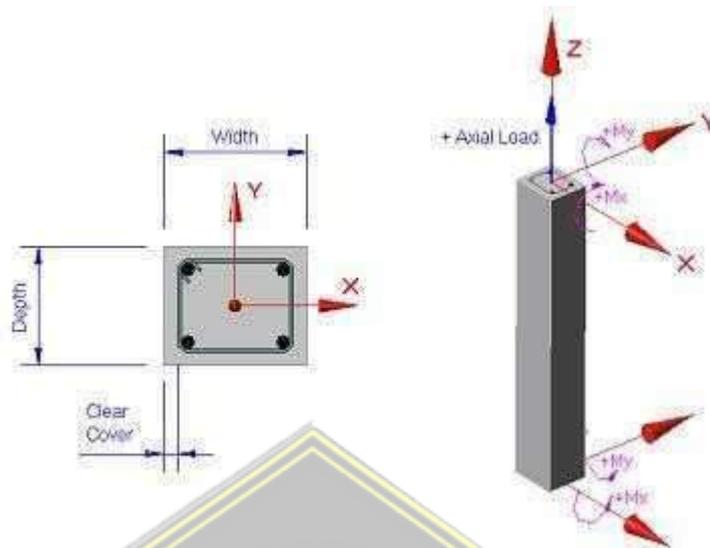
4.1. Deskripsi Bangunan

Metode menggunakan SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan. Hal baru yang terdapat pada SNI 2847:2019 adalah persyaratan sistem struktur. Metode yang digunakan adalah *Design Direct Method* (DDM).



Gambar 4.1. *Plan View* Bangunan

4.2. Pra-Dimensi dan Pemodelan Struktur



Gambar 4.2. Vektor Dimensi Kolom

(Sumber: fitriyana, 2022)

1. Lebar penampang kolom

$$= \text{lebar balok} + (2 \times 7.5 \text{ cm})$$

$$= 45 \text{ cm} + (2 \times 7.5 \text{ cm})$$

$$= 45 + 15 \text{ cm}$$

$$= 60 \text{ cm}$$

Sehingga ukuran kolom adalah $60 \times 60 \text{ cm}$.

2.

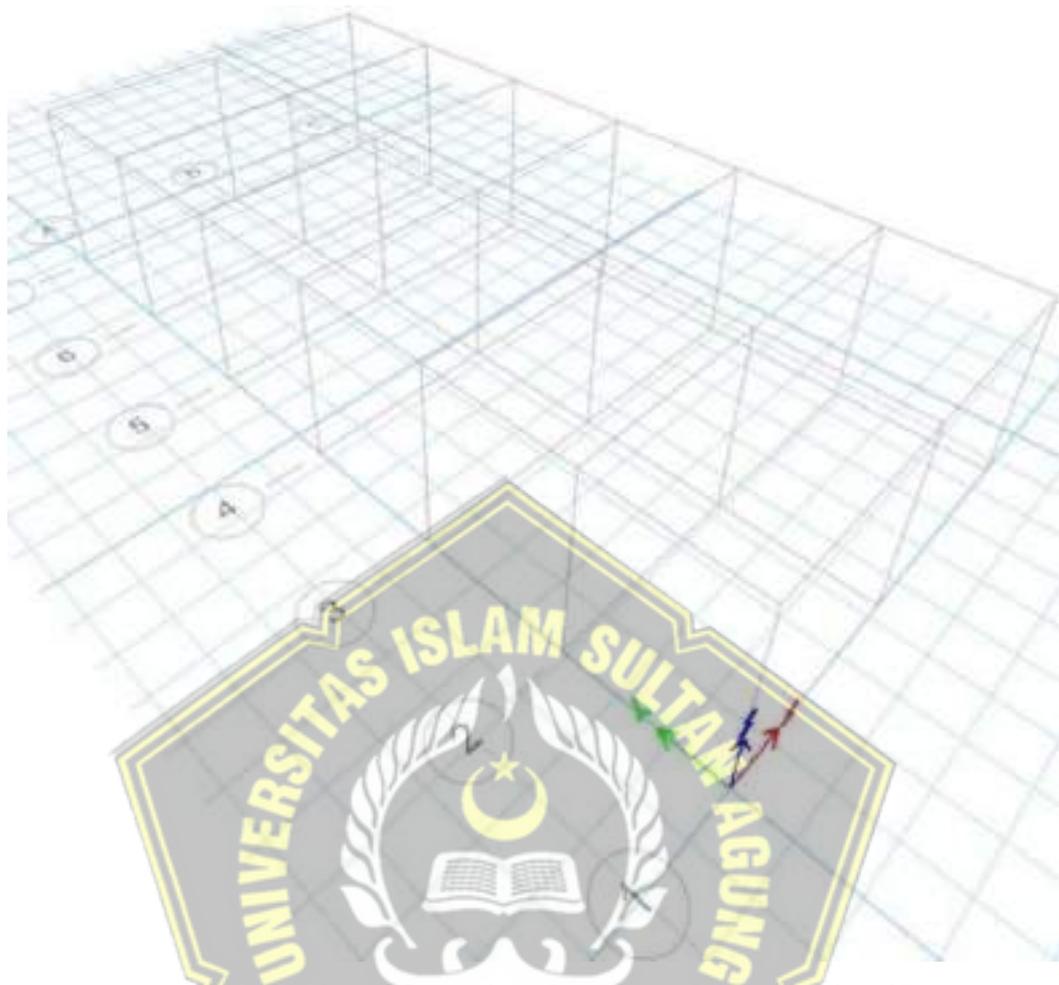
Dimensi jika menggunakan kolom pipih

$$60 \times 60 \text{ cm} = 15 \times \text{panjang pipih}$$

$$\text{Panjang pipih} = \frac{60 \times 60}{15} = 240 \text{ cm}$$

Sehingga ukuran kolomnya jika pipih menjadi $15 \times 240 \text{ cm}$

4.1.1. Permodelan Struktur



Gambar 4.3. Struktur Bangunan dalam Gambar 3D

4.1.2. Mutu dan Bahan

1. Spesifikasi untuk baja struktural mutu tinggi campuran rendah (*Columbium-Vanadium*) menggunakan standar A 572/A572M-13a.
2. Spesifikasi untuk baja struktural campuran rendah mutu tinggi, sampai titik leleh minimum 345 Mpa, dengan ketahanan korosi atmosfer menggunakan standar A588/A588M-10.
3. Spesifikasi untuk baja tulangan, baja mutu tinggi tanpa lapisan untuk beton prategang menggunakan standar A722/A722M-12.
4. Tulangan ulir yang digunakan sebagai elemen baja daktail untuk menahan pengaruh gempa dibatasi oleh ASTM A615M mutu 280 dan 420 yang memenuhi prasyarat ASTM A706M mutu 420.

4.3. Modelling Etabs V.18

Perancangan struktur beton pada bangunan mesin menggunakan *Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems (ETABS)* versi 20.

4.3.1. Inisiasi Model Struktur Bangunan



Gambar 4.4. Model Initialization

4.3.2. Input Material Properties

Material konstruksi beton bertulang menggunakan material beton K 350 untuk semua elemen struktur primer seperti balok dan kolom. Input data material dilakukan dengan menggunakan ETABS dengan urutan menu pilihan sebagai berikut; *define - Material – Properties*.



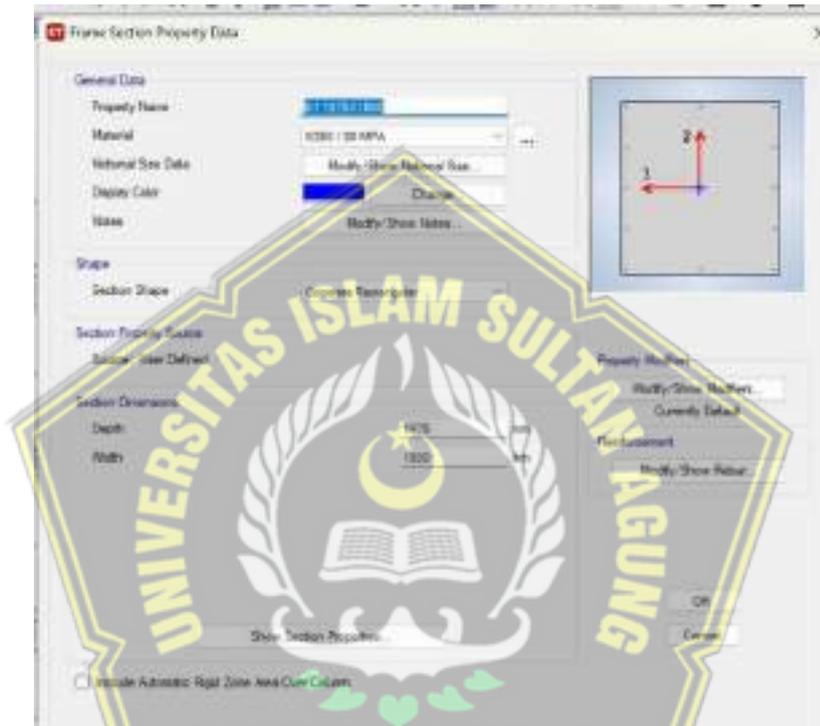
Gambar 4.5 Input Material properties

4.3.3. Input *Frame Section* (Elemen Struktur)

Input data *frame section* adalah struktur primer yaitu balok dan kolom, *Input Frame Section* dilakukan dengan menggunakan ETABS dengan urutan menu pilihan sebagai berikut:

1. Data Balok

Langkah dalam menginput data balok ke aplikasi ETABS adalah:
Define – Section Properties – Frame Section – Add New Property.



Gambar 4.6. Input Balok B1 1975 × 1800



Gambar 4.7. Input Balok B3 1500 × 1300



Gambar 4.8. Input Balok B3 3520 × 1800



Gambar 4.9. Input Balok B3 1800 × 700



Gambar 4.10. Input Balok B3 1800 × 1100



Gambar 4.11. Input Balok B3 2900 × 1800

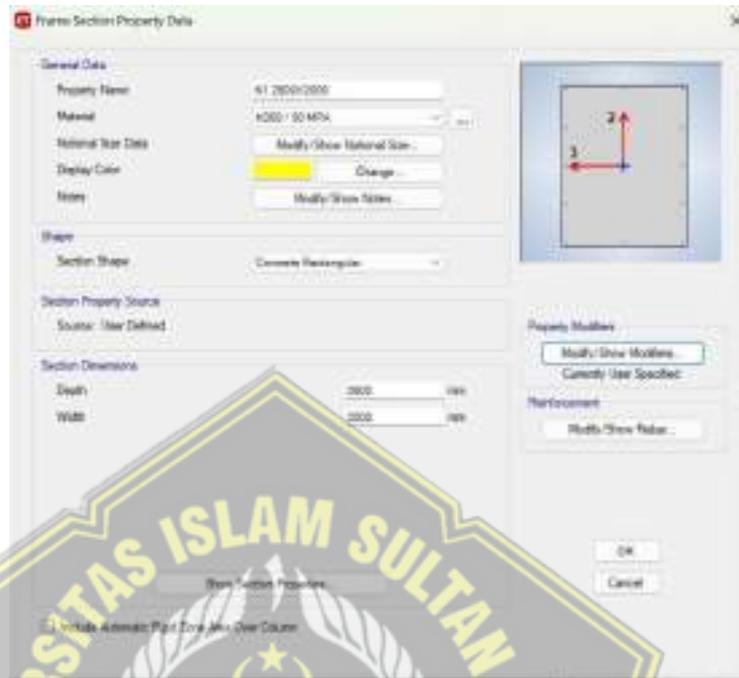


Gambar 4.12. Input Stiffness Modification factors

2. Data Kolom

Langkah dalam menginput data kolom ke aplikasi ETABS adalah:

Define – Section Properties – Frame Section – Add New Property.



Gambar 4.13. Input Kolom Induk K1 2600 × 2000



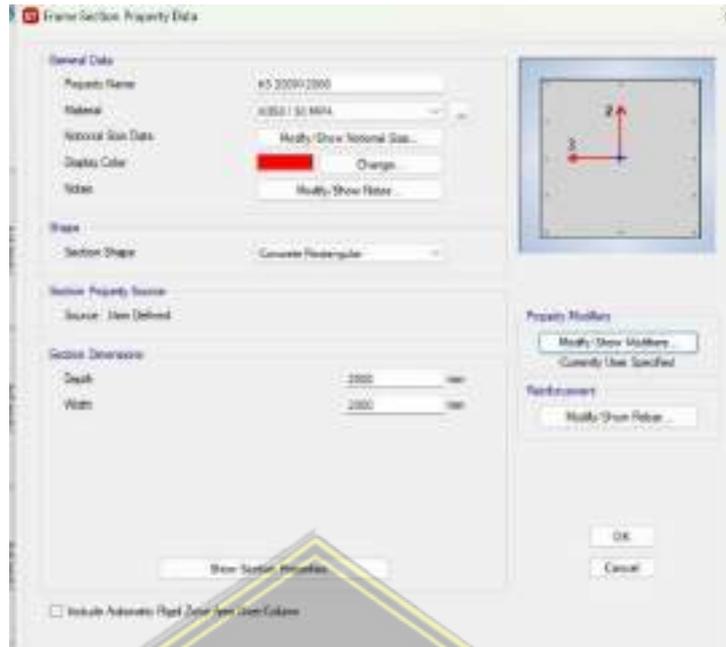
Gambar 4.14. Input Kolom K2 2000 × 1400



Gambar 4.15. Input Kolom K3 1400 × 1200



Gambar 4.16. Input Kolom K3 2600 × 1200



Gambar 4.17. Input Kolom K3 2000 × 2000



Gambar 4.18. Input Kolom K3 2000 × 1200



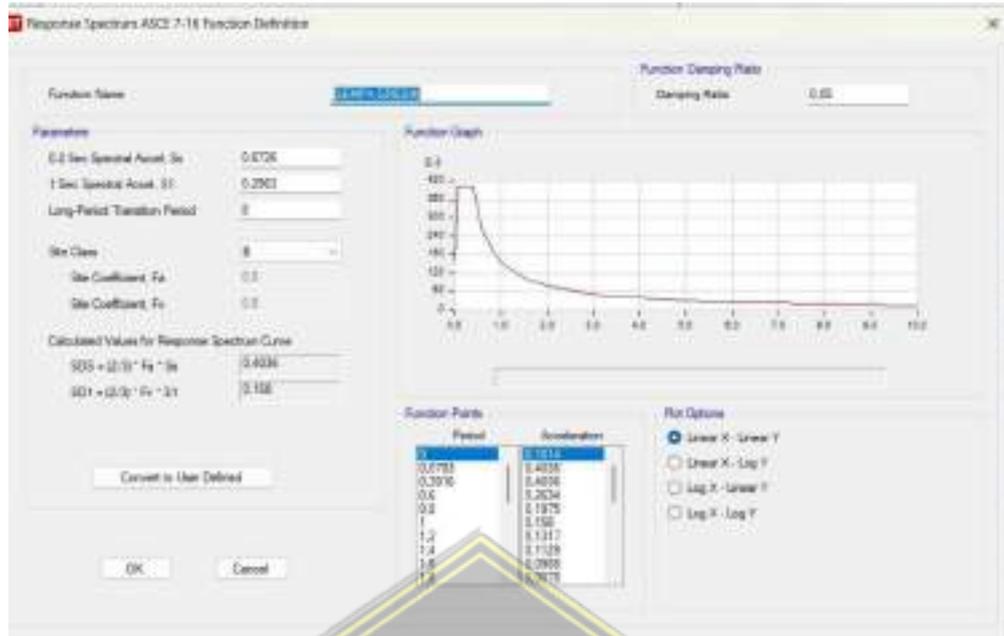
Gambar 4.19. *Input Stiffness Modification factors*

4.3.4. Input Beban Gempa Respons Spektrum

Beban gempa dihitung dengan periode ulang 500 tahun. Dalam menghitung beban gempa pada gedung perkuliahan ini menggunakan prosedur yang ada pada SNI 1726:2019. Adapun urutan langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

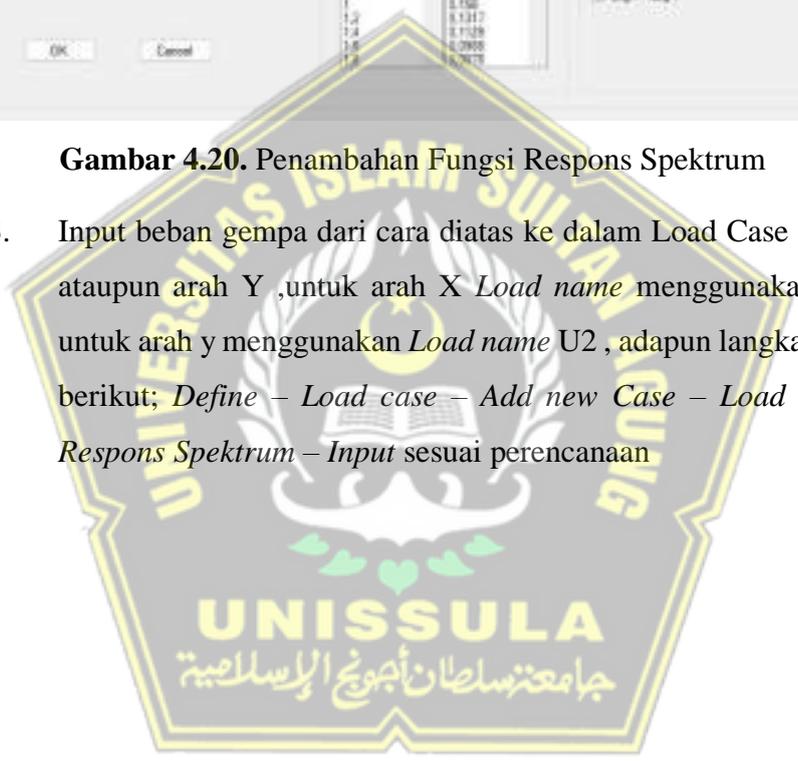
1. Mendapatkan nilai S_s dan S_1 dari Peta Hazard Periode gempa yang didapatkan dari website Desain Spektra Indonesia 2021
2. Memasukkan data untuk respons spektrum pada aplikasi ETABS v18, adapun langkahnya sebagai berikut:

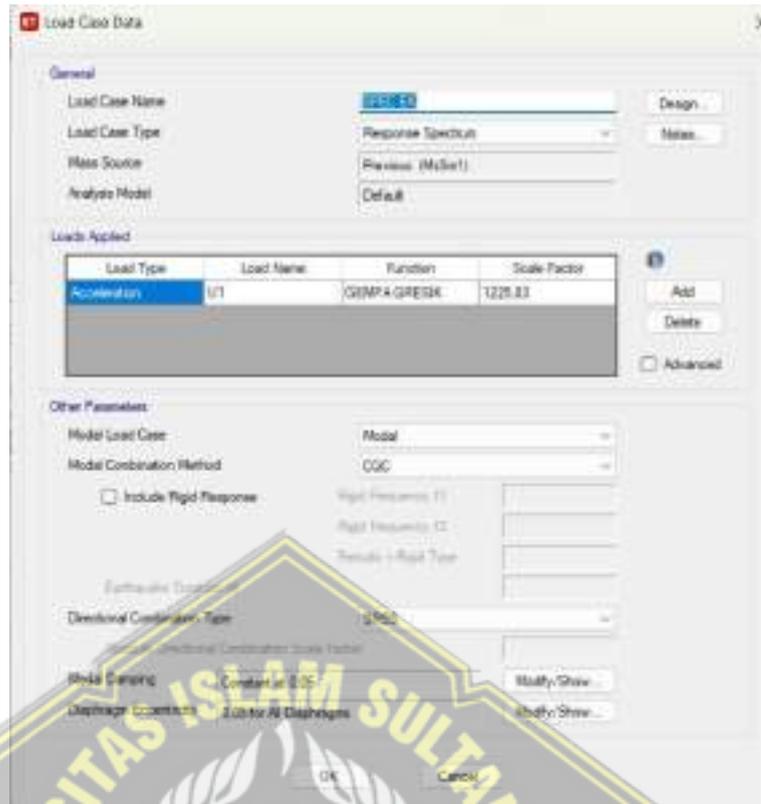
Define – functions – respons spektrum – kemudian memasukkan data yang telah didapatkan dari *website* Desain Spektra Indonesia ke dalam *Respon spectrum function definition* .



Gambar 4.20. Penambahan Fungsi Respons Spektrum

- Input beban gempa dari cara diatas ke dalam Load Case baik untuk X ataupun arah Y ,untuk arah X *Load name* menggunakan U1,adapun untuk arah y menggunakan *Load name* U2 , adapun langkahnya sebagai berikut; *Define – Load case – Add new Case – Load Case Type – Respons Spektrum – Input* sesuai perencanaan





Gambar 4.21. Penambahan *Load Case* Data Respons Spektrum



Gambar 4.22. Penambahan *Load Case* Data Respons Spektrum

4.4. Formulasi Pembebanan Struktur

Pada perencanaan gedung yang bersangkutan, kombinasi pembebanan yang digunakan disesuaikan dengan standard SNI 1727:2019 Pasal 2.3.1 dan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik SNI 1727 : 2019 pasal 2.3.6 yaitu sebagai berikut:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$ 5. $0,9D + 1,0W$
6. $1,2D + 1,0 L \pm 1,0 (\rho QE + 0,2 Sds.DL) \pm 0,3 (\rho QE + 0,2 Sds.DL)$
7. $1,2D + 1,0 L \pm 0,3 (\rho QE + 0,2 Sds.DL) \pm 1,0 (\rho QE + 0,2 Sds.DL)$
8. $0,9D \pm 1,0 (\rho QE + 0,2 Sds.DL) \pm 0,3 (\rho QE -0,2 Sds.DL)$
9. $0,9D \pm 0,3 (\rho QE + 0,2 Sds.DL) \pm 1,0 (\rho QE -0,2 Sds.DL)$

Pembebanan beban mati pada permodelan struktur terdiri dari beban sendiri struktur. Namun, untuk standard pembebanan beban hidup yang bekerja pada struktur bangunan mengacu pada SNI 1727:2019. Beban hidup yang digunakan berbeda-beda tergantung fungsi dari bangunan dan ruangan tersebut. Beban hidup merata yang digunakan dalam analisis struktur yaitu Pabrik Berat = 11,97 KN/m².

4.5. Analisis Desain Seismik

Pembebanan seismik pada struktur gedung dianalisis menggunakan acuan peraturan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung atau Non Gedung.

4.5.1. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Bangunan yang direncanakan merupakan bangunan yang difungsikan sebagai pabrik. Berdasarkan SNI 1726:2019 bangunan ini dikelompokkan dalam kategori resiko IV dengan nilai faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,00.

4.5.2. Klasifikasi Situs

SNI 1726:2019 mengenai klasifikasi situs nilai (τ_N) dikategorikan sebagai Tanah Sedang (SD) dikarenakan $\tau_N > 50$. Parameter Respons Spektral Gempa Terpetakan (Nilai S_s dan S_1). Parameter respons tabel gempa desain dapat dicari menggunakan Aplikasi Desain Spektra Indonesia tahun 2021 yang tersedia pada laman resmi PUPR Indonesia dengan cara menginput koordinat atau nama kota yang akan dibangun dan hasil akan otomatis diperoleh. Nilai parameter respons tabel gempa desain pada lokasi Manyar Smelter Project akan dibangun ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1. Data Parameter Respon Spektral Terpetakan

Variabel	Nilai
PGA	0,3124
S_s	0,6726
S_1	0,2963

(Sumber : Analisis Data Penelitian, 2022)

4.5.3. Parameter Respons Spektral Gempa Desain (Nilai S_{ds} dan S_{d1})

Penentuan nilai parameter respons percepatan gempa desain pada periode pendek (SDS) dan perioda 1 detik (S_{d1}) disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs dapat diperoleh menggunakan Aplikasi Desain Spektra Indonesia 2021 pada laman resmi Kementerian PUPR. Dengan menggunakan data koordinat dari lokasi gedung yang direncanakan pada laman tersebut dan dengan menentukan jenis tanahnya didapat nilai parameter respons spektral gempa tertarget ditunjukkan pada Tabel 4.2.

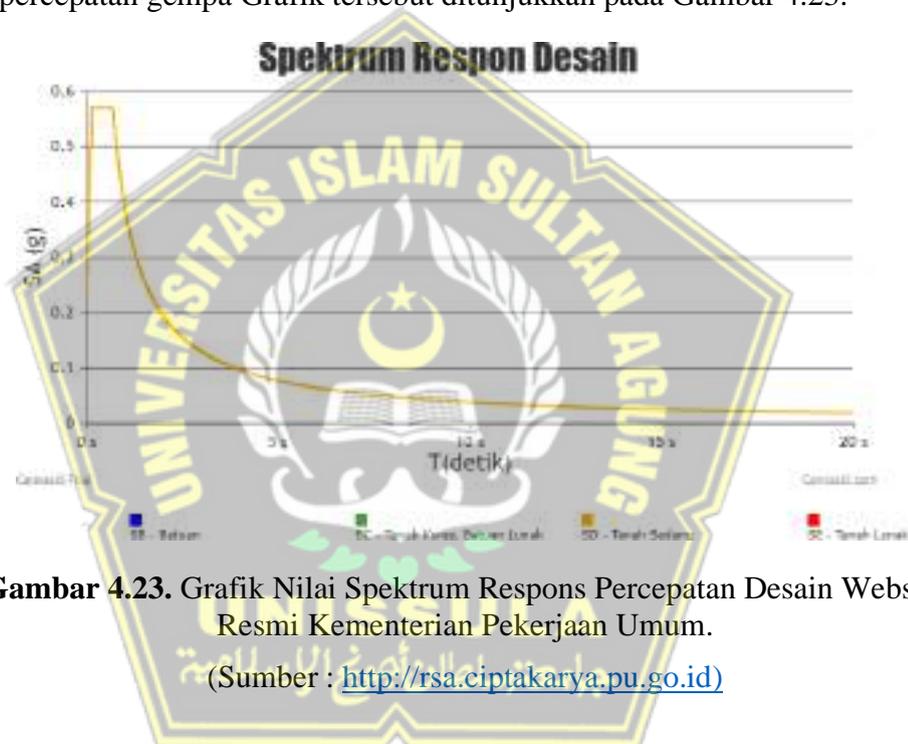
Tabel 4.2. Data Parameter Respons Spektral Desain

Variabel	Nilai
S_{ds}	0,57
S_{d1}	0,39

(Sumber : Analisis Data Penelitian, 2022)

4.5.4. Spektrum Respons Desain

Spektrum respon desain dapat dihitung dengan acuan Pasal 6.4 SNI 1726:2019. Nilai-nilai perioda yang dibutuhkan pada pembuatan spektrum response desain dapat dihitung menggunakan persamaan-persamaan yang terdapat pada SNI yang dimulai dari T_0 , T_S hingga perioda-perioda selanjutnya. Spektrum respon dapat juga diperoleh secara otomatis melalui laman resmi yang disediakan Kementerian PUPR sehingga penentuan Spektrum Respons Desain dapat dilakukan secara otomatis. Nilai spektrum percepatan desain yang didapat dari laman tersebut ditampilkan dengan dibuat grafik hubungan antara periode dan respon percepatan gempa. Grafik tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23. Grafik Nilai Spektrum Respons Percepatan Desain Website Resmi Kementerian Pekerjaan Umum.

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

4.5.5. Kategori Desain Seismik dan Sistem Gaya Gempa

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu Kategori Desain Seismik yang sesuai dengan SNI 1726:2019. Berdasarkan penentuan sebelumnya, gedung yang direncanakan termasuk dalam Kategori Resiko II dan memiliki nilai $SDS \geq 0,5$ dan nilai $SD1 \geq 0,2$ sehingga penentuan Kategori Desain Seismik dapat menggunakan Tabel 9 dan 8 SNI 1726:2019. Dari Tabel tersebut diperoleh gedung ini termasuk dalam Kategori Desain Seismik D. Sistem penahan gempa lateral dan vertikal dasar pada struktur gedung ini direncanakan memiliki penahan gaya seismik berupa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dari beton bertulang. Faktor

modifikasi respons dan pembesaran defleksi pada SNI 1726:2019 ditentukan bahwa koefisien modifikasi respons (R) = 8 dan faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5.

4.5.6. Perhitungan Pusat Massa Tiap Lantai

Perhitungan beban gempa pada struktur diperlukan penentuan nilai massa di setiap lantainya di mana beban yang digunakan merupakan beban mati yaitu beban struktur tiap lantai itu sendiri dan beban hidup yang bekerja pada pelat pada lantai tersebut. Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu 100% beban mati ditambah minimum 25% beban hidup sesuai dengan SNI 1726 pasal 7.7.2 .

$$W = 100 \% DL + 25 \% LL \quad (4.4)$$

keterangan:

W = Berat Seismik Efektif

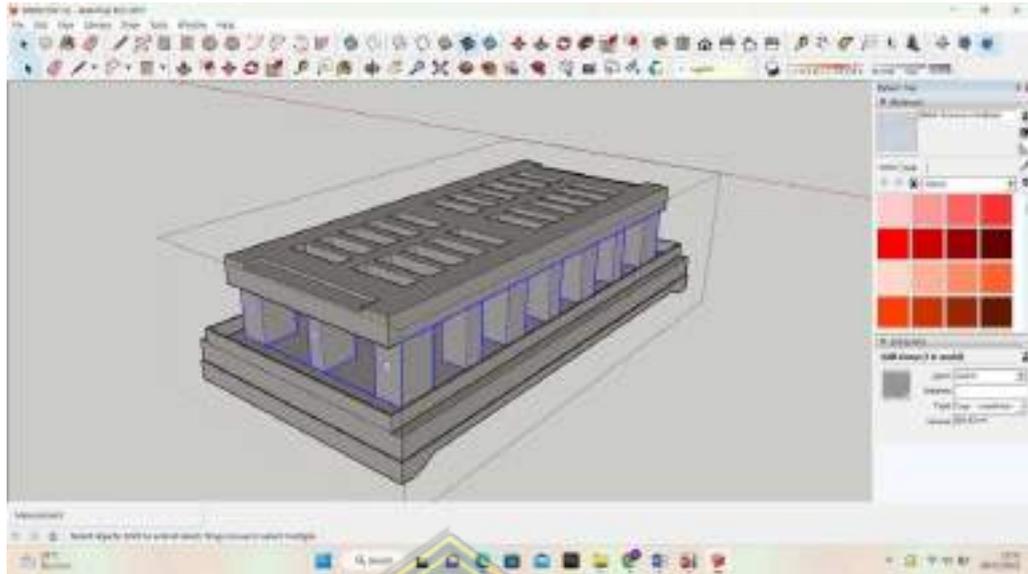
DL = Beban mati (berat sendiri) struktur pada setiap lantai gedung

LL = Beban hidup total pada setiap lantai gedung

Penentuan massa dan pusat massa pada setiap lantainya diperoleh dengan menghitung volume struktur beton pada setiap lantainya dan digunakan sebagai beban sendiri struktur sedangkan untuk beban hidup yang bekerja pada pelat lantai harus sesuai dengan SNI 1727:2019.



Gambar 4.24. Perhitungan beban mati (DL) Balok



Gambar 4.25. Perhitungan beban mati (DL) Kolom

$$\text{Balok} = 556,24 \times 2400 = 1334976 \text{ kg}$$

$$\text{Kolom} = 282,92 \times 2400 = 679008 \text{ kg}$$

$$= 2013984 \text{ kg}$$

$$W = 100 \% (2013984 \text{ kg}) + 25 \% (11,97 \text{ KN})$$

$$= 100 \% (2013984 \text{ kg}) + 25 \% (1345 \text{ kg})$$

$$= 2014320,25 \text{ kg}$$

4.5.7. Kontrol Hasil Analisa Dinamik Gempa

1. Menentukan Waktu Getar Alami Struktur

Fungsi Bangunan : Pabrik

Site Class : E

Kategori Risiko : II

Faktor Keutamaan $I_e = 1.0$

$$S_{DS} = 0.670050$$

$$S_{D1} = 0.639386$$

Kategori Seismik Desain (KDS) menggunakan SNI 1726:2019 pasal 6.5 dan 7.2.2 (pemilihan tipe struktur yang akan digunakan). Kategori Desain Seismik masuk kategori *D* berdasarkan S_{DS} ($0.50 \leq S_{DS}$) dan S_{D1} ($0.20 \leq S_{D1}$).

Berdasarkan SNI beton maka ditetapkan komponen yang menahan pengaruh gempa yaitu:

- 1) Balok sistem rangka pemikul momen khusus;
- 2) Kolom sistem rangka pemikul momen khusus;
- 3) Join sistem rangka pemikul momen khusus;

Hasil penetapan sistem pemikul gaya seismik SRPMK adalah

Koefisien modifikasi respon $R = 8.0$

Faktor kuat lebih sistem $\Omega_0 = 3$

Faktor pembesaran defleksi $Cd = 5.5$

Tabel 4.3. Adopsi Faktor Modifikasi Modulus Getar

SNI		ETABS			
Beams	=	$0.35 I_g$	Inersia 1	=	$0.35 I_g$
Columns	=	$0.70 I_g$	Inersia 2	=	$0.70 I_g$

$$T_a = 0.0466(h_n)^{0.90}$$

$$T_a = 0.0466(41)^{0.90}$$

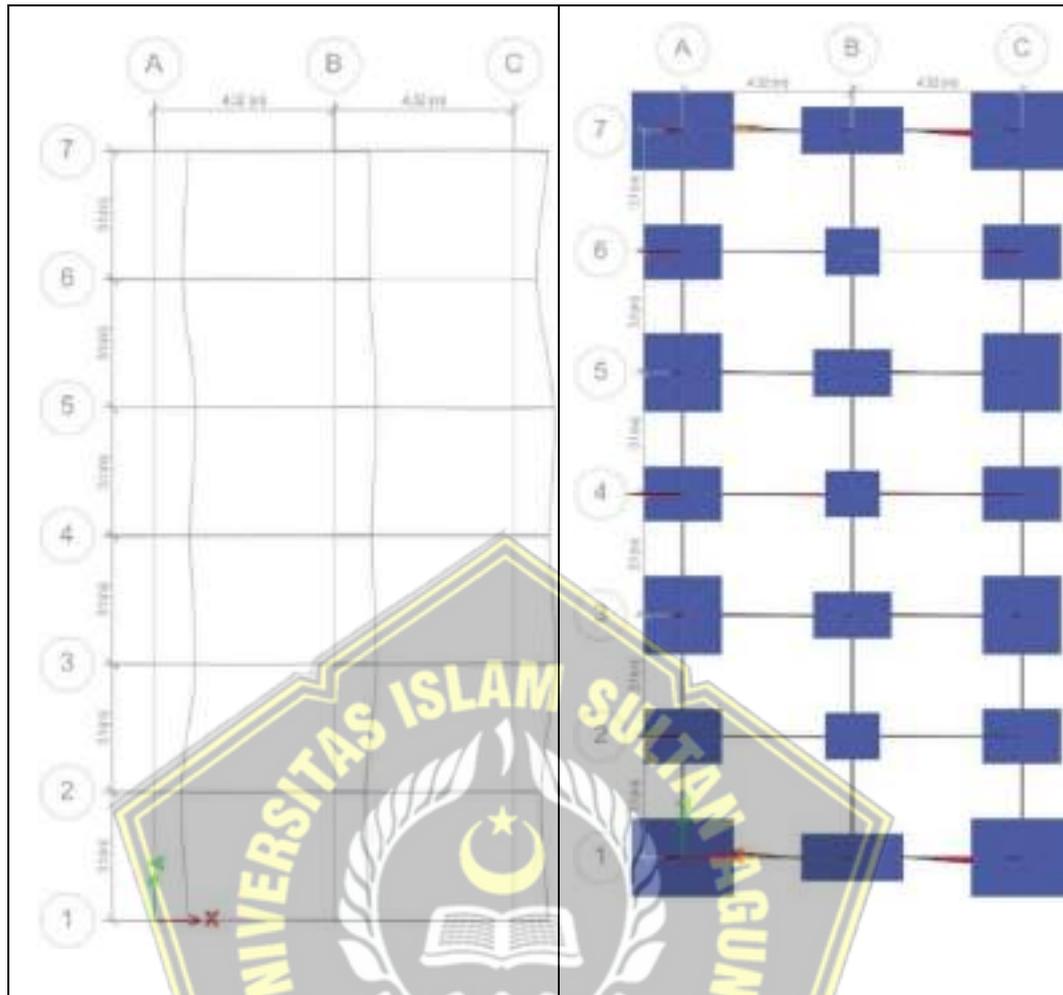
$$T_a = 0.69 \text{ detik}$$

$$C_u T_a = 1.4(0.69)$$

$$C_u T_a = 0.966 \text{ detik}$$

Tabel 4.4. Modal Participating Mass Ratio

Mode	Period	UX	UY	SumRX	SumRY	SumRZ
	sec					
1	0.03	0.0000162	0.6597	0.6597	0.0000162	0.000005945
2	0.023	0.5986	0.0001	0.6598	0.5986	0.000006382
3	0.021	0.0016	9.316E-07	0.6598	0.6002	0.8601
4	0.021	0.3764	0.000003591	0.6598	0.9766	0.8647
5	0.02	0.000001201	0.0001	0.6599	0.9766	0.8794
6	0.019	0.00002599	0.0008	0.6607	0.9766	0.984
7	0.018	0.00001054	0.338	0.9987	0.9766	0.9842
8	0.017	0.0000238	0.000006926	0.9987	0.9766	0.9842
9	0.015	0.0003	0.00004358	0.9988	0.977	0.9843
10	0.013	0.0002	0.0000268	0.9988	0.9771	0.9854
11	0.013	0.0007	0.00000938	0.9988	0.9778	0.9857
12	0.012	0.00004213	0.00001319	0.9988	0.9779	0.9858



Gambar 4.26. *Deform Shape*

Waktu getar mode 1 adalah 0.03, waktu getar mode 1 adalah terjadi translasi arah Y (utara - selatan), sedangkan mode 2 adalah 0.023 adalah terjadi translasi arah X (barat - timur). Translasi arah UY sebesar 65.97% dan translasi arah UX sebesar 59.86%. Mode 3 adalah arah rotasi Z adalah 86.01%.

2. Kontrol Bentuk Ragam dan Partisipasi Massa Bangunan

Pada SNI 1726 Pasal 7.9.1 jumlah pola getar yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam harus mencakup partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 100% dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal orthogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Berikut ini adalah hasil partisipasi massa dari hasil analisis ETABS yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Nilai Hasil Partisipasi Massa Bangunan

Modal Participation Mass Ratio														
Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
Modal	1	0.09	1,62E-05	0,6597	0	1,62E-05	0,6597	0	0,6597	1,62E-05	5,95E-06	0,6597	1,62E-05	5,95E-06
Modal	2	0.03	0,5980	0,0031	0	0,5980	0,0031	0	0,0031	0,5980	0	0,0031	0,5980	0,0031
Modal	3	0.03	0,0016	8,12E-07	0	0,0016	0,0000	0	8,12E-07	0,0016	0,0000	0,0016	0,0000	0,0000
Modal	4	0.03	0,3764	3,59E-08	0	0,3764	0,0000	0	3,59E-08	0,3764	0,0000	0,0000	0,3764	0,0000
Modal	5	0.02	1,20E-06	0,0001	0	0,2706	0,0000	0	0,0001	1,20E-06	0,0147	0,0000	0,2706	0,0147
Modal	6	0.03	2,60E-05	0,0008	0	0,2706	0,0007	0	0,0008	2,60E-05	0,1084	0,0007	0,2706	0,1084
Modal	7	0.03	1,03E-05	0,338	0	0,2706	0,9987	0	0,338	1,03E-05	0,0002	0,9987	0,2706	0,9987
Modal	8	0.03	2,38E-05	6,59E-08	0	0,2706	0,9987	0	6,59E-08	2,38E-05	0,0001	0,9987	0,2706	0,9987
Modal	9	0.03	0,0003	4,30E-03	0	0,277	0,9988	0	4,30E-03	0,0003	3,73E-03	0,9988	0,277	0,9988
Modal	10	0.03	0,0003	2,68E-05	0	0,2771	0,9988	0	2,68E-05	0,0003	0,0001	0,9988	0,2771	0,9988
Modal	11	0.03	0,0007	8,18E-06	0	0,2778	0,9988	0	8,18E-06	0,0007	0,0001	0,9988	0,2778	0,9987
Modal	12	0.02	3,21E-09	1,12E-05	0	0,2779	0,9988	0	1,12E-05	0,0001	0,0001	0,9988	0,2779	0,9988

(Sumber: Analisis Data ETABS penelitian, 2022)

Dari Tabel 4.5 terlihat bahwa bangunan memiliki partisipasi massa yang di syaratkan berada pada modal ke 7 dengan modal yang ditinjau sebanyak 12 modal.

3. Kontrol Periode Fundamental Struktur

Nilai waktu fundamental struktur awal bangunan (T_a) yang di dapatkan dari hasil analisis model program struktur tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung dari SNI 1726:2019 dan periode fundamental pendekatan T_a yang ditentukan dari persamaan SNI 1726:2019 dimana tinggi struktur (h_n) adalah 5,9 m dan nilai C_t dan x dapat diperoleh dari SNI 1726:2019 sehingga dapat dihitung sebagai berikut:

$$C_t = 0,0466 \text{ (untuk rangka beton pemikul momen)}$$

$$x = 0,75 \text{ (untuk rangka beton pemikul momen)}$$

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

$$= (0,0466) \times (5,9)^{0,75} = 0,2302 \text{ detik}$$

Berdasarkan pada SNI 1726:2019 , periode getar struktur (T) tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan pada periode getar yang dihitung (C_u), seperti tertera pada SNI 1726:2019 didapat nilai sebagai berikut:

$$T_{max} = C_u \times T_a$$

$$= 1,4 \times 0,2302$$

$$= 0,322 \text{ detik}$$

Dari Tabel 4.9 didapatkan nilai periode arah x dan arah y berdasarkan partisipasi massa terbesar yang terjadi pada ragam 1 dan 2 adalah:

$$T_{Max} = 0,322 \text{ detik} < T_{cx} = 0,5986$$

$$T_{Max} = 0,322 \text{ detik} < T_{cy} = 0,6597$$

Karena periode getar struktur gedung yang didapat dari hasil perhitungan lebih besar dari T_{max} , maka untuk perhitungan beban gempa pada struktur gedung, sudah sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.8.2 tentang kontrol periode fundamental struktur.

4. Kontrol Gaya Geser

Perhitungan nilai gaya geser dasar dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1 dengan menghitung nilai koefisien respons seismik (C_s) terlebih dahulu sebagai berikut:

$$C_s = \frac{0.5658}{8} = 0.0707 \text{ g}$$

$$C_{s \max} = \frac{0.3965}{1 \left(\frac{0.322}{1.5} \right)} = 0.1538 \text{ g}$$

$$C_{s \min} = 0,044 \cdot S_{ds} \cdot I_e = 0,044 \cdot 0,5658 \cdot 1 = 0,0249 \text{ g}$$

Nilai yang dihasilkan menunjukkan C_s tidak melebihi $C_{s \max}$ maka digunakan adalah $C_s = 0,0707 \text{ g}$.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1, hasil akhir gaya geser dinamik struktur terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam satu arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 100% dari nilai respons ragam pertama atau dapat disimpulkan,

$$V_{\text{dinamik}} \geq 100 \% V_{\text{statik}} \quad (4.5)$$

Perbandingan antara V_{dinamik} dan 100 % V_{statik} ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Perbandingan Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik

	Vdinamik (kN)	Vstatik (kN)	Vdinamik / Vstatik × 100% = 100%
Sumbu X	235,8765	535,60	44% (tidak Memenuhi)
Sumbu Y	208,5958	535,60	39% (tidak Memenuhi)

(Sumber: Analisis Data penelitian, 2022)

Nilai Vdinamik masih kurang dari 100 % Vstatik, sehingga dilakukan pembesaran gaya gempa dengan cara gaya dikalikan dengan (Vstatik/Vdinamik) sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1 yaitu sebagai berikut :

Faktor Pembesaran gempa arah x = $1225,83 \times 2,271 = 2783,48$

Faktor Pembesaran gempa arah y = $1225,83 \times 2,568 = 3147,51$

Kemudian gempa diperbesar pada kedua arah sehingga diperoleh nilai gaya geser dasar dinamik dengan nilai ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Perbandingan Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik

	Vdinamik (kN)	Vstatik (kN)	Vdinamik / Vstatik × 100% = 100%
Sumbu X	535,60	535,60	100% (Memenuhi)
Sumbu Y	535,60	535,60	100% (Memenuhi)

(Sumber: Analisis Data penelitian, 2022)

4.6. Analisis Ketidakberaturan

Berdasarkan SNI 1726:2019, tipe ketidakberaturan torsi 1a dan torsi 1b ditentukan berdasarkan defleksi maksimum (δ_{max}), defleksi minimum (δ_{min}), dan defleksi rata-rata (δ_{avg}).

Tabel 4.8. Ketidakberaturan Torsi

Indikator		Tipe
$\delta_{max} < 1.2\delta_{avg}$	=	Tanpa ketidakberaturan torsi
$1.2\delta_{avg} < \delta_{max} < 1.4\delta_{avg}$	=	Ketidakteraturan torsi 1a
$\delta_{max} > 1.4\delta_{avg}$	=	Ketidakteraturan torsi 1b (berlebih atau ekstrim)

(Sumber: SNI 1726:2019 ps. 7.3.2.1)

Ketidakteraturan horisontal tipe 1a dihitung dengan menggunakan efek torsi tidak terduga dengan asumsi A_x (faktor amplifikasi eksentrisitas) = 1.0. Dinyatakan apabila ketidakberaturan horisontal 1a terjadi apabila *drift* maksimum dibagi dengan *drift average* dalam satu *story* yaitu lebih dari 1.2. Dinyatakan ketidakberaturan torsi berlebih (ekstrim) apabila drift maksimum dalam satu lantai dibagi dengan *drift average* lebih dari 1.4.



Gambar 4.27. Ketidakteraturan 1a dan 1b

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 4.9. *Story Max Over Average Drift* arah Horizontal

Story	Output Case	Case Type	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio
				mm	mm	
Story1	STATIK EX	LinStatic	X	0.01	0.008	1.31
Story1	STATIK EX	LinStatic	X	0.01	0.008	1.31
Story1	STATIK EX	LinStatic	X	0.01	0.008	1.31
Story1	SPEC EX	LinRespSpec	X	0.012	0.008	1.438

(Sumber: ETABS penelitian, 2023)

Rasio arah X berada pada rentang nilai $.2\delta_{avg} < \delta_{max} < 1.4\delta_{avg}$, sehingga termasuk ketidakberaturan torsi 1a.

Tabel 4.10. *Story Max Over Average Drift* arah Vertikal

Story	Output Case	Case Type	Max Drift	Avg Drift	Ratio
			mm	Mm	
Story1	STATIK EY	LinStatic	1	Y	0.02
Story1	STATIK EY	LinStatic	2	Y	0.02
Story1	STATIK EY	LinStatic	3	Y	0.02
Story1	SPEC EY	LinRespSpec	3	Y	0.03

(Sumber: ETABS penelitian, 2023)

Rasio arah Y berada pada rentang nilai $\delta_{max} < 1.2\delta_{avg}$, sehingga termasuk tanpa ketidakberaturan torsi.

4.7. Perencanaan Balok

4.7.1. Data Perencanaan Balok

Tabel 4.11. Perencanaan Balok

No.	Perencanaan	Besaran		Ukuran	Satuan
1.	Mutu baja tulangan	(f_y)	=	400.0	MPa
2.	Mutu beton	(f'_c)	=	27.5	MPa
3.	Tinggi balok	(H)	=	1700.0	mm
4.	Lebar balok	(B)	=	1100.0	mm
5.	Tebal selimut beton	(p)	=	50.0	mm
6.	Tulangan utama	(D)	=	D - 29	
7.	Tulangan Sengkang	(Ds)	=	D - 16	
8.	Tinggi efektif	(d')	=	$p + Ds + \frac{D}{2}$	
				$50 + 16 + \frac{29}{2}$	
				80.5	mm
9.	Tinggi efektif arah	(d)	=	$H - p - Ds - \frac{D}{2}$	
				$1700 - 50 - 16 - \frac{29}{2}$	
				1619.5	mm

(Sumber: Data primer penelitian, 2022)

4.7.2. Perencanaan Lentur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

1. Kontrol Dimensi (B/H)

$$\frac{B}{H} > 0.3$$
$$\frac{1100}{1800} > 0.3$$
$$0.6 > 0.3$$

Lebar balok (B) = 1100, lebih besar dari syarat minimal yaitu 250 mm dan kurang dari 0.75 tinggi balok (1700), sehingga syarat dimensi balok terpenuhi.

2. Kontrol Tekan Aksial

$$P_u < 0.1 \times A_g \times F'_c$$
$$P_u < 0.1 \times 1700 \times 1100 \times 27.5$$
$$166.9 \text{ kN} < 5142.5 \text{ kN}$$

P_u yang diperoleh dari hasil perhitungan ETABS lebih kecil dari gaya normal yang diisyaratkan, sehingga komponen struktur dapat direncanakan sebagai elemen lentur balok.

3. Kontrol Geometri

Bentang bersih balok tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektif balok.

$$\text{Bentang bersih } (l_n) = 16070 - (2 \times 0.5 \times 200)$$
$$\text{Bentang bersih } (l_n) = 14070 \text{ mm}$$

Persyaratan:

$$\text{Bentang bersih } (l_n) > 4 \times 1619.5$$
$$14070 > 6478$$

Syarat bentang bersih minimum elemen lentur terpenuhi karena jika bentang terlalu pendek maka potensi terjadinya sendi plastis akan semakin mudah.

4.7.3. Desain Penulangan Lentur

Balok bertumpu terbuat dari beton bertulang memikul beban mati merata sebesar 11.97 kN/m ditambah berat sendirinya serta beban hidup merata sebesar 22 kN/m. $f'_c = 27,5$ Mpa dan $f_y = 400$ Mpa.

1. Menghitung Berat Sendiri (BS) balok:

$$BS = \text{Dimensi balok} \times \text{Berat jenis beton}$$

$$BS = 1,1 \times 0,6 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 15,84 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} q_D &= 11,97 + 4,32 = 16,29 \text{ kN/m} \\ q_L &= 22 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} q_D \\ q_L \end{aligned}} \right\} \begin{aligned} q_U &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\ &= 1,2 (16,29) + 1,6(22) \\ &= 54,742 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

2. Menghitung *Moment Ultimate* (M_u) yang bekerja pada balok

$$M_u \text{ Maks} = \frac{1}{8} \times q_u \times L^2 = \frac{1}{8} \times (54,742) \times 4,32^2 = 127,70 \text{ kN/m}$$

3. Menghitung Kapasitas Lentur Balok

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan total} &= 3 \times \text{Luas sebuah tulangan} \\ A_s &= 3 \times \frac{1}{4} \pi \times 13,392^2 = 3,153 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4. Menghitung gaya yang bekerja pada balok dengan tebal blok tegangan sebesar $0,85 f'_c$

$$\text{Gaya} = \text{tegangan} \times \text{luas}$$

$$C_c = 0,85 f'_c \times a \times b$$

$$\text{Gaya tarik pada tulangan} = \text{Total luas} \times \text{tegangan}$$

$$T = A_s \times f_y$$

5. Menghitung tinggi blok tegangan tekan

$$\sum H = 0$$

maka gaya ke kiri = gaya ke kanan

$$C_c = T$$

$$0,85 \times f'_c \times \text{luas} = A_s \times f_y$$

$$0,85 \times 27,5 \times 300 \times a = 1980 \times 400$$

$$a = 112,94 \text{ mm}$$

6. Menghitung tinggi garis netral (tegangan) - *tension control*

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{112,94}{0,85} = 132,87 \text{ mm}$$

7. Menentukan keregangan tarik ϵ_s

$$\epsilon'_{cu} = 0,003$$

$$\frac{\epsilon_s}{\epsilon_{cu}} = \frac{550 - C}{C}$$

$$\epsilon_s = 0,0094 > 0,005 \text{ (tension control)}$$

Penampang telah berada pada zona *tension control* (C)

8. Menghitung kapasitas momen

Nilai faktor reduksi kekuatan $\Phi = 0,90$

$$\text{Kapasitas momen} = 0,9 \times A_s \times f_y \times \text{Jarak antar gaya}$$

$$\Phi M_n = 0,9 \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\Phi M_n = 0,9 \times 1980 \times 400 \times \left(550 - \frac{112,94}{2} \right)$$

$$\Phi M_n = 351.788189 \text{ N.mm}$$

$$\Phi M_n = 351,79 \text{ kN.m} > 289,73 \text{ kN.m (Mu)}$$

Kapasitas balok sudah mampu memikul momen *ultimate* akibat beban

4.7.4. Perencanaan Torsi pada Balok

Desain untuk torsi berdasarkan analogi rangka batang ruang tabung dinding tipis. Balok yang menerima torsi dianggap sebagai tabung dinding tipis dengan mengabaikan penampang beton inti balok solid. Segera setelah balok beton bertulang retak oleh torsi, kekuatan torsi terutama disediakan oleh sengkang tertutup dan tulangan longitudinal yang ditempatkan di dekat permukaan komponen struktur. Dalam analogi tabung dinding tipis, kekuatan diasumsikan disediakan oleh kulit luar penampang secara kasar terpusat dalam sengkang tertutup. Baik penampang berongga maupun solid dianggap sebagai tabung dinding tipis baik sebelum maupun sesudah retak. Hasil perkalian tegangan geser r dan tebal dinding t di sembarang titik di perimeter diketahui sebagai aliran geser (*shear flow*), $q = r t$. Aliran geser q akibat torsi, dan terjadi secara konstan pada semua titik di perimeter dan bekerja di tengah ketebalan. Tegangan geser akibat torsi:

$$r = \frac{T}{2A_0t}$$

Keterangan:

A_0 = luas bruto yang dilingkupi oleh lintasan aliran geser

t = tebal dinding pada titik dimana τ dihitung.

1. Torsi Keseimbangan (Primer)

Momen torsi tidak dapat direduksi dengan redistribusi gaya internal. Torsi jenis ini dianggap sebagai torsi kesetimbangan (*equilibrium torsion*) karena momen torsi dibutuhkan agar struktur dalam keseimbangan. Untuk kondisi ini, tulangan torsi harus disediakan untuk menahan momen torsi desain total. Desain torsi tidak bisa diperkecil karena redistribusi momen tidak bisa dilakukan.

2. Torsi Kompabilitas (Sekunder)

Momen torsi bisa direduksi dengan redistribusi gaya internal setelah retak jika torsi terjadi dari komponen struktur terpuntir untuk mempertahankan kompatibilitas deformasi. Torsi jenis ini disebut torsi

kompatibilitas. Desain torsi untuk balok sprandel dapat dikurangkan karena kemungkinan terjadi redistribusi momen.

4.8.1. Menentukan tinggi minimum balok

$$h_{min} = \frac{l}{8} = \frac{1700}{8} = 212.5 \text{ mm}$$

$$b = 1100 \text{ mm} ; d = 1619.5$$

4.8.2. Desain tulangan lentur

$$M_u = \phi \times \rho \times b \times d^2 \times f_y \left(1 - 0.59 \times \frac{\rho \times f_y}{f_c}\right)$$

$$90 \times 10^6 = 0.8 \times \rho \times 1100 \times 1619.5^2 \times 400 \left(1 - 0.59 \times \frac{\rho \times 400}{27.5}\right)$$

$$\rho = 0.0123$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$A_s = 0.0123 \times 1100 \times 1619.5 = 885.6 \text{ mm}^2$$

4.8.3. Memeriksa torsi

Torsi akibat beban luar : (sejarak $d = 1619.5$)

$$T_u = \frac{1619.5}{3 \times 20 \times 3 \times 0.2} = 10.6 \text{ kN}$$

Torsi dapat diabaikan jika:

$$\phi \sqrt{f_c} A^2$$

$$T_w < \frac{c}{12} \times \left(\frac{cp}{p_{cp}}\right)$$

$$0.75 \sqrt{400} \quad (200 \times 400)^2$$

$$T_w = \frac{0.75 \sqrt{400}}{12} \times \left[\frac{c}{(200 \times 2)(400 \times 2)} \right] = 1.67 \text{ kNm}$$

Karena $T_u = 10.6 \text{ kN} > 1.67 \text{ kNm}$ maka torsi perlu diperhitungkan

4.8.4. Menentukan tulangan geser

$$V = \left(\frac{\sqrt{f_c}}{c}\right) \times b \times d$$

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{27.5}}{6}\right) \times 1100 \times 1619.5 = 60 \text{ kN}$$

4.7.5. Joint Balok Kolom SRPMK

Ukuran balok $1700 \times 1000 \text{ mm}^2$ dan ukuran kolom $20000 \times 26000 \text{ mm}^2$.

Sesuai SNI 2847:2019. Luas penampang efektif dalam suatu *joint* A_j harus dihitung dari tinggi *joint* kali lebar kolom h . Lebar *joint* efektif harus



selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar joint efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) dan b):

- a) Lebar balok ditambah tinggi *joint*.
- b) Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.

1. Memeriksa Tulangan Transversal

Terdapat empat buah balok yang merangka pada keempat sisi HBK. Lebar balok 1100 mm menutupi $\frac{3}{4}$ lebar kolom ($\frac{3}{4} \times 1100 = 825 \text{ mm}$). Sesuai SNI 2847: 2019 Bila pada keempat sisi joint terdapat balok yang merangka kepadanya dan bila lebar dari setiap balok tersebut setidaknya tiga perempat lebar kolom, maka jumlah tulangan yang diperlukan diizinkan untuk direduksi setengahnya dan spasi yang diisyaratkan diizinkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian balok h yang terendah yang merangkap pada *joint* tersebut.

Jumlah tulangan transversal dapat diambil $1/2$ dari kebutuhan tulangan transversal pada daerah sendi plastis kolom.

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,5 \times 4,7 = 2,35 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jarak tulangan transversal dapat diambil 150 mm, sehingga

$$A_{sh} = 150(2,35) = 352,5 \text{ mm}^2$$

Dipasang 3 kaki D13 ($A_{sh} = 398,12 \text{ mm}^2$) dengan jarak 150 mm.

2. Menganalisis Kuat Geser Balok (M_{pr})

- a. M_{pr} untuk tulangan 7D29 sisi atas

$$a = \frac{A_s \times 1,25 f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{7(490) \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 27,5 \times 1100} = 179,35 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = A_s (1,25 f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^+ &= 7(490)(1,25 \times 400) \left(1619,5 - \frac{179,35}{2} \right) = 853.769.875 \text{ N.mm} \\ &= 853,77 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- b. M_{pr} untuk tulangan 4D16 sisi bawah

$$a = \frac{A_s \times 1,25 f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{4(490) \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 25 \times 1100} = 102,48 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = A_s (1,25 f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{pr} = 4(490)(1,25 \times 400) \left(1619,5 - \frac{102,48}{2} \right) = 525.534.800 \text{ N.mm}$$

$$= 525,53 \text{ kN.m}$$

4.8. Penulangan Kolom

4.9.1. Data Perencanaan Kolom

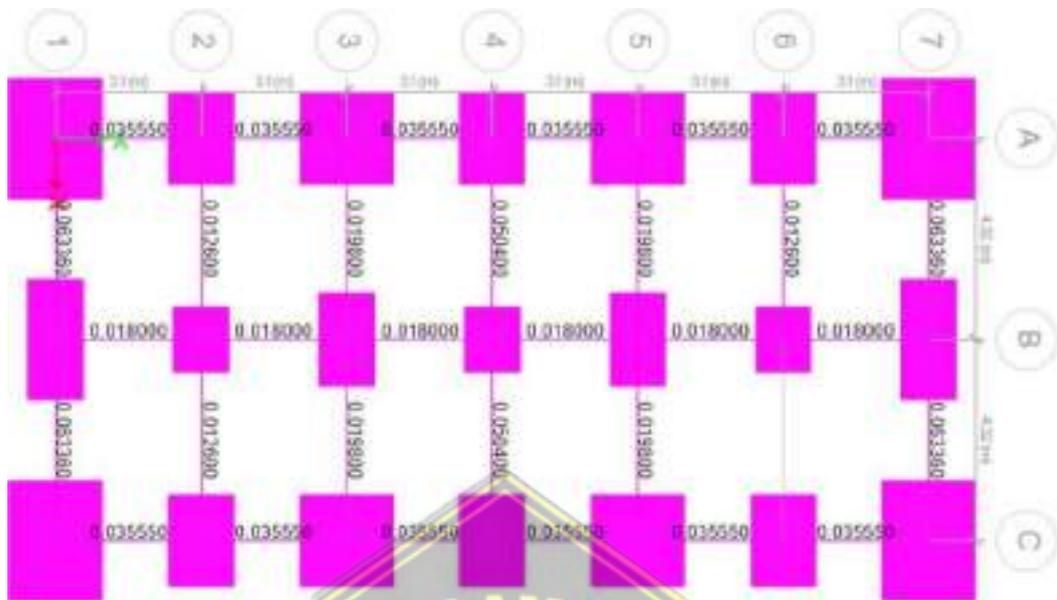
Tabel 4.12
Perencanaan Kolom

No.	Perencanaan	Besaran		Ukuran	Satuan
1.	Tinggi kolom	(L)	=	410.0	cm
2.	Tinggi bersih kolom	(Ln)	=	410.0	cm
3.	Dimensi kolom	(H)	=	200.0 × 260.0	cm
4.	Mutu beton	f_c'	=	27.5	MPa
5.	Mutu baja	f_y	=	400.0	MPa
6.	Diameter memanjang	D_m	=	D 32	mm
7.	Diameter sengkang	D_s	=	D 16	mm
				$H - p - D_s - \frac{D}{2}$	mm
8.	Tinggi efektif	(d)	=	$200 - 41 - 16 - \frac{32}{2}$	
				127	mm

(Sumber: Data primer penelitian, 2022)

4.9.2. Menghitung Sisa Muka Kolom yang Tidak Terlingkup Balok

Tinggi *joint* yang diperlukan adalah ukuran sejajar dengan tulangan longitudinal penyebab geser. dimensi kolom yaitu $20000 \times 26000 \text{ mm}^2$ tinggi joint $h = 41000 \text{ mm}$. Lebar balok yang merangkap ke kolom $b = 1100$ (seragam dengan ukuran balok).



Gambar 4.28. Desain balok – kolom bangunan

Sisa muka kolom yang tidak terlingkup balok. Jika balok tepat melalui As dari kolom sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Sisa muka kolom yang tidak terlingkup balok} &= \frac{(\text{lebar kolom} - \text{lebar balok})}{2} \\ x &= \frac{(h - b)}{2} \\ x &= \frac{(20000 - 1100)}{2} \\ x &= 9450 \text{ mm} \end{aligned}$$

1. Menghitung *joint* efektif

Lebar *joint* efektif

$$b_e = b + h$$

$$b_e = 1100 + 20000 = 21100 \text{ mm}$$

Kontrol nilai untuk batas atas

$$\leq b + 2x$$

$$\leq 1100 + 2(9450) = 20000 \text{ mm}$$

Luas *joint* efektif

$$A_j = h_e \times b_e$$

$$A_j = 20000 \times 21100 = 522.000 \text{ mm}^2$$

4.9.3. Kuat Geser Kolom M_c

Kolom memiliki kekakuan yang sama, maka faktor distribusi DF adalah sebesar 0,5 dan momen yang timbul pada kolom di atas HBK adalah:

$$M_c = 0,5(M_{pr}^+ + M_{pr}^-)$$

$$M_c = 0,5(853,77 + 525,53) = 689,65 \text{ kN.m}$$

Gaya geser dari kolom sebelah atas adalah sebesar:

$$V_{goyangan} = \frac{\text{momen tepi atas HBK} + \text{momen tepi bawah HBK}}{\text{panjang kolom}}$$

$$V_{goyangan} = \frac{689,65 + 689,65}{2,6} = 394,09 \text{ kN}$$

Luas tulangan atas adalah ($A_s = 3.430 \text{ mm}^2$), sehingga gaya yang bekerja pada tulangan atas pada sebelah kiri HBK adalah:

$$T_1 = 1,25A_s f_y = 1,25(3.430(400)) = 1.715.000 \text{ N} = 1.715 \text{ kN}$$

Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kiri HBK, sebesar:

$$C_1 = T_1 = 1.715 \text{ kN}$$

Dengan cara yang sama untuk sisi kanan HBK:

($A_s = 4D25 = 1.960 \text{ mm}^2$) diperoleh

$$T_2 = C_2 = 1,25(1.960)(400) = 980.000 \text{ N} = 980 \text{ kN}$$

4.9.4. Keseimbangan Gaya dalam Arah Horizontal

$$V_j = T_1 + C_2 - V_{goyangan} = 1.715 + 980 - 394,09 = 2.300,91 \text{ kN}$$

Kuat geser dari HBK yang dikekang keempat sisi adalah:

$$V_n = \frac{V_j}{1,7\sqrt{f'_c}} = \frac{2.300,91}{1,7\sqrt{27,5}} = 3.060.000 \text{ N} = 3.060 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,85V_n = 0,85(3.060) = 2.601 \text{ kN} > V_j$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 kuat geser nominal HBK untuk beton normal diambil tidak melebihi dari:

- $1,7\lambda\sqrt{f'_c}A$ HBK yang terkekang keempat sisinya;

- b. $1,2\lambda\sqrt{f'_c A_j}$ HBK terkekang ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan
- c. $1,0\lambda\sqrt{f'_c A_j}$ HBK yang lainnya
- d. A_j merupakan luas efektif dari HBK dan $\lambda = 0,75$ untuk beton ringan. Sehingga dimensi pada HBK mencukupi dan dipasang 3 kaki D13 dengan jarak 150 mm pada daerah hubungan balok-kolom.

4.9.5. Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom terhadap Beban Aksial Terfaktor

Tabel 4.13. Gaya Aksial Lentur

Kondisi	P (kN)	$M2$ (kN – m)	$M3$ (kN – m)
P max	20,319	-2,462	262,472
P min	-19,810	-0,695	258,662
$M2$ Max	-4,741	214,748	-70,103
$M2$ Min	0,857	-214,179	-3,529
$M3$ Max	19,912	44,209	287,845
$M3$ Min	19,909	-49,996	-290,275

(Sumber: *Elemen force column* ETABS, 2023)

4.9.6. Perilaku Struktur *Strong Column Weak Beam*

Konsep *strong column weak beam* didasarkan pada momen nominal dari balok yang mengekang kolom. Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2, kuat lentur setiap kolom harus memenuhi atau lebih besar 1,2 kali hasil tahanan lentur dari balok (konsep desain kapasitas) dan hasil analisa kolom desain adalah sebagai berikut baik untuk join atas maupun join bawah. Kapasitas penampang beton bertulang untuk menahan kombinasi gaya aksial dan momen lentur dapat digambarkan dalam suatu bentuk kurva interaksi antara kedua gaya tersebut, disebut diagram interaksi $P - M$ kolom. Setiap titik dalam kurva tersebut menunjukkan kombinasi kekuatannya nominal P_n (atau $f P_n$) dan momen nominal M_n (atau $f M_n$) yang sesuai dengan lokasi sumbu netralnya. Diagram interaksi ini dapat dibagi

menjadi dua daerah, yaitu daerah yang ditentukan oleh keruntuhan tarik dan daerah yang ditentukan oleh keruntuhan tekan, dengan pembatasnya adalah titik seimbang (*balanced*).

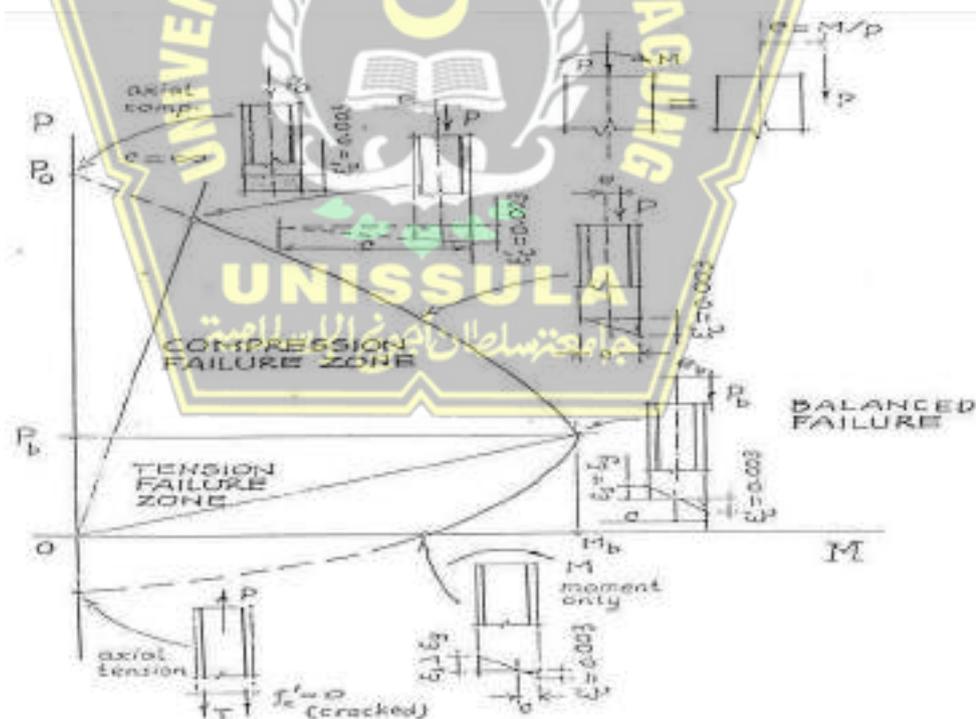
Kapasitas maksimum (P_o) dari kolom: (kolom sentris)

$$P_o = 0.85 \times f'_c \times (A_g - A_s) + A_{st} \times f_y$$

$$P_o = 0.85 \times 27.5 \times (200 \times 260 - 2280.8) + 2280.8 \times 400 = 2074,506 \text{ kN}$$

4.10. Diagram Interaksi P-M Kolom

Kapasitas penampang beton bertulang untuk menahan kombinasi gaya aksial dan momen lentur dapat digambarkan dalam suatu kurva interaksi antara kedua gaya tersebut. Setiap titik dalam kurva menunjukkan kombinasi kekuatan gaya nominal P_n dan momen nominal M_n yang sesuai dengan lokasi sumbu netralnya. Diagram interaksi P-M dapat dibagi menjadi dua daerah yaitu daerah yang ditentukan oleh keruntuhan tarik dan daerah yang ditentukan oleh keruntuhan tekan, dengan pembatasnya adalah titik seimbang (*balance*).



Gambar 4.28. Diagram Interaksi P-M Kolom

Kapasitas maksimum (P_o) dari kolom: (kolom sentris)

$$P_o = 0.85 \times f'_c \times (A_g - A_s) + A_{st} \times f_y$$

$$P_o = 0.85 \times 27.5 \times (200 \times 260 - 2280.8) + 2280.8 \times 400 \\ = 2074,506 \text{ kN}$$

Kekuatan nominal maksimum penampang kolom

$$P_n(max) = 0.80P_o = 0.80 \times 2074,506 = 1659.605 \text{ kN}$$

Kuat tekan rencana kolom:

$$\phi P_n(max) = \phi \cdot 0.80P_o = 0.65 \times 1659.605 \text{ kN} = 1078.743 \text{ kN}$$

Kapasitas penampang pada kondisi seimbang (*balanced*)

$$P_{nb} = (0.85 \times f'_c \times a_b \times b) + (A'_s \times f'_s) - (A_s \times f_y)$$

$$P_{nb} = 0.85 \times 27.5 \times 374.45 \times 1100 = 5.960.672 \text{ N}$$

$$P_{nb} = 5.960,67 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = (0.85 \times f'_c \times a_b \times b) \times (y - \frac{a_b}{2}) + [(A'_s \times f'_s) \times (y - d)] \\ + [(A_s \times f_y) \times (d - y)]$$

$$M_{nb} = (5445 \times 374.45) + (38 \times 787 \times 208) + (88951 \times 208) \\ = 26761136 \text{ N}$$

$$M_{nb} = 267.76 \text{ kNm}$$

Eksentrisitas pada kondisi seimbang

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{267.76 \text{ kNm}}{5.960,67 \text{ kN}} = 0.04479 \text{ m} = 44.80 \text{ mm}$$

$$\phi P_{nb} = 0.65 \times 5.960,67 \text{ kN} = 3874.4 \text{ kN}$$

$$\phi M_{nb} = 0.65 \times 267.76 \text{ kN} = 174.04 \text{ kN}$$

Kapasitas penampang pada kondisi momen murni : ($P=0$) ditentukan dengan uji coba penampang balok dengan tulangan tunggal

$$M_n = (A_s \times f_y) \times [(d - 0.59) \times (\frac{A_s \times f_y}{f'_c \times b})]$$

$$1140.4 \times 400$$

$$M_n = (1140.4 \times 400) \times [(1619.5 - 0.59) \times (\frac{1}{27.5 \times 1100})]$$
$$= 176.5 \text{ kNm}$$



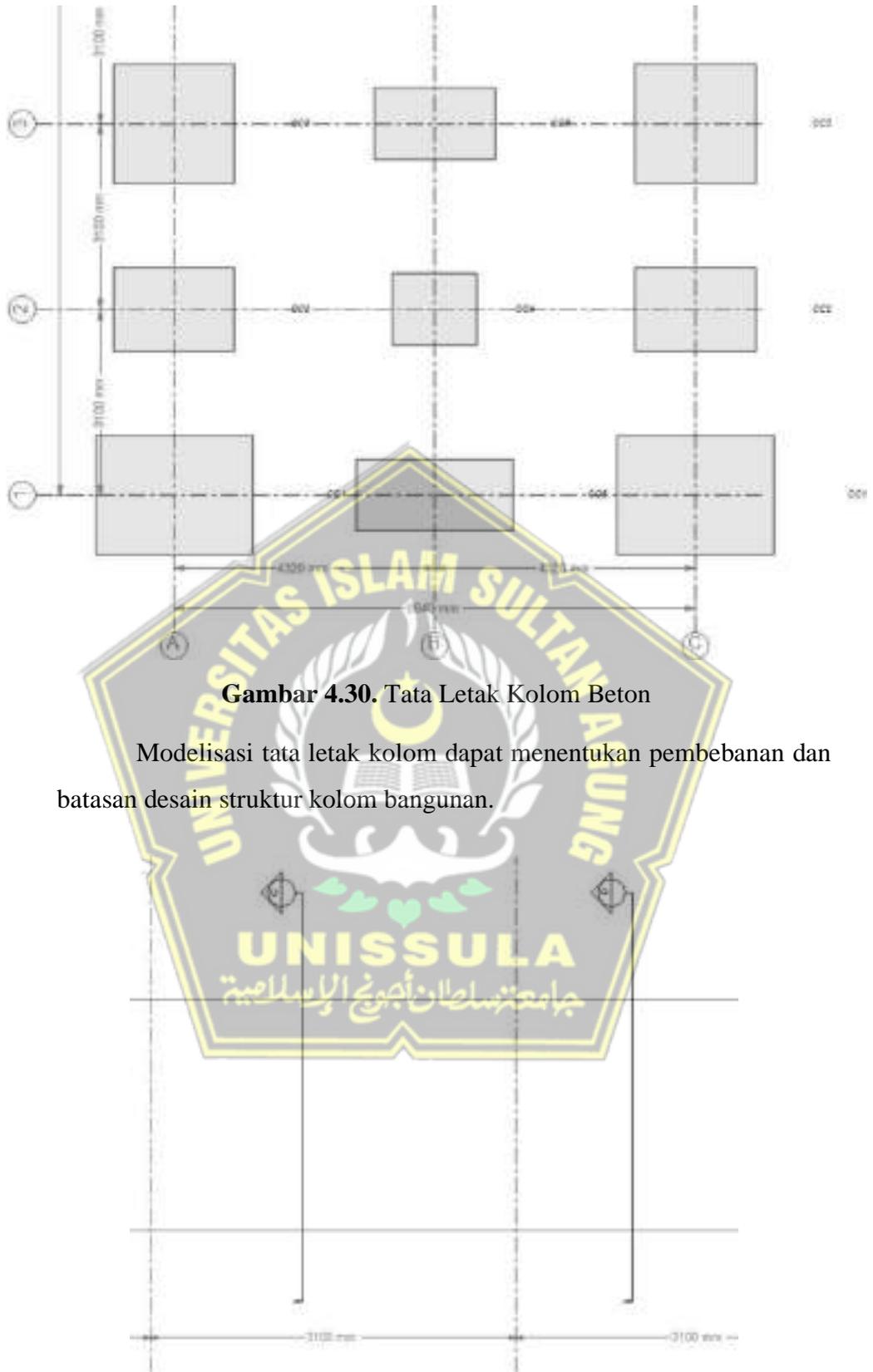
4.11. *Drawing Pemodelan Struktur*

Keluaran detail dari model ETABS diolah menggunakan CsiDetail. Model detail struktur berdasarkan model analisis ETABS menghasilkan gambar yang dapat digunakan sebagai dasar untuk menyiapkan gambarteknik akhir



Gambar 4.29. Tata Letak Balok Beton

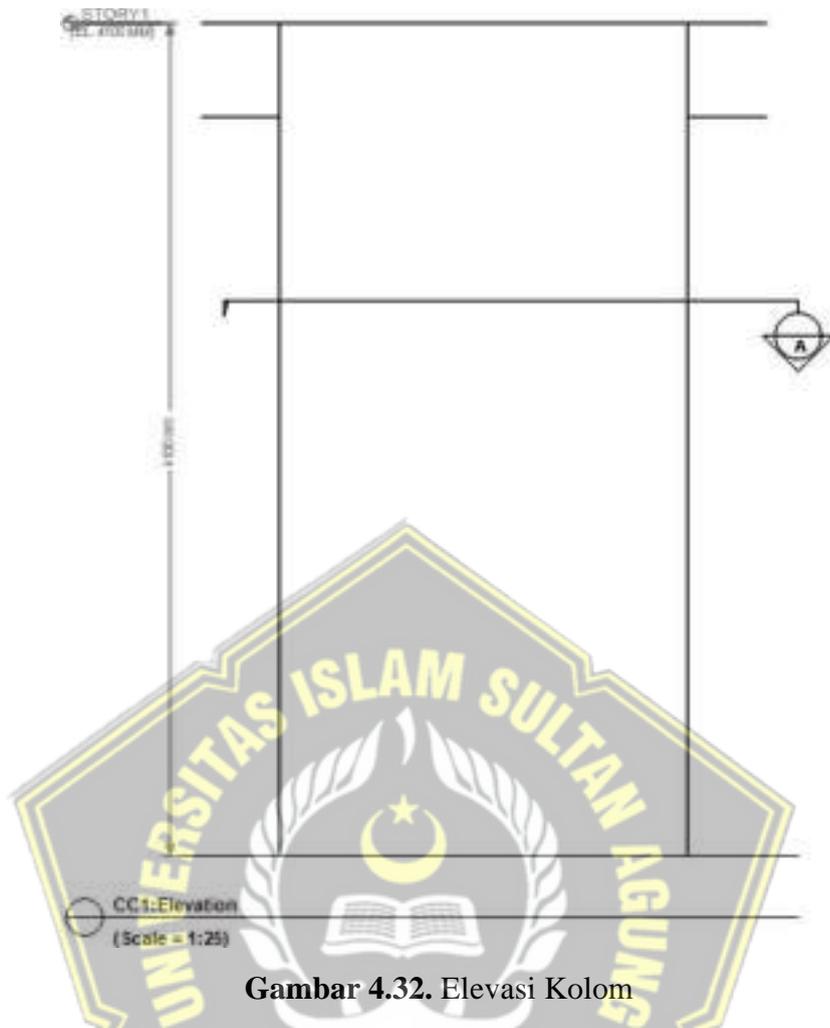
Tata letak pada balok beton bertulang dengan diameter berbeda bertujuan untuk mengetahui perilaku dan posisi tata letak yang menghasilkan kapasitas beban dan daktilitas yang maksimum.



Gambar 4.30. Tata Letak Kolom Beton

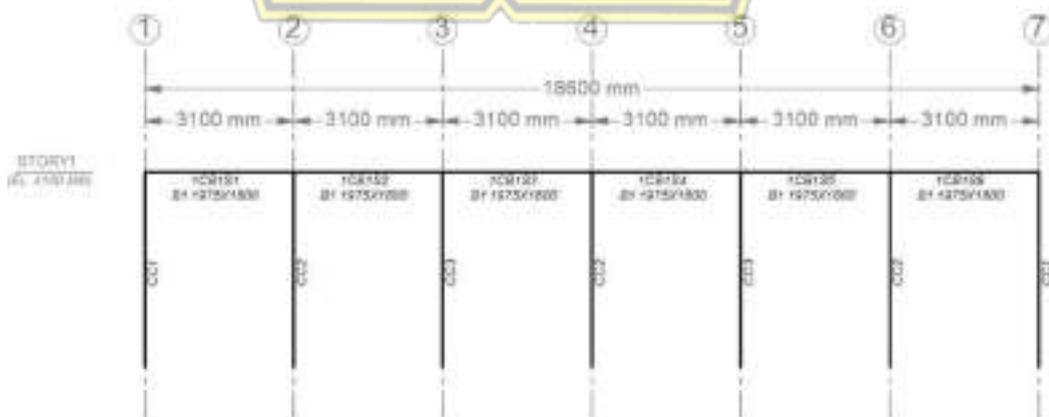
Modelisasi tata letak kolom dapat menentukan pembebanan dan batasan desain struktur kolom bangunan.

Gambar 4.31. Elevasi Balok



Gambar 4.32. Elevasi Kolom

Ketinggian kolom sesuai elevasi rencana. Garis pinjaman, berupa garis sejauh 1 m dari as kolom, sedangkan pinjaman elevasi bisa berupa garis setinggi 1m dari finishing lantai. Pinjaman berfungsi untuk mempermudah pengukuran



Gambar 4.33. Frame Detail

Tabel 4.14. Ukuran Tulangan Beton

Kode Bar	Luar Area (mm^2)	Diameter Tulangan (mm)
A	28 mm^2	6 mm
B	50 mm^2	8 mm
C	79 mm^2	10 mm
D	113 mm^2	12 mm
E	154 mm^2	14 mm
F	201 mm^2	16 mm
G	255 mm^2	18 mm
H	314 mm^2	20 mm
I	380 mm^2	22 mm
J	491 mm^2	25 mm
K	531 mm^2	26 mm
L	616 mm^2	28 mm
M	804 mm^2	32 mm
N	1018 mm^2	36 mm
O	1257 mm^2	40 mm
P	1964 mm^2	50 mm

(Sumber: Data CsiDetail Penelitian, 2023)

Tabel ukuran dan berat besi beton sesuai standar SNI. Ukuran nominal standar dari ukuran yang telah ditetapkan sebelumnya. Ukuran diameter disesuaikan dengan toleransi besi beton SNI dengan penyimpangan kebulatan maksimum 70% dari batas toleransi.

Tabel 4.15. Pemilihan Tulangan untuk Balok

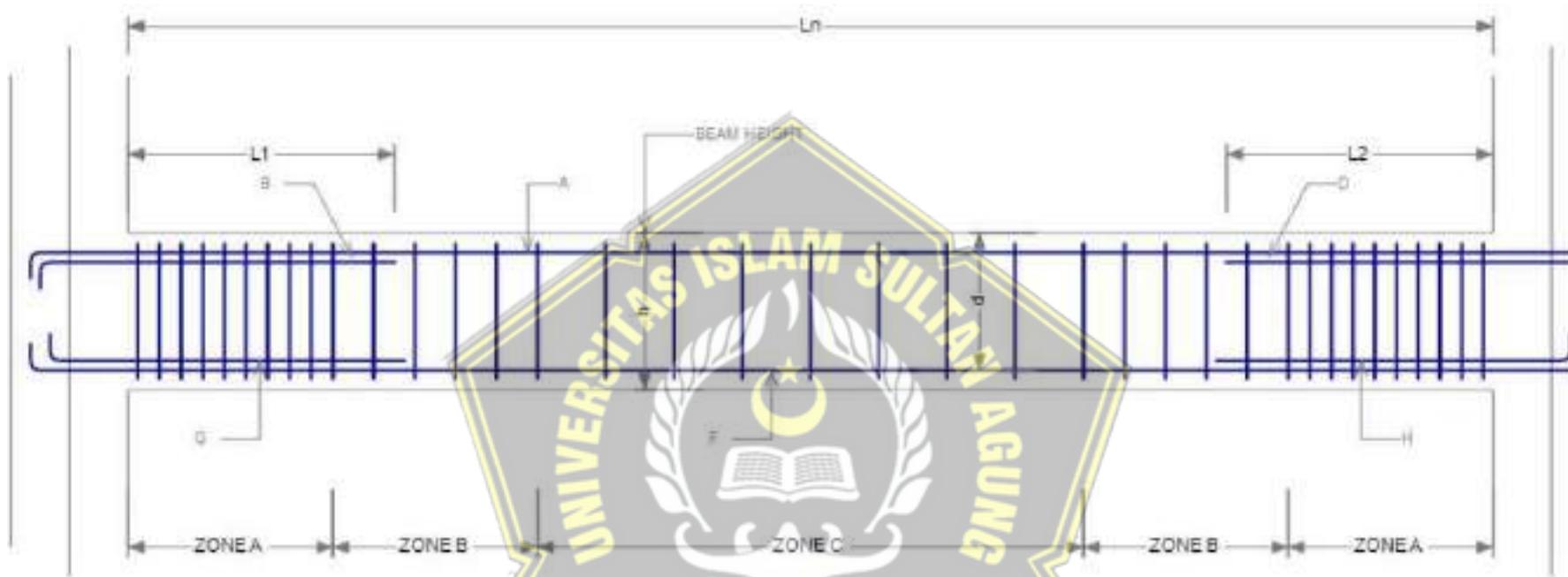
Tulangan Longitudinal									Tulangan Sengkang		
Bagian	A	B	C	D	E	F	G	H	Zona A	Zona B	Zona C
Ukuran tulangan											
Tulangan terkecil	14	14	14	14	14	14	14	14	10	10	10
Tulangan terbesar	28	28	28	28	28	28	28	28	20	20	20
Tulangan direkomendasikan	20	20	20	20	20	20	20	20	14	14	14
Jumlah dan spasi Tulangan											
Jumlah minimum tulangan	2	0	2	0	2	2	0	0			
Spasi minimal									75	75	75
Spasi maksimal									150	450	450
Spasi maksimal (faktor d)									0.25	0.5	0.5
Spasi maksimal (faktor db)									6		
Panjang zona (faktor db)									2		
Jumlah minimal sengkang									2	2	2
Jumlah maksimal sengkang									4	4	4
Jenis sengkang									135 Deg	135 Deg	135 Deg

(Sumber: Data CsiDetail Penelitian, 2023)

Syarat maksimum sengkang berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10, spasi tidak boleh melebihi :

1. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil
2. 24 kali diameter sengkang ikat
3. 300 mm





Gambar 4.34. Typical Elevasi Tulangan Balok

Perencanaan balok untuk jenis dan jarak sengkang. Panjang Zona A dua kali tinggi balok, d . Sengkang pertama di zona A ditempatkan maksimal 50 mm dari permukaan penyangga. Sambungan lewatan tidak ditempatkan di dalam balok dan sambungan kolom dalam jarak A $2H$. Panjang sambungan putaran tidak kurang dari 300mm.

Tabel 4.13. Pemilihan Tulangan untuk Kolom

Tulangan Longitudinal	Ikatan			
	Zona A	Zona B	Zona C	
Ukuran Tulangan				
Tulangan terkecil	16	10	10	10
Tulangan terbesar	32	20	20	20
Tulangan direkomendasikan	20	10	10	10
Jumlah dan spasi Tulangan				
Jumlah mimimum tulangan	4			
Spasi minimal		75	75	75
Spasi maksimal		150	450	450
Spasi maksimal (faktor d)		0.25	0.5	1

(Sumber: Data CsiDetail Penelitian, 2023)

Kolom sebagai struktur utama bangunan memegang peranan yang sangat penting dalam bangunan tahan gempa. Adanya peraturan yang terus diperbarui mengharuskan evaluasi terhadap kekuatan dan detailing tulangan kolom bangunan yang ada perlu dilakukan sesuai dengan peraturan terbaru yaitu SNI 2847:2019. Batang tulangan longitudinal offset dengan cara dibengkokkan memenuhi:

1. Kemiringan bagian batang tulangan miring offset dengan sumbu kolom tidak melebihi 1 banding 6;
2. Bagian batang tulangan di atas dan di bawah suatu pergeseran sejajar terhadap sumbu kolom;
3. Tumpuan horizontal pada bengkokan offset disediakan oleh pengikat transversal, spiral, atau bagian konstruksi lantai.

BAB V

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya diperoleh kesimpulan:

1. Analisis struktur bangunan sesuai SNI 2847:2019
 - a. Metode yang digunakan adalah *Design Direct Method* (DDM). Join balok-kolom SRPMK pada tulangan transversal Dipasang 3 kaki D13 ($A_{sh} = 398,12 \text{ mm}^2$) dengan jarak 150 mm.
 - b. Keseimbangan gaya pada arah horisontal dimensi pada HBK mencukupi dan dipasang 3 kaki D13 dengan jarak 150 mm pada daerah hubungan balok-kolom.
2. Perencanaan struktur atas menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
 - a. Lebar balok (B) = 1100, lebih besar dari syarat minimal yaitu 250 mm dan kurang dari 0.75 tinggi balok (1700), sehingga syarat dimensi balok terpenuhi;
 - b. P_u yang diperoleh dari hasil perhitungan ETABS lebih kecil dari gaya normal yang diisyaratkan ($166.9 \text{ kN} < 5142.5 \text{ kN}$), sehingga komponen struktur dapat direncanakan sebagai elemen lentur balok;
 - c. Syarat bentang bersih minimum elemen lentur terpenuhi ($14070 > 6478$) karena jika bentang terlalu pendek maka potensi terjadinya sendi plastis akan semakin mudah
 - d. Kolom memiliki kekakuan yang sama, maka faktor distribusi DF adalah sebesar 0,5 dan momen yang timbul pada kolom di atas HBK adalah $V_{goyangan} = 394,09 \text{ kN}$.
 - e. Luas tulangan atas adalah ($A_s = 3.430 \text{ mm}^2$), sehingga gaya yang bekerja pada tulangan atas pada sebelah kiri HBK adalah ($T_1 = 1.715 \text{ kN}$) sisi kanan HBK ($T_2 = 980 \text{ kN}$).

DAFTAR PUSTAKA

- Abuhassan, I., & Nasereddin, H. H. O. (2011). "Cutting Stock Problem : Solution Behaviors". *International Journal of Recent Research*, 6(4), 429–433.
- Arikunto, S. (2019). *Prosedur Penelitian*. Jakarta: Rineka cipta.
- Dipohusodo, Istimawan.1996. *Manajemen Proyek & Konstruksi*. Kanisius. Jogjakarta.
- Djunaidi, Samuel Eric dan Doddy Prayogo. (2021). Optimasi Pemotongan Besi Tulangan pada Proyek Kompleks Pergudangan Menggunakan *Integer Linear Programming*. *Dimensi Utama Teknik Sipil*, Vol.8, No.2, 84-94.
- Ervianto, I.W. (2005). *Manajemen Proyek Konstruksi Edisi Revisi*. Yogyakarta. Andi.
- Kork, M. A. N., Hartono, W., & Sugiyarto. (2013). "Memperhitungkan Optimasi Waste Besi pada Pekerjaan Balok dengan Program Microsoft Excel". *Matriks Teknik Sipil*, 1(3), 290–295.
- Muka, I Wayan, Made Adi Widyatmika dan I Made Nova Antara. (2020). Analisis Perbandingan Waste Besi Tulangan Metode Konvensional dengan *Software Cutting Optimization Pro. Teknika*, Vol.15, No.2, 41-49.
- Formoso, C. T., Asce, L. S. M., Cesare, C. De, & Isatto, E. L. (2003). "Material Waste in Building Industry : Main Causes And Prevention". *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(4), 316–325.
- Hardjasapurta, H., 2016. *Perancangan Beton Struktural Berdasarkan Model Strat dan Pengikat (Strut-and-Tie Model) SNI 2847:2013*. Jakarta: Ref Graphika
- Poon, C.S., Yu, A.T.W and Ng, L.H. (2001). On-Site Sorting of Construction and Demolition Waste in Hong Kong, *Resource Conservation and Recycling*, 32, pp 157-172.
- Purwosri, V. P., & Hartono, W. (2017). "Penghitungan Optimasi Baja Tulangan pada Pekerjaan Pelat dan Balok dengan Menggunakan Microsoft Excel dan Autocad (Studi Kasus Pembangunan Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya)". *Matriks Teknik Sipil*, 5(3), 1102–111.

- Rizky, Muhammad. (2018). Analisis Perbandingan Volume dan Biaya Bar Bending Schedule dengan Metode SNI 2847:2013 dan BS 8666:2005 (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Showroom Wahana Medan Sunggal). *Tugas Akhir*. Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Schlaich, J., Schäfer, K., and Jenewin, M., 1984, 1989, 1993. *Konstruieren in Stahlbeton. Beton Kalender*. Berlin- Munich: Wilhem Ernst & Son
- Soeharto I, (1995), *Manajemen proyek dari konseptual sampai operasional*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Utomo, Hardi, 2002, *Komponen Perancangan Arsitektur. Lansekap*. Jakarta; Bumi Aksara

