

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 Bagus Pengestu
NIM: 30201800030**

**David Cahyo Ferianto
NIM: 30201800038**

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

2023

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 / I / 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	ACC
2	Seminar Proposal	28 Juli 2022	
3	Pengumpulan data	29 Juli 2022	
4	Analisis data	1 November 2022	
5	Penyusunan laporan	8 November 2022	ACC
6	Selesai laporan	28 Februari 2023	

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

Dosen Pembimbing Utama



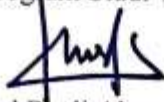
Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

Dosen Pembimbing Pendamping



Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Avtrian Dimas Bagus 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 ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

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

Demikian pernyataan ini kami buat.

Semarang, /Januari/2023

Yang membuat pernyataan,

Avtrian Dimas Bagus Pangestu

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

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 sepuh 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 Bagus 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

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 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 Ferianto 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

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran 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



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 Situs	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

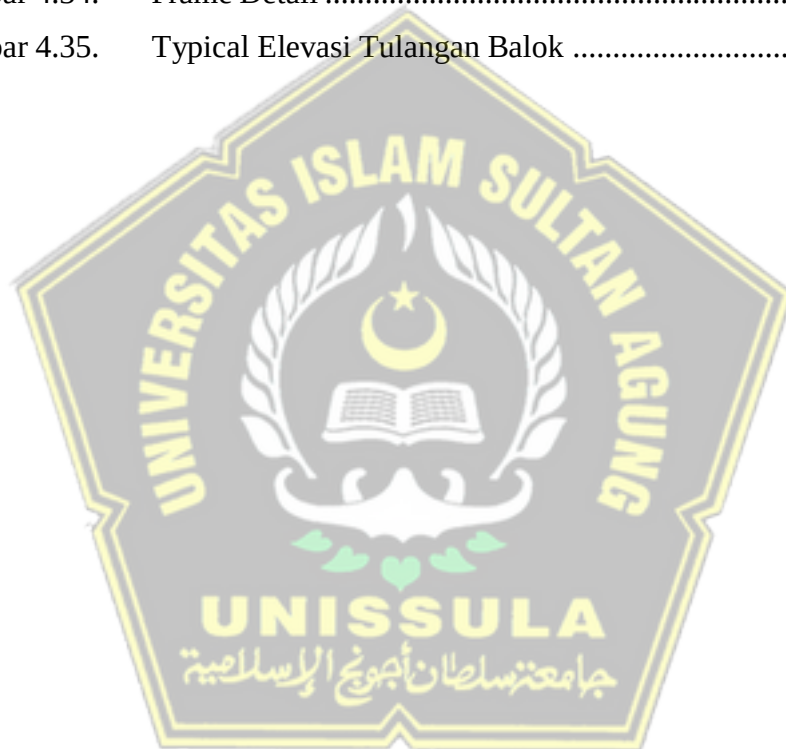
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1.	Pengertian Umum	15
3.2.	Tipe Penelitian	15
3.3.	Teknik Pengumpulan Data	15
3.4.	Tahap Persiapan	15
3.5.	Metode Analisis Data	16
3.6.	Metode Pengolahan Data	17
3.7.	Pemecahan Masalah	18
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	20
4.1.	Deskripsi Bangunan	20
4.2.	Pra-Dimensi dan Pemodelan Struktur	21
4.2.1.	Permodelan Struktur	22
4.2.2.	Mutu dan Bahan	22
4.3.	<i>Modelling</i> Etabs V.18	23
4.3.1.	Inisiasi Model Struktur Bangunan	23
4.3.2.	<i>Input Material Properties</i>	23
4.3.3.	<i>Input Frame Section</i> (Elemen Struktur)	24
4.3.4.	<i>Input Beban Gempa Respons Spektrum</i>	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_d 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_c	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 Collumn 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</i> Data Respons Spektrum	33
Gambar 4.22.	Penambahan <i>Load Case</i> Data 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 1a dan 1b	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 Horisontal	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

ABSTRAK

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.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bangunan dibangun menggunakan metode konstruksi yang mirip dengan yang digunakan untuk smelter. Bangunan dengan struktur utama beton bertulang adalah bangunan kebanyakan dari bangunan peleburan. Besi beton dengan panjang yang besar, semen, pasir, dan bahan lainnya diperlukan untuk struktur beton dengan bentuk melengkung. Material yang terbuat dari besi tulangan beton (rebar) merupakan salah satu komponen struktural dengan pengembalian investasi yang menguntungkan sekitar 20 sampai 30 persen dari biaya proyek (Formoso, Asce, Cesare, & Isatto, 2003). Beton baja adalah bahan bangunan yang paling umum digunakan dalam struktur apa pun yang dibangun selama proses betonning. Perluasan penggunaan baja sebagai tulangan beton dalam hubungannya dengan teknologi sangat dekat dengan tingkat kebutuhan. Ini merupakan tantangan bagi mereka yang menggunakan teknologi sipil khususnya untuk dapat merancang beton dengan akurasi dan keandalan yang lebih tinggi sambil menghindari pencantuman sifat ekonomis.

Gaya-gaya dari struktur runtuh ke sayap kelelawar (beban pamungkas). Sebaliknya, penerapan standar metode kinematik pada desain yang ada karena hasil model yang digunakan hanya dapat dikatakan konsisten dengan keadaan saat ini. Saat ini, "model strut and tie" adalah model yang paling konsisten dan logis dalam konteks struktur beton (STM). STM adalah suatu metode perancangan yang didasarkan pada asumsi bahwa aliran gaya-gaya pada struktur beton, khususnya pada lingkungan terdistorsi, dapat diperlakukan sebagai suatu sistem rentang batang yang terdiri dari struts (disebut juga tekan atau penunjang batang) dan tie (batang tarik atau pengikat). Oleh karena itu strut and tie merupakan hasil dari tegangan padang. Penyangga kerja terbuat dari beton, sedangkan pengikat kerja terbuat dari tulangan yang sedang apasang.

Pile caps memiliki kemampuan untuk mengirimkan beban ke tiang tiang (pile group). Pemasangan pile cap harus dilakukan secara hati-hati dan efektif untuk

mencegah terjadinya patah atau pergeseran (satu arah maupun dua arah). Desain pile cap juga harus memenuhi kebutuhan agar tidak terjadi boros. Untuk alasan ini, perhitungan yang teliti diperlukan untuk pengukuran yang akurat dari dimensi pile cap, tebal pile cap, dan elongasi pile cap. Dua jenis bahan bangunan penyusun beton bertulang adalah beton polos dan tulangan baja. Beton polos merupakan bahan yang memiliki kekenyalan tekan yang tinggi namun kekenyalan tarik yang rendah sehingga menjadi bahan bangunan yang banyak diminati. Sebaliknya, tulangan baja akan memberikan kekuatan tarik yang cukup besar, maka tulangan baja akan memberikan kekuatan tarik yang dibutuhkan. Konfigurasi antara beton dan tulangan baja diharapkan dapat bekerja sama menahan gaya-gaya yang aktif pada struktur yang bersangkutan, dimana gaya tekan ditahan oleh beton dan gaya tarik ditahan oleh tulangan baja. Agar suatu ruangan dapat mencakup bangunan bangunan, seperti bangunan mati, bangunan hidup, bangunan angin, bangunan gempa, dan bangunan lainnya, maka sistem struktur dalam ruangan adalah struktur tata letak.

Dalam industri penggalian mineral logam, smelter merupakan salah satu komponen dari proses produksi. Mineral yang diekstraksi dari udara biasanya memiliki konsentrasi bahan limbah yang tinggi yang tidak diinginkan. Saat ini, bahan baku tersebut harus dibuang, selain dilebur di smelter. Tujuan smelter adalah untuk meningkatkan kandungan logam seperti timah, nikel, tembaga, emas, dan perak ke tingkat yang memenuhi standar sebagai bahan baku produk tahap selanjutnya. Proses tersebut memerlukan ekstraksi mineral logam dari pemurnian dan pengotor.

Mesin bangunan yang digunakan untuk mengubah bahan mentah menjadi bahan bangunan yang dapat digunakan adalah bangunan peleburan banyak gresik. Material yang digunakan dalam smelter adalah material yang ditujukan untuk keperluan industri. Penjeratan akan dipengaruhi oleh beban yang bergetar, beban ini disebabkan oleh gaya mesin yang tidak seimbang dan sistem statis beban, jika harus menopang beban berupa mesin, dan ini akan dikenal adanya (pondasi dan mesin). Pedestal tipe Pondasi dinamis digunakan pada bagian pembakaran mesin smelter. Bising khusus ini adalah struktur beton dengan inti tengah yang terbuat dari balok dan kolom yang dipasang di pelat. Bagian atas kolom

dihubungkan ke pelat atas sehingga lantai dapat ditebuk untuk mengangkat mesin. Konstruksi cor in situ adalah metode yang digunakan untuk membangun alas dari jenis yang digunakan untuk kolam.

Untuk proyek yang digunakan, standar ICS 91.080.40 digunakan; namun untuk analisis tugas selanjutnya digunakan SNI 2847-2019 tentang sifat struktur beton dan SNI-1727:2019 tentang metode tata untuk 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

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 demi komponen, struktural dan non-struktural, serta data terkaitnya yang dianalisis menggunakan prosedur berdasarkan kinematika pada 0 atau menggunakan prosedur yang dipandu oleh tujuan memberikan keandalan yang konsisten dengan ketergantungan yang diinginkan. Sistem yang secara struktural rawan beban gempa harus didasarkan pada pernyataan target sesuai Tabel 2.2 dan 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 analitik yang digunakan harus mempertimbangkan pergerakan selama pengumpulan dan analisis data. Hanya proyek saat ini yang diperbolehkan menggunakan metode "pengujian sesuai 0", dan tidak diperbolehkan menggunakannya untuk membuat material baru menggunakan standar yang digunakan untuk struktur sistem pada umumnya.

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

Tabel 2.4. Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 - 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: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralisir $\bar{S}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - 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 $\bar{S}_u < 50$ 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 perioda 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_1					
	$S_1 \leq 0,25$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,75$	$S_1 = 1,0$	$S_1 = 1,25$	$S_1 \geq 1,5$
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. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Pengertian dari Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah suatu sistem rangka ruang dalam menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dirancang untuk daerah dengan risiko tinggi (wilayah gempa 5 dan 6). SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) adalah rancangan struktur beton dengan perhatian yang cermat terhadap detail yang menghasilkan struktur yang fleksibel (memiliki daktilitas yang tinggi). Diambilnya nilai $R > 1$ menunjukkan bahwa sedang diproduksi suatu rancangan pasca-elastis, atau suatu struktur yang mengalami kelelahan tanpa kehilangan kemampuan fungsionalnya. Hal ini karena faktor reduksi gaya gempa R dapat divariasikan sebanyak 8, yang berarti gaya gempa hanya bersifat elastis $1/8$.

Struktur beton dengan SRPMK telah dikembangkan sejak tahun 1960 (Blume et al., 1961), dan pertama kali penggunaan struktur tersebut di daerah dengan risiko gempa tinggi diamanatkan oleh Uniform Building Code (ICBO 1973). Saat ini SRPMK harus digunakan di daerah dengan risiko gempa tinggi (kategori desain sesimik D, E dan F dalam ASCE-7). SRPMK juga berlaku untuk kategori desain seismologi A, B, dan C, tetapi harus dipahami jika penerapannya tidak ekonomis. Untuk desain yang ekonomis dengan menggunakan SRPMK, panjang balok yang proporsional adalah 6 sampai 9 meter. Disarankan tidak lebih dari 6 meter untuk jarak antar lantai. Perlu diwaspadai kemungkinan cerita yang lembut untuk kontras yang tajam antara kedua garis.

2.10. Kolom Struktur Bangunan

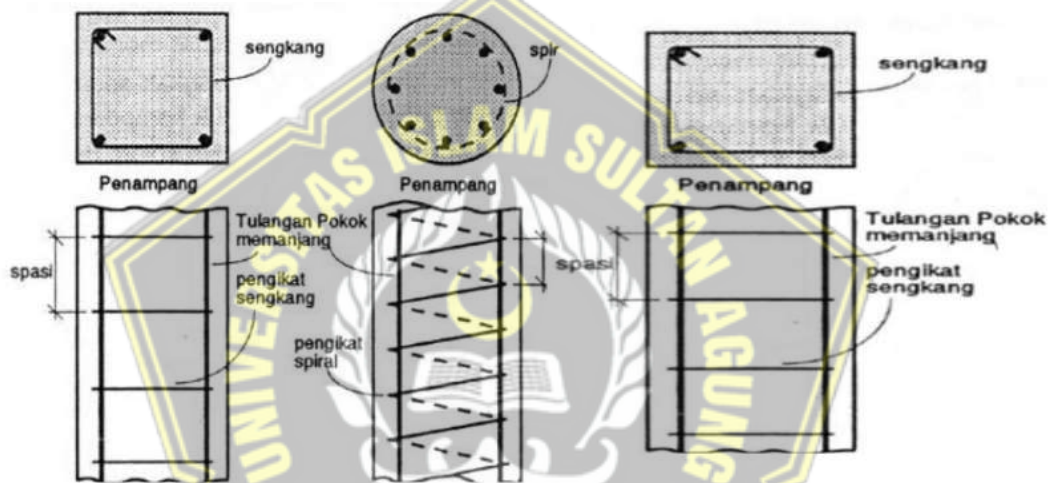
Suatu konstruksi bangunan akan aman dari kerusakan, baik akibat cuaca buruk maupun gangguan struktur, asalkan struktur dan penyusunnya memenuhi ketentuan jalan. Menurut “Cara Perhitungan Struktur Beton Gedung Gedung” Tata, salah satu komponen struktur gedung yang menonjol adalah beban aksial tekan vertikal bagian yang bahkan tidak mendekati tiga kali lipat dimensi sisi normal.

Sebaliknya, menurut Sudarmoko (1996), kolom adalah jenis struktur tekan tertentu yang menghubungkan aspek-aspek terpenting dari suatu bangunan tertentu. Akibatnya, setiap keruntuhan dalam kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan kegagalan total lantai dan bangunan. Struktur kolomnya terbuat dari

besi dan beton. Kedua material ini memiliki hubungan saudara yang sangat menguntungkan dimana besi merupakan material yang lemah terhadap tegangan sedangkan beton merupakan material yang lemah terhadap tekan.

Setiap jenis kolom akan masuk dalam salah satu dari tiga kategori jika dilihat dari bentuk dan derajat tulangnya. Diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Bujur sangkar dengan tulangan yang memanjang dan menyengkang;
2. Sebuah bundaran berbentuk spiral dengan manjang dan menyengkang tulang.
3. Kolom komposit, yaitu hubungan antara beton dan profil tipis sebagai penahan tulang agar tidak jatuh dari atas;



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

Untuk mencegah ukuran balok menjadi terlalu besar, kolom utama sering dilewati setinggi 3 meter. Jenis kolom ini memiliki garis tegak lurus yang sangat penting untuk menahan semua kantong vertikal bangunan.

2.11. Pembebanan Komponen Struktur

Struktur bangunan harus ditinjau selama konstruksi agar dapat menahan dengan baik setiap beban yang bekerja di atasnya. Sesuai dengan definisi beban dari Arah, beban juga dapat berupa beban gravitasi (beban vertikal) dan beban lateral (beban horizontal).

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah hasil dari setiap aspek proyek konstruksi yang dianggap bersifat suam-suam kuku, termasuk semua tambahan, mesin, dan peralatan tetap.

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah 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.

3. Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada suatu bangunan atau bagian dari suatu bangunan yang menimbulkan kerusakan pada tanah pembangkit gempa yang bersangkutan. Apabila gempa suatu struktur ditentukan berdasarkan analisis dinamik tertentu, maka hasilnya adalah apa yang dalam kalimat ini dikenal dengan istilah "beban gempa", yaitu gaya pada struktur akibat gempa yang bersangkutan.

Struktur yang kuat harus dibangun dengan menggunakan prinsip *capacity design* (desain kapasitas). Sesuai dengan prinsip *capacity design*, energi harus dimasukkan ke dalam struktur agar dapat berfungsi secara normal dan tidak mengalami keruntuhan ketika gempa kuat terjadi. Prinsip ini diterapkan melalui pengendalian terbentuknya sendi-sendi plastis pada lokasi yang relevan di seluruh bangunan, khususnya di ujung-ujung elemen balok..

2.12. Penyaluran Tulangan

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

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

Dan tidak kurang dari:

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

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

db : 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

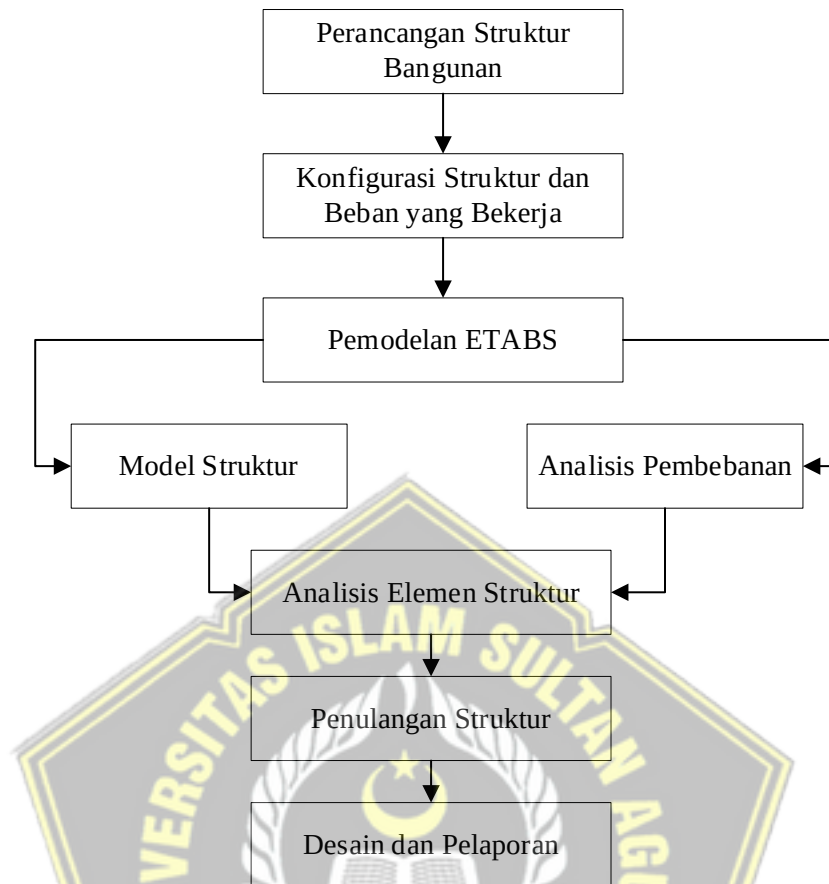
Jenis analisis yang dilakukan di sini adalah analisis eksperimental. Eksperimen adalah satu metode untuk membantu studi saat ini meneliti dampak perubahan metode tertentu, diikuti dengan perbandingan hasilnya.

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. Metode Analisis Data



Gambar 3.2. Tahapan Analisis Data

3.5. 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

Komponen struktur atas adalah pelat lantai, balok anak, balok induk, dan kolom yang terbuat dari beton bertulang. Struktur yang terbuat dari beton bertulang menggunakan sistem konvensional, yaitu dua pelengkung yang dijungkirkan oleh balok beton bertulang. Balok-kolom-pelat dan arah-X dan arah-Y adalah dua komponen utama struktur penahan beban lateral sistem, yang masing-masing dikenal sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Beton Bertulang (R=8) seperti yang ditentukan oleh SNI aktif.

3. Standar dan Peraturan

Susunan pemerintahan saat ini didasarkan pada hukum, norma, dan asas yang berlaku di Indonesia, termasuk yang dituangkan dalam undang-undang 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.

3.6. Pemecahan Masalah

1. Sistem Lantai dan Balok

Dengan menggunakan pelat dua arah beton bertulang, struktur sistem penahan beban gravitasi lantai memanjang dari lantai soliter hingga atap lantai..

2. Sistem Struktur Atap

Dengan menggunakan pelat dua arah beton bertulang, struktur sistem penahan beban gravitasi lantai memanjang dari lantai soliter hingga atap lantai.

3. Sistem Penahan Gaya Lateral

Untuk menahan beban gempa bersyarat nominal, digunakan sistem struktur penahan gaya lateral gedung SNI-1726- 2012.

4. Pembebanan

Beban yang dimaksud meliputi beban angin, beban hidup, dan beban gempa.

5. Analisis Beban Gempa (Seismik)

Analisis dengan fokus pada respons dari analisis dinamis dan statis berhasil 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 terjadi secara bersamaan dalam dua sinar ortogonal (X dan Y) dan digabungkan dengan beban gravitasi.

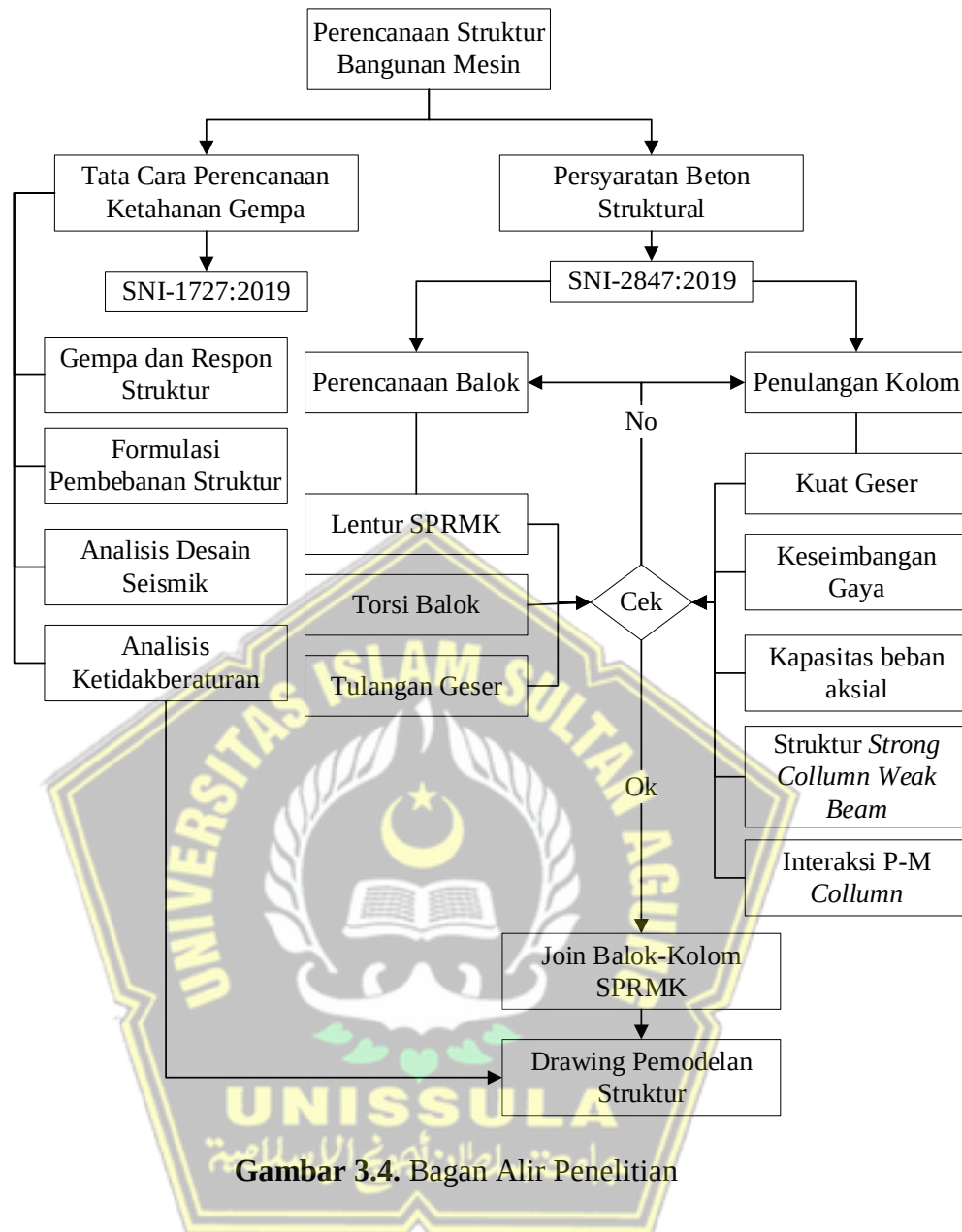
7. Perhitungan Balok

Perhitungan Balok menggunakan hasil dari analisis struktur hitung yang mengidentifikasi desain 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

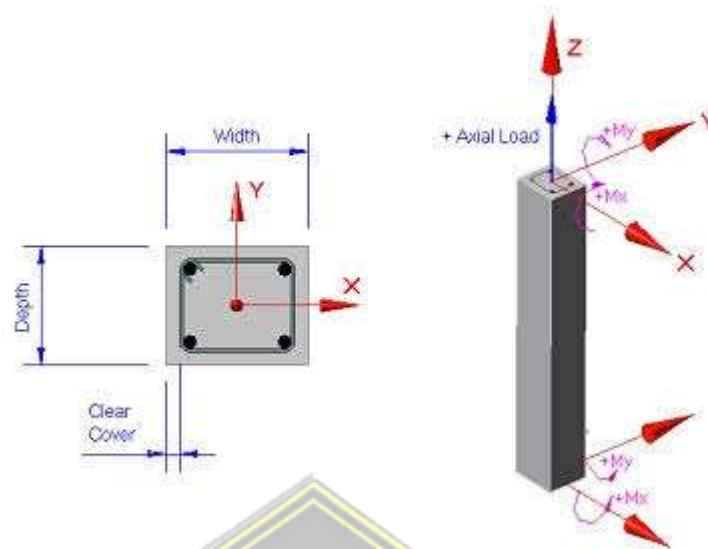
4.1. Deskripsi Bangunan

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

$$\begin{aligned} &= \text{lebar balok} + (2 \times 7.5 \text{ cm}) \\ &= 45 \text{ cm} + (2 \times 7.5 \text{ cm}) \\ &= 45 + 15 \text{ cm} \\ &= 60 \text{ cm} \end{aligned}$$

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

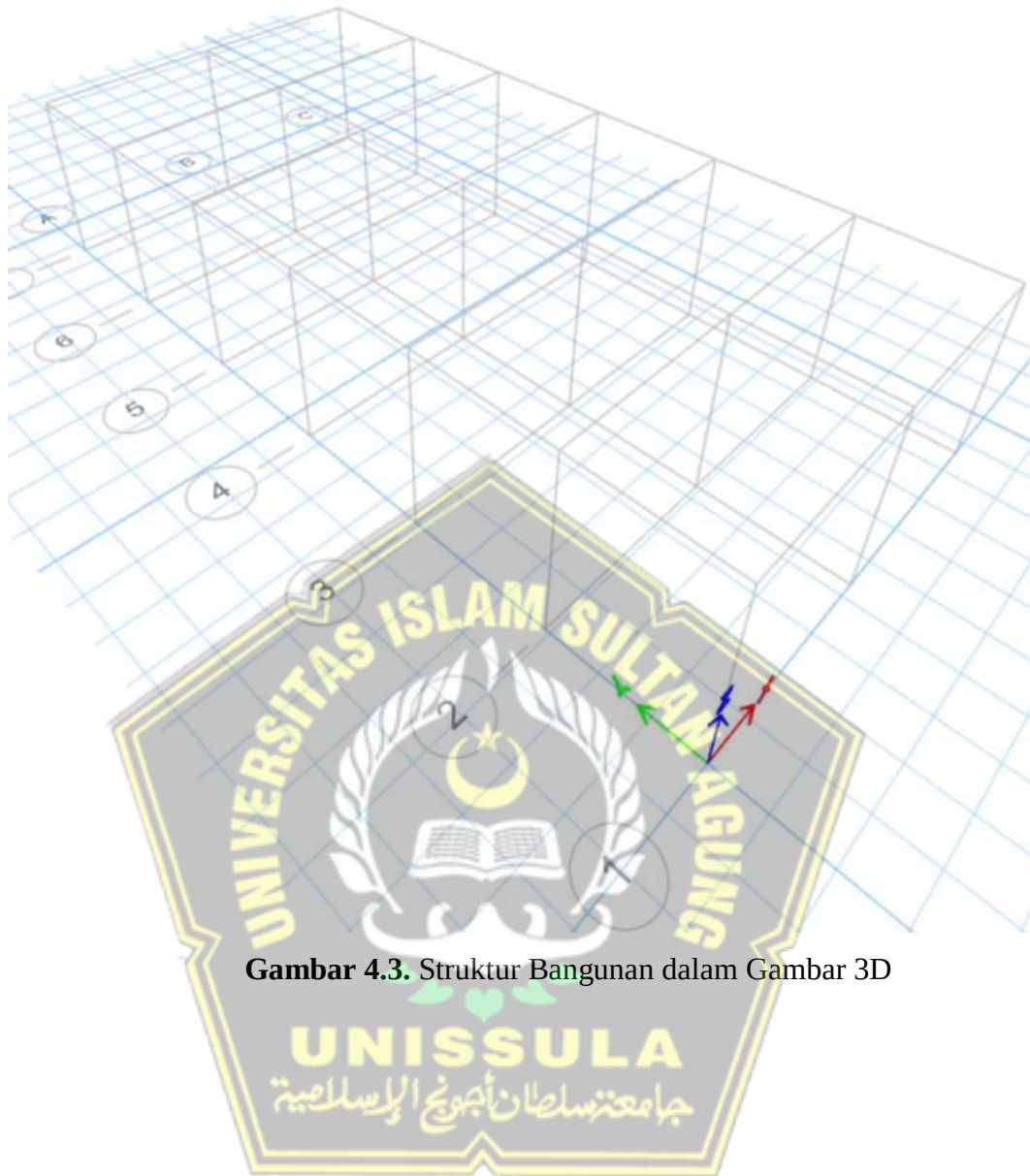
2. Dimensi jika menggunakan kolom pipih

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

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

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

4.2.1. Permodelan Struktur

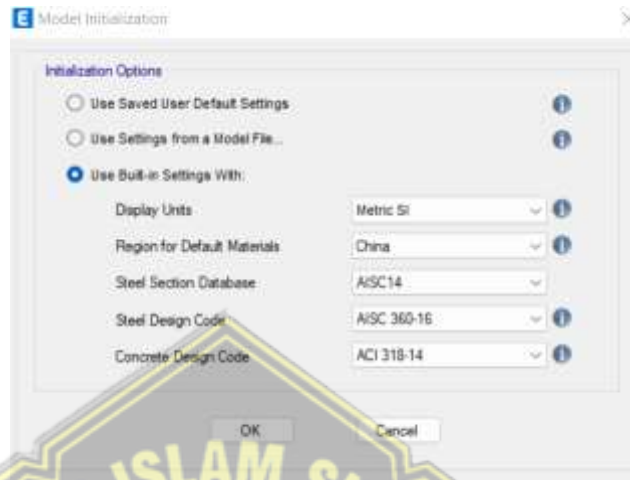


Gambar 4.3. Struktur Bangunan dalam Gambar 3D

1.3. 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

Bahan konstruksi beton terbuat dari beton K 350 yang digunakan untuk semua elemen struktur seperti balok dan kolom. Entri data dilakukan dengan memanfaatkan 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

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: B3 1500x1300

Material: K250 / 30 MPa

National Size Data: Modify/Show National Size...

Display Color: [Blue] Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 1500 mm

Width: 1300 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Gambar 4.7. Input Balok B3 1500 × 1300

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: B3 3520x1800

Material: K250 / 30 MPa

National Size Data: Modify/Show National Size...

Display Color: [Blue] Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 3520 mm

Width: 1800 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Gambar 4.8. Input Balok B3 3520 × 1800



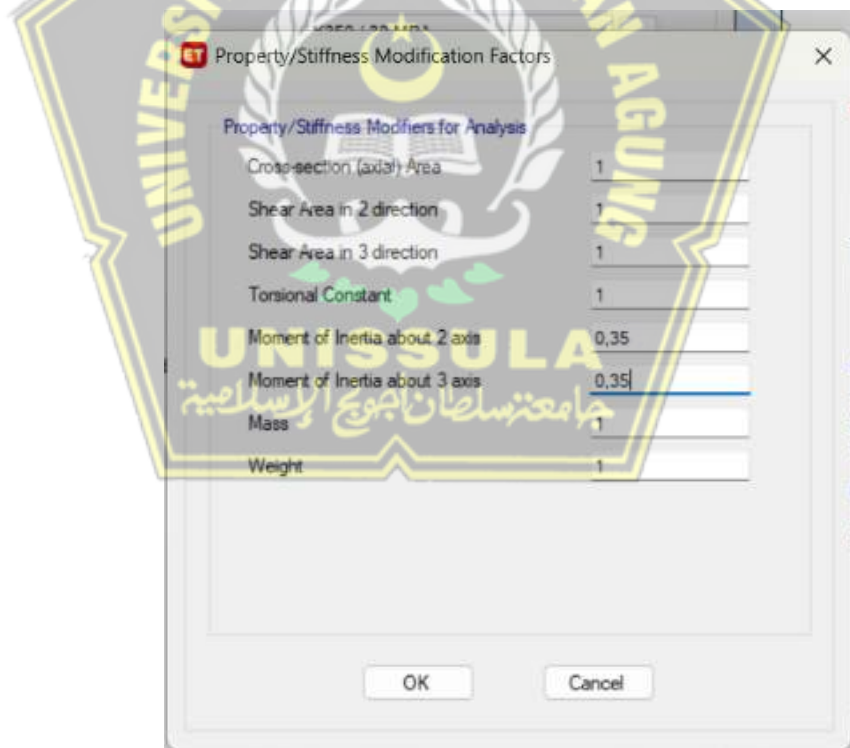
Gambar 4.9. Input Balok B3 1800 × 700



Gambar 4.10. Input Balok B3 1800 × 1100



Gambar 4.11. Input Balok B3 2900 × 1800

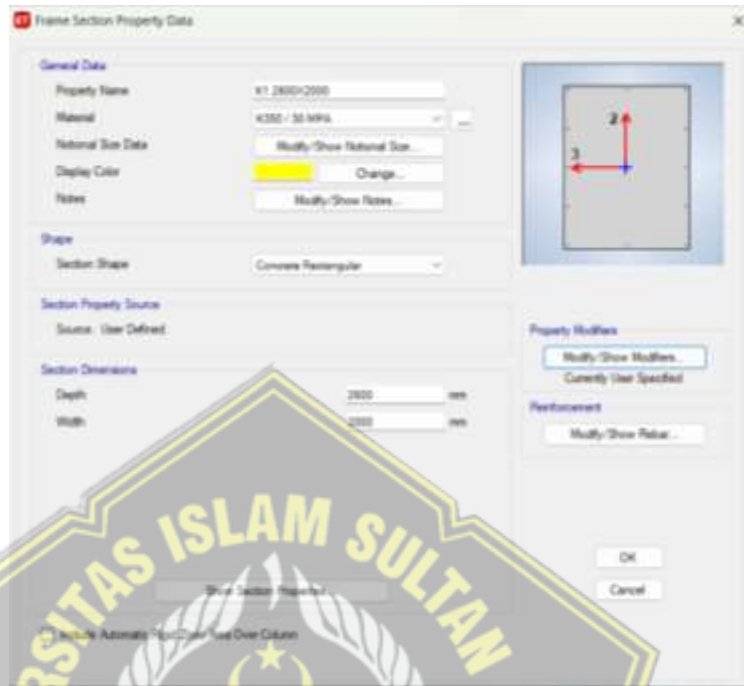


Gambar 4.12. Input Stiffness Modification factors

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

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: K3 1400x1200

Material: K350 / 35 MPa

National Size Data: Modify/Show National Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 1400 mm

Width: 1200 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...

Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

Gambar 4.15. Input Kolom K3 1400 × 1200

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: K3 2600x1200

Material: K350 / 35 MPa

National Size Data: Modify/Show National Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 2600 mm

Width: 1200 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...

Currently User Specified

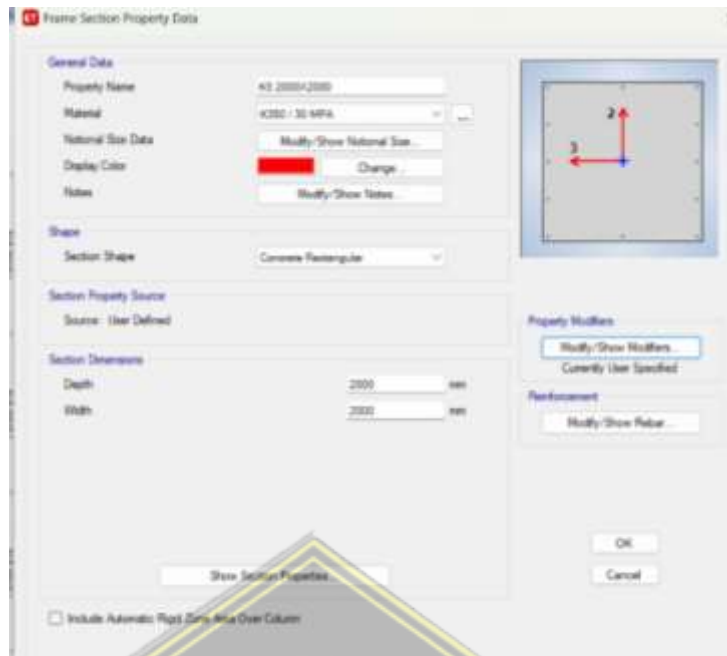
Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

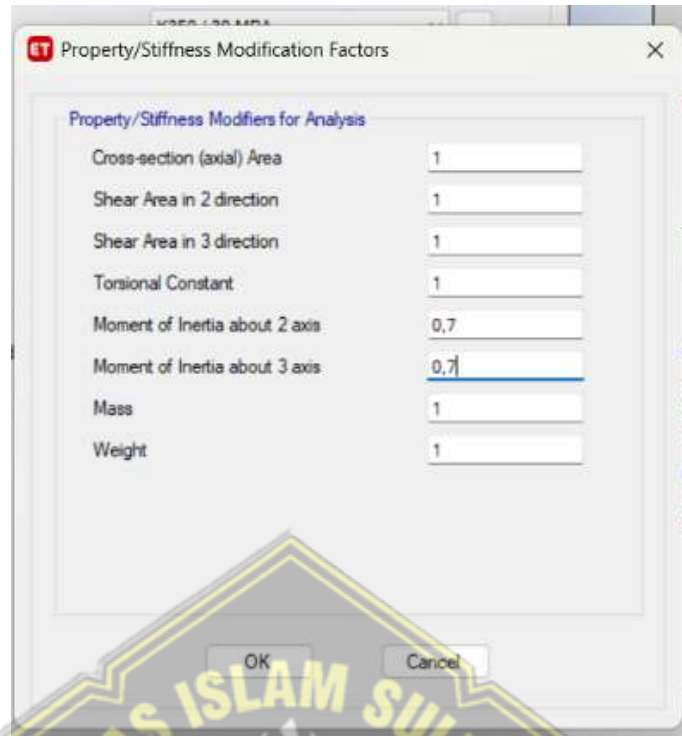
Gambar 4.16. Input Kolom K3 2600 × 1200



Gambar 4.17. Input Kolom K3 2000 × 2000



Gambar 4.18. Input Kolom K3 2000 × 1200



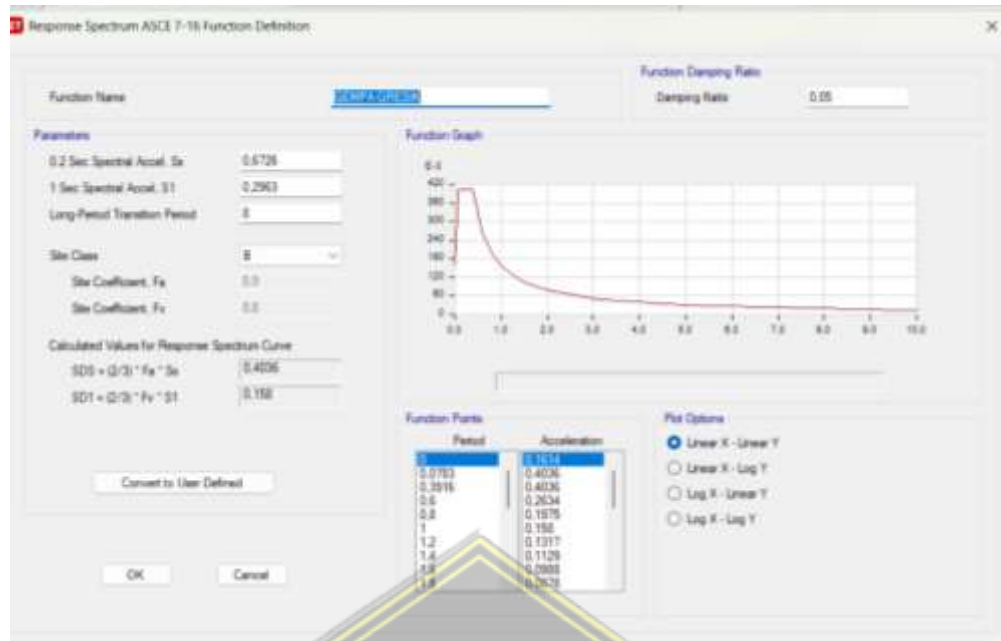
Gambar 4.19. *Input Stiffness Modification factors*

4.3.4. Input Beban Gempa Respons Spektrum

Beban gempa dibagi dalam jangka waktu 500 tahun. Dengan menggunakan prosedur yang terdapat dalam SNI 1726:2019, pemindahan beban gempa dapat dilakukan 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

3. 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*

Load Case Data

General

Load Case Name: 1225.83 [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Mass Source: Previous (McSet1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	1/1	GEMPA GRESIK	1225.83

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Model Load Case: Model

Model Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency X1: []

Rigid Frequency X2: []

Periodic = Rigid Type: ☐

Earthquake Duration, s: []

Directional Combination Type: SRSS

Response Directional Combination Scale Factor: []

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Gambar 4.21. Penambahan *Load Case* Data Respons Spektrum

Load Case Data

General

Load Case Name: 1225.83 [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Mass Source: Previous (McSet1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	1/1	GEMPA GRESIK	1225.83

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Model Load Case: Model

Model Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency X1: []

Rigid Frequency X2: []

Periodic = Rigid Type: ☐

Earthquake Duration, s: []

Directional Combination Type: SRSS

Response Directional Combination Scale Factor: []

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Gambar 4.22. Penambahan *Load Case* Data Respons Spektrum

1.4. 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. Pembebanan beban mati pada permodelan struktur tersebut adalah dari beban itu sendiri. Standar SNI 1727:2019 untuk beban hidup berlaku untuk struktur organisasi. Beban hidup yang digunakan berbeda-beda tergantung dari fungsi bangunan dan ruangan yang bersangkutan. Beban hidup merata digunakan dalam analisis struktur yaitu $Pabrik\ Berat = 11,97\ KN/m^2$.

1.5. Analisis Desain Seismik

Pembebanan seismik pada struktur gedung dianalisis menggunakan acuan peraturan SNI 1726:2019.

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

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
Ss	0,6726
S1	0,2963

(Sumber : Analisis Data Penelitian, 2022)

4.5.3. Parameter Respons Spektral Gempa Desain (Nilai Sds dan Sd1)

Penentuan nilai parameter respons percepatan gempa desain pada periode pendek (SDS) dan periode 1 detik (SD1) 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.

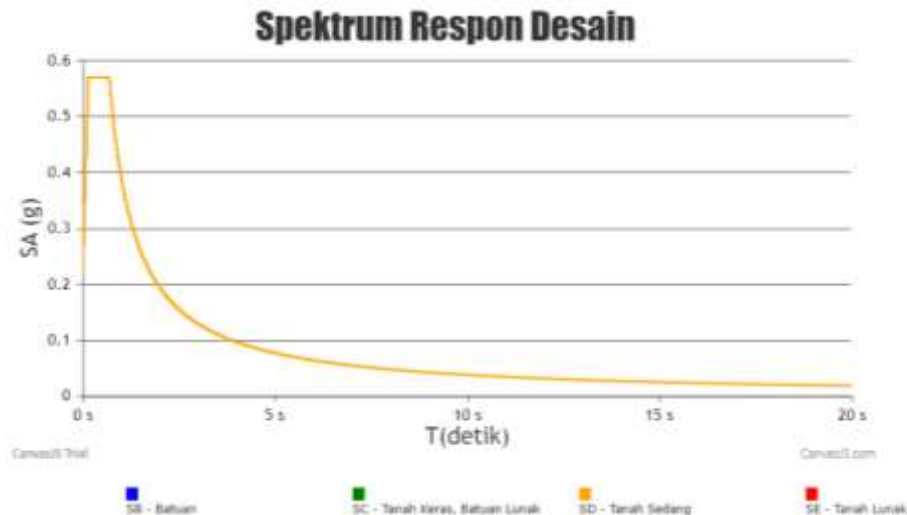
Tabel 4.2. Data Parameter Respons Spektral Desain

Variabel	Nilai
Sds	0,57
Sd1	0,39

(Sumber : Analisis Data Penelitian, 2022)

4.5.4. Spektrum Respons Desain

Beragam desain respon sesuai dengan Pasal 6.4 SNI 1726:2019. Persyaratan periodik untuk desain respons spektral bangunan dapat dipenuhi dengan menggunakan pola yang ada dalam SNI mulai dari T0, TS, hingga periode-periode selanjutnya. Selain itu, respons spektrum dapat ditangani secara otomatis melalui dokumen laminasi resmi yang disediakan oleh Kementerian PUPR sehingga penyelesaian desain respons spektrum dapat ditangani secara otomatis. Grafik yang menggambarkan hubungan antara periode dan respon terhadap percepatan gempa digunakan untuk menggambarkan desain spektrum kecepatan yang diperoleh dari laman tersebut. Grafik ini dapat dilihat 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 diverifikasi untuk memiliki setidaknya satu kategori desain gempa yang sesuai dengan SNI 1726:2019. Berdasarkan penelitian sebelumnya, lokasi yang dianggap termasuk dalam Kategori Risiko II dan memiliki nilai SDS dan SD1 minimal 0,5 dan 0,2, memungkinkan peneliti Kategori Desain Seismik untuk menggunakan Tabel 9 dan 8 SNI 1726:2019. Dari tabel tersebut di atas, kategori perencanaan gempa adalah D. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dari beton bertulang adalah sistem pengangkur seismik untuk sistem dasbor lateral dan vertikal pada bangunan yang bersangkutan. SNI 1726:2019 faktor respon dan lendutan masing-masing menunjukkan bahwa faktor respon (R) = 8 dan faktor lendutan (C_d) = 5,5.

4.5.6. Perhitungan Pusat Massa Tiap Lantai

Perhitungan beban gempa pada struktur diperlukan penilaian nilai massa di lantainya yang menggunakan beban mati, yaitu beban struktur lantai sama saja dan beban hidup yang bekerja pada pelat pada lantai tersebut, menggunakan beban mati. Kombinasi bebanan yang digunakan adalah 100% beban mati dengan minimal 25% beban hidup sesuai dengan SNI 1726 paragraf 7.7.2.

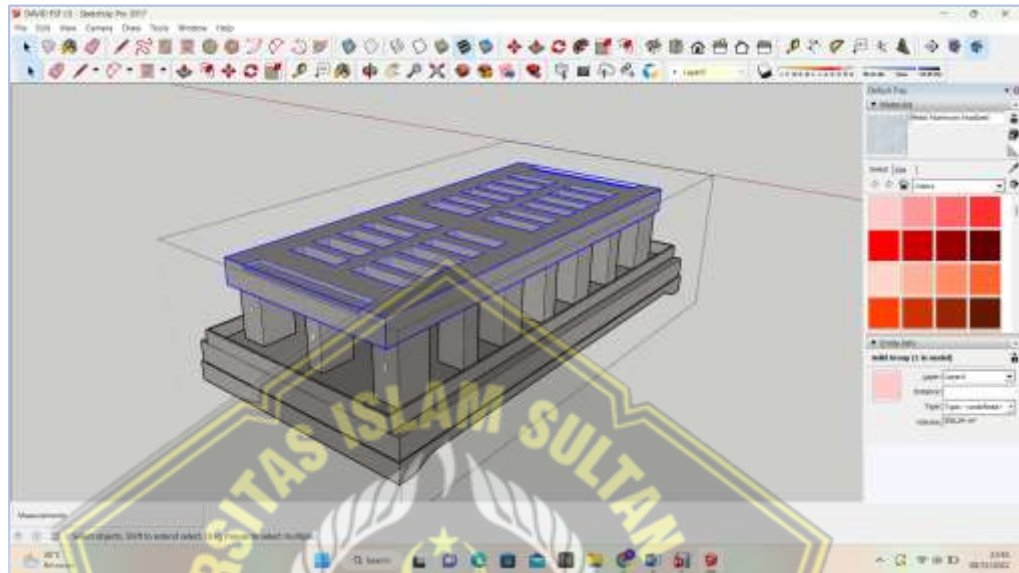
$$W = 100 \% \text{ DL} + 25 \% \text{ LL} \quad (4.4)$$

keterangan:

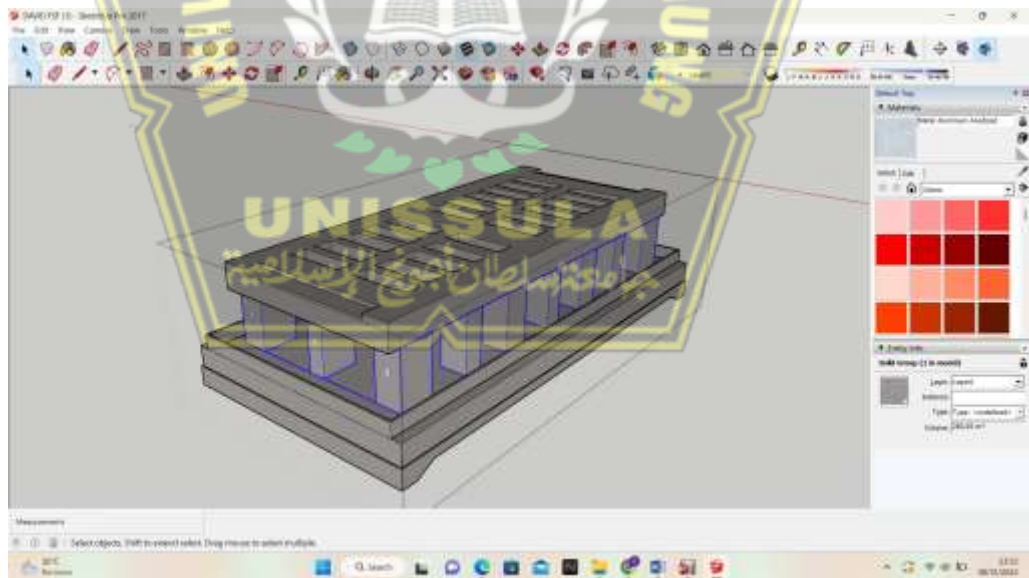
W = Berat Seismik Efektif

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

LL = Beban hidup total pada setiap lantai gedung



Gambar 4.24. Perhitungan beban mati (DL) Balok



Gambar 4.25. Perhitungan beban mati (DL) Kolom

$$\begin{aligned}\text{Balok} &= 556,24 \times 2400 &= 1334976 &\text{ kg} \\ \text{Kolom} &= 282,92 \times 2400 &= 679008 &\text{ kg}\end{aligned}$$

$$= 2013984 \quad \text{kg}$$

$$\begin{aligned}W &= 100 \% (2013984 \text{ kg}) + 25 \% (11,97 \text{ KN}) \\ &= 100 \% (2013984 \text{ kg}) + 25 \% (1345 \text{ kg}) \\ &= 2014320,25 \text{ kg}\end{aligned}$$

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	=	$0.70 I_g$

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

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

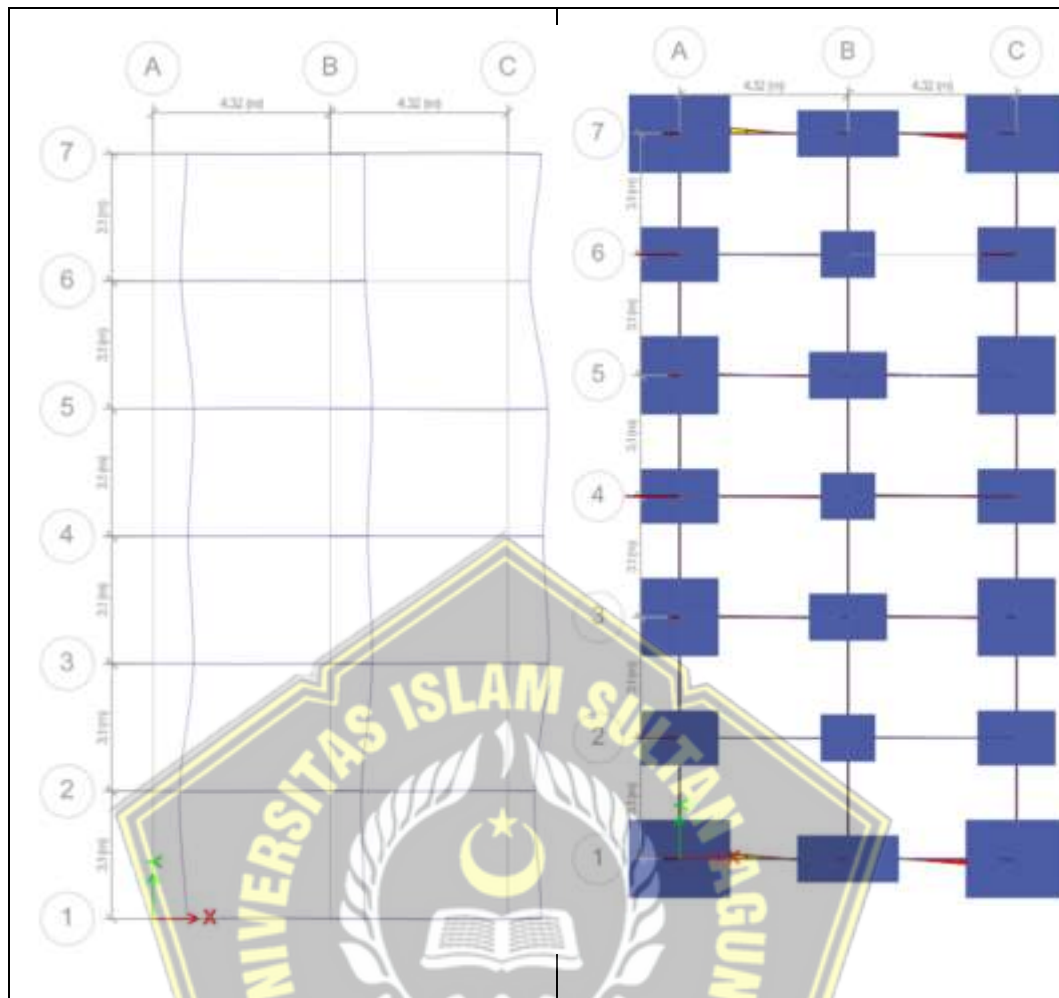
$$T_a = 0.69 \text{ detik}$$

$$C_u T_a = 1.4(0.69)$$

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

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

Dalam SNI 1726 Pasal 7.9.1, jumlah getar yang digunakan dalam perhitungan jumlah jawaban harus sekurang-kurangnya 80% (atau mendekati) dari massa sebenarnya yang digabungkan pada setiap baris ortogonal horizontal dari jawaban yang model yang dihasilkan. Berikut adalah hasil analisis partisipasi massa dari 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	0,03	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	0,023	0,5988	0,0001	0	0,5988	0,6598	0	0,0001	0,5988	0	0,6598	0,5988	6,38E-06
Modal	3	0,031	0,0018	9,32E-07	0	0,0018	0,6598	0	9,32E-07	0,0018	0,8601	0,6598	0,0018	0,8601
Modal	4	0,021	0,3764	3,59E-06	0	0,9766	0,6598	0	3,59E-06	0,3764	0,0047	0,6598	0,9766	0,8647
Modal	5	0,02	1,20E-06	0,0001	0	0,9766	0,6599	0	0,0001	1,20E-06	0,0147	0,6599	0,9766	0,8794
Modal	6	0,019	2,60E-05	0,0008	0	0,9766	0,6607	0	0,0008	2,60E-05	0,1046	0,6607	0,9766	0,984
Modal	7	0,018	1,05E-05	0,338	0	0,9766	0,9987	0	0,338	1,05E-05	0,0003	0,9987	0,9766	0,9842
Modal	8	0,017	2,38E-05	6,93E-06	0	0,9766	0,9987	0	6,93E-06	2,38E-05	0,0001	0,9987	0,9766	0,9842
Modal	9	0,015	0,0003	4,38E-05	0	0,977	0,9988	0	4,38E-05	0,0003	1,73E-05	0,9988	0,977	0,9843
Modal	10	0,013	0,0002	2,68E-05	0	0,9771	0,9988	0	2,68E-05	0,0002	0,0011	0,9988	0,9771	0,9854
Modal	11	0,013	0,0007	9,38E-06	0	0,9778	0,9988	0	9,38E-06	0,0007	0,0003	0,9988	0,9778	0,9857
Modal	12	0,012	4,21E-05	1,32E-05	0	0,9779	0,9988	0	1,32E-05	4,21E-05	0,0001	0,9988	0,9779	0,9858

(Sumber: Analisis Data ETABS penelitian, 2022)

Dari Tabel 4.5 terlihat bahwa pihak perusahaan konstruksi memiliki massa yang diperkirakan berada pada posisi 7 dengan total 12 modal.

3. Kontrol Periode Fundamental Struktur

$C_t = 0,0466$ (untuk rangka beton pemikul momen)

$\alpha = 0,75$ (untuk rangka beton pemikul momen)

$T_a = C_t \cdot h_n^\alpha$

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

Menurut SNI 1726:2019, waktu dengan struktur (T) tidak dapat lebih baik dari hasil percobaan untuk waktu dengan gangguan (C_u), yang ditunjukkan dengan nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{\max} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,2302 \\ &= 0,322 \text{ detik} \end{aligned}$$

Berdasarkan partisipasi massa dominan yang terjadi pada ragam 1 dan 2, Tabel 4.9 menyajikan nilai periode x dan periode y, yaitu sebagai berikut:

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

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

Dikarenakan periode getar struktur gedung yang diperoleh dari hasil pengujian lebih luas dari $T_{\max}$, hal ini berarti perhitungan beban gempa struktur telah memenuhi SNI 1726:2019 paragraf 7.8.2.

4. Kontrol Gaya Geser

Perhitungan nilai gaya geser dasar diatur sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1 sekaligus menaikkan nilai *coefisien seismic response* (C_s) lebih lanjut sebagai berikut:

$$C_s = \frac{0.5658}{\left(\frac{8}{1.5}\right)} = 0.0707 \text{ g}$$

$$C_{s \max} = \frac{0.3965}{1 \left(\frac{8}{0.322}\right)} = 0.1538 \text{ g}$$

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

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

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

Perbandingan antara V_{dinamik} dan $100 \% V_{\text{statik}}$ 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 V_{dinamik} masih kurang dari $100 \% V_{\text{statik}}$, sehingga dilakukan pembesaran gaya gempa dengan cara dikalikan dengan ($V_{\text{statik}}/V_{\text{dinamik}}$) sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1 yaitu sebagai berikut :

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

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

Kemudian gempa bertambah besar pada arc kedua sehingga mengalami metrik untuk penyelarasan dinamis gaya geser dasar seperti yang ditunjukkan 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

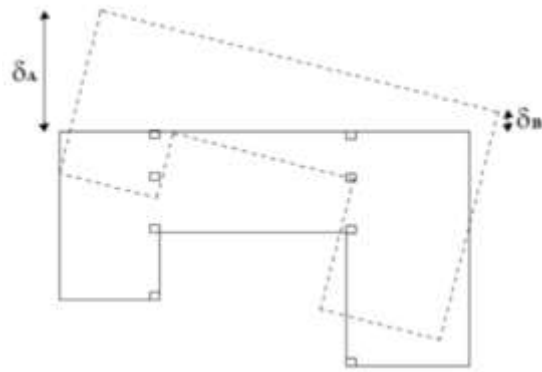
Berdasarkan SNI 1726:2019, tipe ketidakberaturan torsi 1a dan torsi 1b ditentukan berdasarkan defleksi maksimum (δ_{max}), defleksi minimum (δ_{min}), dan defleksi rata-rata (δ_{avg}).

Tabel 4.8. Ketidakberaturan Torsi

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

(Sumber: SNI 1726:2019 ps. 7.3.2.1)

Ketidakberaturan 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. Ketidakberaturan 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 mm	Avg Drift mm	Ratio
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 mm	Avg Drift Mm	Ratio
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

$$P_u < 0.1 \times A_g \times F'_c$$

$$P_u < 0.1 \times 1700 \times 1100 \times 27.5$$

$$166.9 \text{ kN} < 5142.5 \text{ kN}$$

Pu 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

$$Bentang\ bersih\ (l_n) = 16070 - (2 \times 0.5 \times 200)$$

$$Bentang\ bersih\ (l_n) = 14070\ mm$$

Persyaratan:

$$Bentang\ bersih\ (l_n) > 4 \times 1619.5$$

$$14070 > 6478$$

Syarat bentang bersih minimal elemen lentur terpenuhi karena jika bentang terlalu pendek akan lebih sulit untuk menghasilkan sendi plastis.

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

$$M_{u\ Maks} = \frac{1}{8} \times q_u \times L^2 = \frac{1}{8} \times (54,742) \times 4.32^2 = 127,70\ \text{kN/m}$$

3. Menghitung Kapasitas Lentur Balok

$$\text{Luas tulangan total} = 3 \times \text{Luas sebuah tulangan}$$

$$A_s = 3 \times \frac{1}{4} \pi \times 13.392^2 = 3,153\ \text{mm}^2$$

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

$$\begin{aligned} \text{Gaya} &= \text{tegangan} \times \text{luas} \\ C_c &= 0,85 f'_c \times a \times b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya tarik pada tulangan} &= \text{Total luas} \times \text{tegangan} \\ T &= A_s \times f_y \end{aligned}$$

5. Menghitung tinggi blok tegangan tekan

$$\begin{aligned} \sum H &= 0 \\ \text{maka gaya ke kiri} &= \text{gaya ke kanan} \\ C_c &= T \\ 0,85 \times f'_c \times \text{luas} &= A_s \times f_y \\ 0,85 \times 27,5 \times 300 \times a &= 1980 \times 400 \\ a &= 112,94 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

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

$$\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon'_{cu}} = \frac{550 - C}{C}$$

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

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 Torsi berdasarkan analogi ruang makan bertema batang. Mengikuti torsi beton, sumber utama torsi adalah tulangan longitudinal dan sengkang tertutup yang terletak dekat dengan perimeter komponen struktur. Menurut analogi tipis tabung dinding, kekuatan yang dimaksud diberikan melalui telinga luar penampang dengan cara yang kasar dan tidak terhalang. Baik solid maupun penampang berongga, keduanya dapat digunakan sebagai tabung dinding tradisional. Hasil tegangan geser dan tebal dinding dari perimeter dikenali sebagai hasil geser (shear flow), $q = \tau t$. Aliran geser q akibat torsi, terjadi secara konstan pada satu titik di tengah ketebalan, dan terjadi dalam satu titik di perimeter. Tegangan geser berselisih dengan torsi:

$$\tau = \frac{T}{2A_0 t}$$

Keterangan:

A_0 = luas bruto yang dilingkupi oleh lintasan aliran geser

t = tebal dinding pada titik dimana τ dihitung.

1. Torsi Keseimbangan (Primer)

Tulangan torsi harus tersedia dalam situasi ini untuk mempertahankan desain torso secara keseluruhan. Karena tidak mungkin untuk mendistribusikan kembali ulang, desain torsi tidak dapat disempurnakan.

2. Torsi Kompabilitas (Sekunder)

Jika torsi terjadi pada struktur komponen utama, hal itu dapat diatasi dengan redistribusi internal gaya setelah reaksi untuk mempertahankan deformasi. Jenis torsi ini dikenal sebagai kompatibilitas torsi.

4.7.5. Menentukan tinggi minimum balok

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

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

4.7.6. Desain tulangan lentur

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

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

$$\rho = 0.0123$$

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

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

4.7.7. 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:

$$T_w < \frac{\phi \sqrt{f_c}}{12} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$$

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

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

4.7.8. Menentukan tulangan geser

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \times b_w \times d$$

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

4.8. 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 efektif untuk setiap sambungan Aj harus dipasang dari tinggi nada sambungan yang paling tinggi. Penjajaran sambungan yang efektif harus sejajar dengan kolom di bawahnya; namun, jika ada balok yang memanjang menjadi kolom yang lebih ramping, keselarasan sambungan efektif tidak dapat berada di bawah batas bawah.

1. Memeriksa Tulangan Transversal

Sesuai SNI 2847: 2019. Sambungan dengan sisi keempat memiliki balok yang ditujukan padanya, dan jika masing-masing balok tersebut memiliki jarak lebar tiga perempat, maka jumlah tulangan yang harus dibangun harus ditambah, dan spasi yang harus ditambah harus mencapai 150 mm pada ketinggian balok h yang ditujukan pada sambungan yang bersangkutan.

Jumlah tulangan transversal dapat dibagi dua dari kebutuhan tulangan transversal pada daerah yang dilapisi plastisol.

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

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

$$a = \frac{A_s \times 1,25f_y}{0,85f'_c b} = \frac{7(490) \times 1,25 \times 400}{0,85 \times 27.5 \times 1100} = 179,35 \text{ mm}$$

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

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

$$= 853,77 \text{ kN.m}$$

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

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

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

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

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

4.9. Penulangan Kolom

4.9.1. Data Perencanaan Kolom

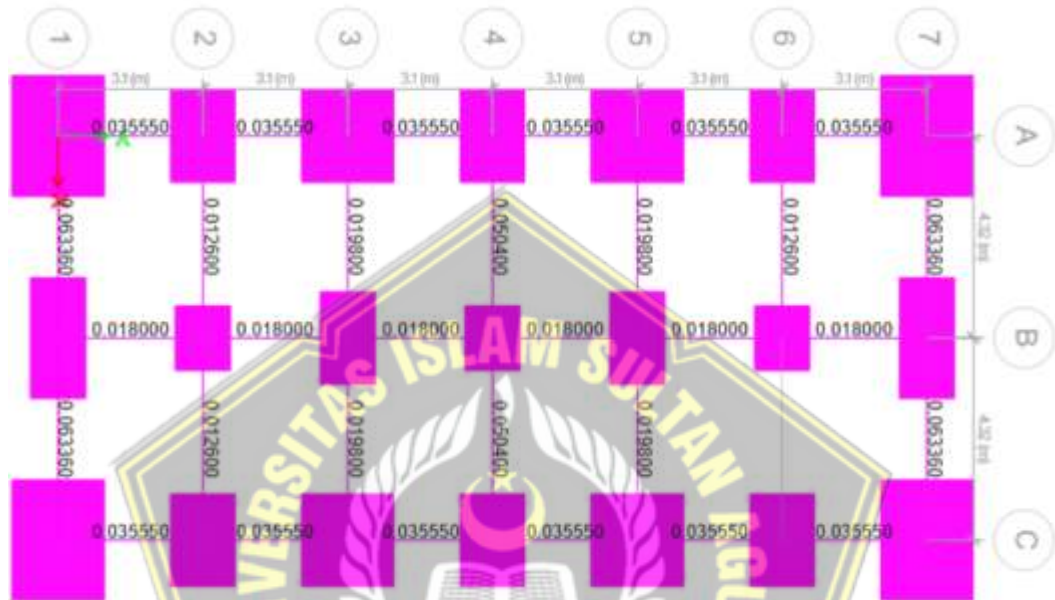
Tabel 4.12
Perencanaan Kolom

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	Dm	=	D 32	mm
7.	Diameter sengkang	Ds	=	D 16	mm
8.	Tinggi efektif	(d)	=	$H - p - Ds - \frac{D}{2}$	mm
				$200 - 41 - 16 - \frac{32}{2}$	
				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

$$A_j = h_e \times b_e$$

$$A_j = 20000 \times 211000 = 522.000 \text{ mm}^2$$

4.9.3. Kuat Geser Kolom M_c

Kolom memiliki kekakuan yang sama, Oleh karena itu, faktor distribusi DF adalah sekitar 0,5, dan momen yang muncul pada kolom HBK di atas 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 paling atas adalah yang terbesar.:

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

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

Luas tulangan atas adalah ($A_s = 3.430 \text{ mm}^2$), Oleh karena itu, gaya yang berlaku pada kiri bawah tulangan atas HBK adalah demikian:

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

Gaya tekan bekerja di sudut barat daya HBK, kira-kira:

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

Sama halnya dengan sisi kanan HBK:

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

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

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" HBK digambarkan sebagai "keempat sisi":

$$V_n = 1,7 \sqrt{f'_c A_j} = 1,7 \sqrt{27,5(360.000)} = 3.060.000 \text{ N} = 3.060 \text{ kN}$$

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

4.9.5. Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom terhadap Beban Aksial Terfaktor

Tabel 4.13. Gaya Aksial Lentur

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

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

4.9.6. Perilaku Struktur *Strong Column Weak Beam*

Teori kolom kuat, balok lemah didasarkan pada kondisi nominal balok yang bergerak. Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2, kelenturan setiap kolom harus mencapai minimal 1,2 kali jumlah maksimumnya, dan hasil analisis desain kolom adalah sebagai berikut, baik untuk penyambungan di atas maupun penyambungan di bagian atas. bawah.

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

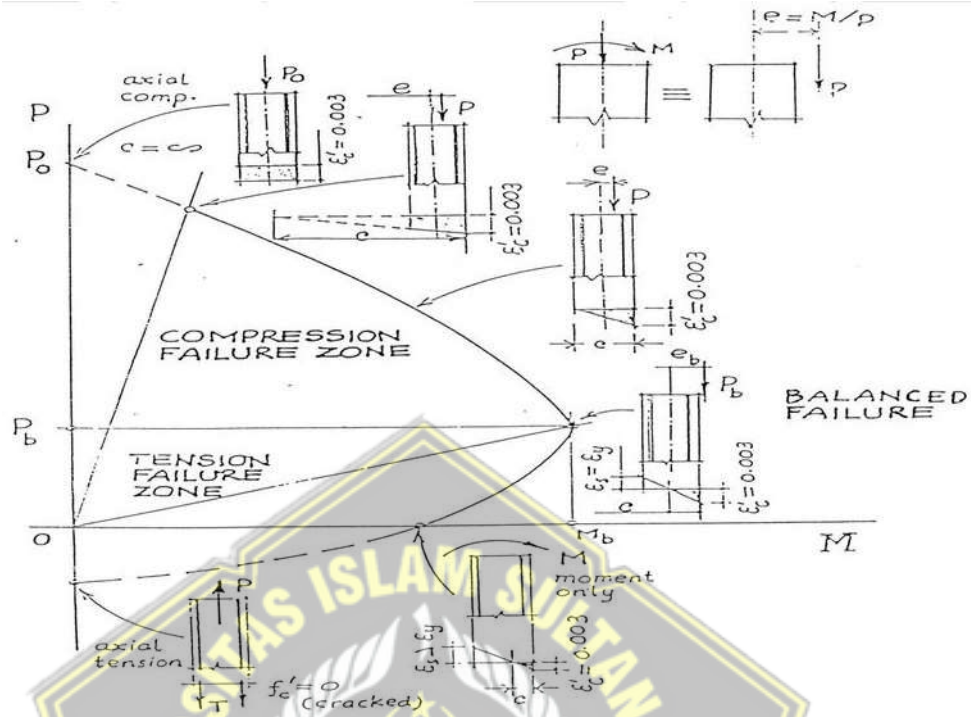
$$P_o = 0.85 \times f'_c \times (A_g - A_s) + A_{st} \times f_y$$

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

4.10. Diagram Interaksi P-M Kolom

Kapasitas beton untuk menahan kombinasi gaya aksial dan lentur dapat ditunjukkan dalam setiap interaksi kurva antara keduanya. Setiap titik dalam kurva menampilkan kombinasi dari notional *P_n* dan *M_n* gender yang sesuai untuk lokasi penjumlahan global. Dua area pada diagram interaksi P-M

adalah area yang menjadi target keruntuhan tarik dan area yang menjadi target keruntuhan tekan, dan pembatasnya adalah titik keseimbangan (*balance*).



Gambar 4.29. 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*)

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

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

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

$$\begin{aligned}
 M_{nb} &= P_{nb} \times e_b \\
 M_{nb} &= (0.85 \times f'_c \times a_b \times b) \times \left(y - \frac{a_b}{2}\right) + [(A'_s \times f'_s) \times (y - d)] \\
 &\quad + [(A'_s \times f'_s) \times (d - y)] \\
 M_{nb} &= (5445 \times 374.45) + (38 \times 787 \times 208) + (88951 \times 208) \\
 &= 26761136 \text{ N} \\
 M_{nb} &= 267.76 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Eksentrisitas pada kondisi seimbang

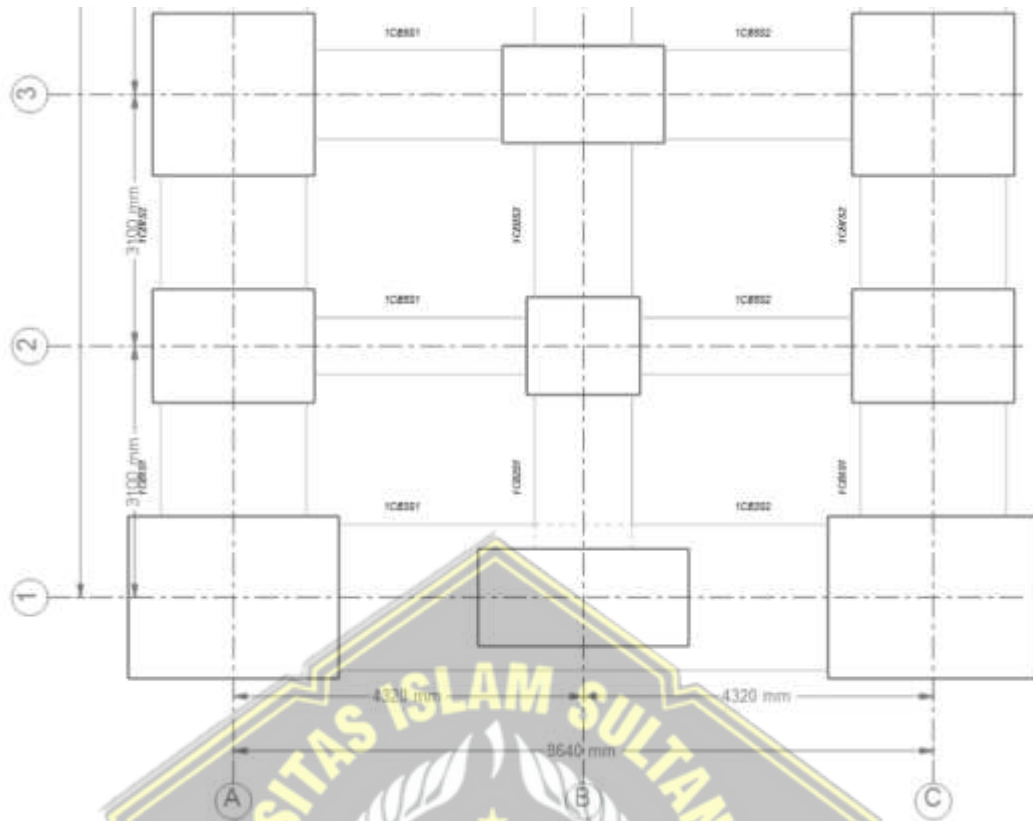
$$\begin{aligned}
 e_b &= \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{267.76 \text{ kNm}}{5.960,67 \text{ kN}} = 0.04479 \text{ m} = 44.80 \text{ mm} \\
 \phi P_{nb} &= 0.65 \times 5.960,67 \text{ kN} = 3874.4 \text{ kN} \\
 \phi M_{nb} &= 0.65 \times 267.76 \text{ kN} = 174.04 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 M_n &= (A_s \times f_y) \times \left[(d - 0.59) \times \left(\frac{A_s \times f_y}{f'_c \times b} \right) \right] \\
 M_n &= (1140.4 \times 400) \times \left[(1619.5 - 0.59) \times \left(\frac{1140.4 \times 400}{27.5 \times 1100} \right) \right] \\
 &= 176.5 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

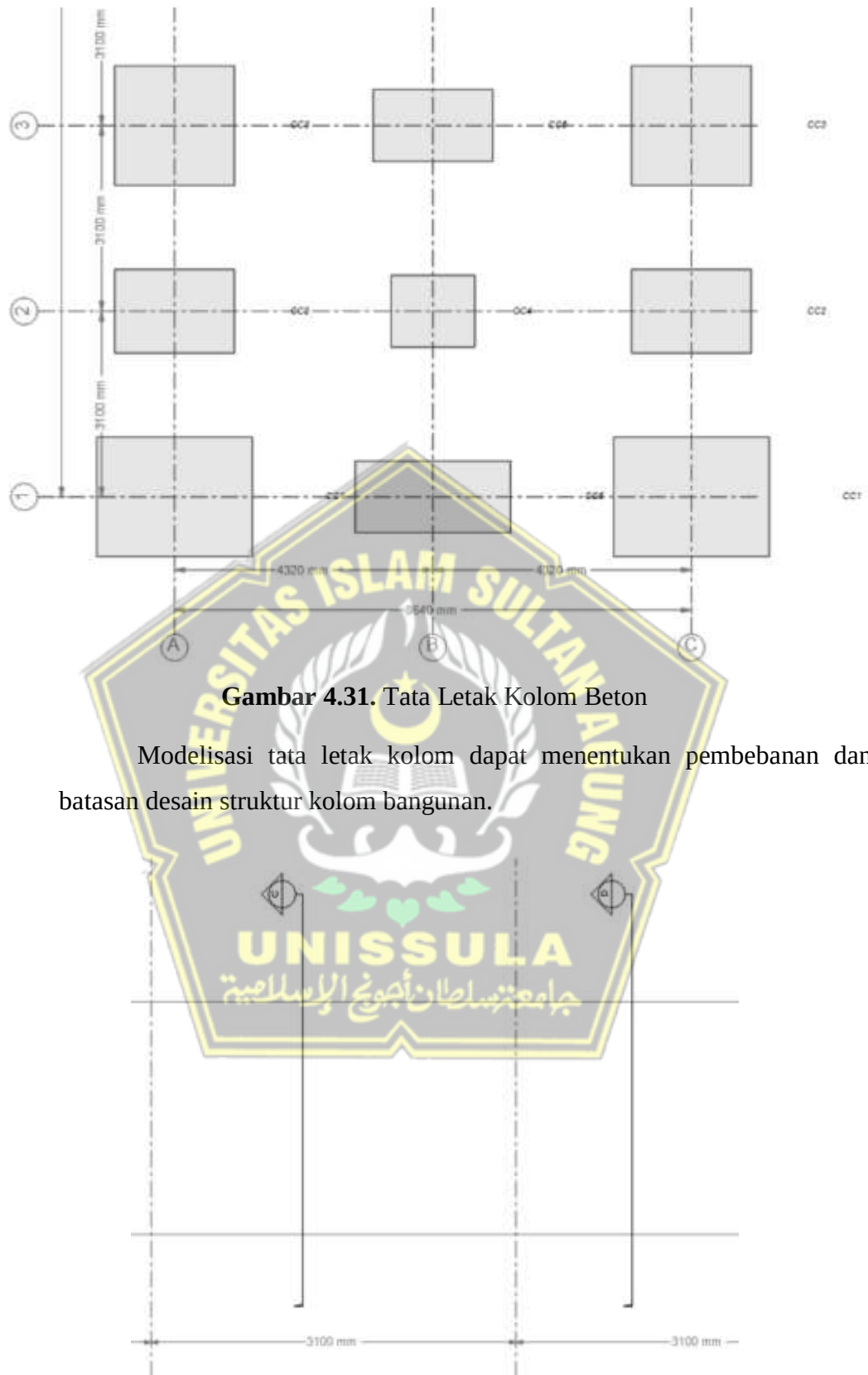
4.10. Drawing Pemodelan Struktur

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



Gambar 4.30. Tata Letak Balok Beton

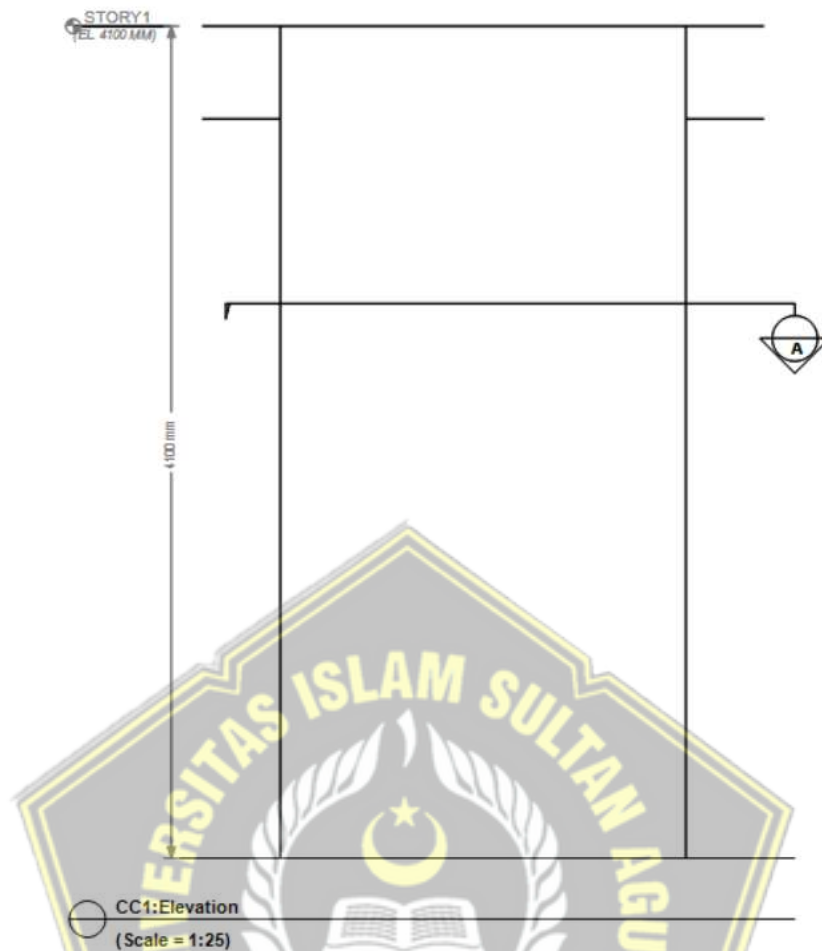
Untuk menentukan perilaku dan posisi tata letak yang memberikan beban dan daktilitas maksimum digunakan tata letak pada beton mulang dengan diameter yang berbeda.



Gambar 4.31. Tata Letak Kolom Beton

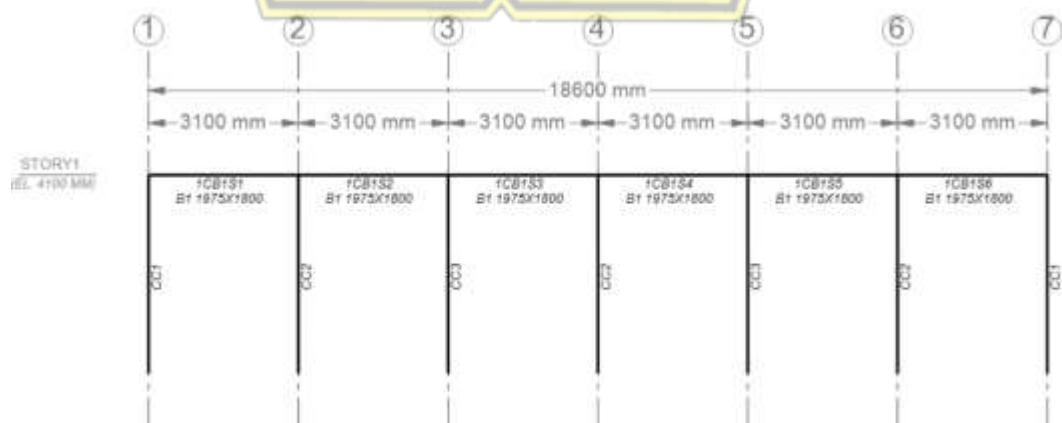
Modelisasi tata letak kolom dapat menentukan pembebanan dan batasan desain struktur kolom bangunan.

Gambar 4.32. Elevasi Balok



Gambar 4.32. Elevasi Kolom

Ketinggian kolom sesuai elevasi rencana. Garis pinjaman, terdiri dari garis sedekat 1 m dari kolom as, sedangkan pinjaman elevasi dapat berupa garis sedekat 1 m dari lantai penutup. Pinjaman berfungsi sebagai alat untuk memfasilitasi penulisan



Gambar 4.34. 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

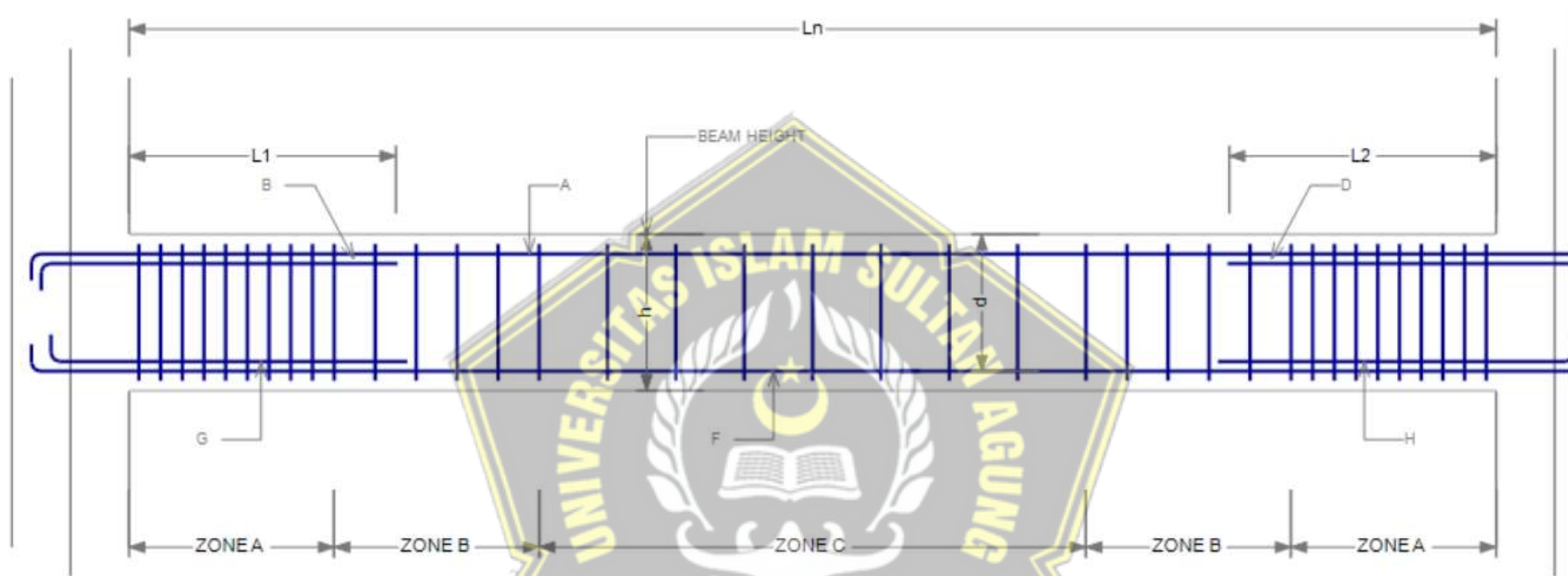
(Sumber: Data CsiDetail Penelitian, 2023)

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)



Gambar 4.35. 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 4.16. 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 minimum 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)

Sebagai struktur utama proyek konstruksi tahan gempa, Kolom sangatlah penting. Aturan baru, SNI 2847:2019, yang baru diterapkan, perlu dilakukan evaluasi terhadap kondisi dan detail tulangan kolom bangunan yang ada. Batang tulangan longitudinal offset dengan teknik:

1. Kemiringan bagian batang tulangan miring offset dengan sumbu kolom yang tidak lebih dari 1 banding 6;
2. Bagian batang tulangan di bagian atas dan bawah hubungan sejajar tertentu dengan sumbu kolom;
3. Melintang, spiral, atau bagian lantai gikat, atau bagian konstruksi lantai, digunakan untuk memberikan kemiringan horizontal pada konstruksi offset bengkokan..

BAB V

PENUTUP

Berdasarkan temuan penelitian yang dikemukakan 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.
- Hardjasaputra, 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

