

**PERANCANGAN STRUKTUR BETON
BERTULANG BANGUNAN HOTEL 13 LANTAI
TAHAN GEMPA DI PROVINSI KEPULAUAN RIAU KOTA
BATAM BERDASARKAN SNI 2847:2019 DAN SNI 1726:2019**



SKRIPSI

**Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Ujian Skripsi
Program Studi Teknik Sipil
Pada Fakultas Teknik
Universitas IBA**

**Oleh :
SYAKIRA SUCI MAHARANI
NPM. 21310004**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA PALEMBANG
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

**PERANCANGAN STRUKTUR BETON
BERTULANG BANGUNAN HOTEL 13 LANTAI
TAHAN GEMPA DI PROVINSI KEPULAUAN RIAU KOTA
BATAM BERDASARKAN SNI 2847:2019 DAN SNI 1726:2019**



SKRIPSI

**Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Ujian Skripsi
Program Studi Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas IBA**

Palembang, Juli 2025

**Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Ir. Hardayani Haruno, M.T.
(NIDN. 99 009944 92)**

**Menyetujui,
Ketua Program Studi
Teknik Sipil**

**Robi Sahbar, S.T., M.T.
(NIDN. 02 030173 02)**

HALAMAN PENGESAHAN

**PERANCANGAN STRUKTUR BETON
BERTULANG BANGUNAN HOTEL 13 LANTAI
TAHAN GEMPA DI PROVINSI KEPULAUAN RIAU KOTA
BATAM BERDASARKAN SNI 2847:2019 DAN SNI 1726:2019**



SKRIPSI

**Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Ujian Skripsi
Program Studi Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas IBA**

Telah diperiksa dan disetujui Oleh :

**Pembimbing I
Universitas IBA**

**Ir. Sapta, S.T., M.T., IPU Asean Eng.
(NIDN. 02 060969 01)**

**Pembimbing II
Universitas IBA**

**Sari Farlianti S.T., M.T.
(NIDN. 02 310778 01)**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Syakira Suci Maharani
NPM : 21310004
Program Studi : Teknik Sipil
**Judul Skripsi : Perancangan Struktur Beton Bertulang Bangunan
Hotel 13 Lantai Tahan Gempa Di Provinsi Kepulauan
Riau kota Batam Berdasarkan SNI 2847:2019 Dan SNI
1726:2019**

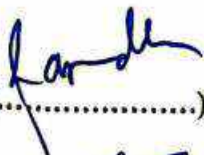
**Telah berhasil diperthahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima
sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program
Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas IBA.**

DEWAN PENGUJI :

1. Robi Sahbar, S.T., M.T.
NIDN. 02 030173 02


(.....)

2. Dr. Ir. Ramadhani, S.T., M.T., IPM.
NIDN. 02 241072 01


(.....)

3. Amelia Rajela, S.T., M.T.
NIDN. 02 220774 01


(.....)

Ditetapkan : Palembang
Tanggal : Juli 2025

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Syakira Suci Maharani
NPM : 21310004
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Perancangan Struktur Beton Bertulang Bangunan Hotel 13
Lantai Tahan Gempa Di Kepulauan Riau Kota Batam
Selatan Berdasarkan SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019

Dengan ini menyatakan hasil penulisan Skripsi yang saya buat ini merupakan karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila kemudian hari ternyata penulisan Skripsi ini merupakan plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggung jawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan tata tertib di Universitas IBA.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak ada paksaan dari siapapun dan oleh siapapun.

Palembang, Juli 2025
Yang membuat pernyataan,



(Syakira Suci Maharani)
NPM. 21310004

ABSTRAK

PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG BANGUNAN HOTEL 13 LANTAI TAHAN GEMPA DI PROVINSI KEPULAUAN RIAU KOTA BATAM BERDASARKAN SNI 2847:2019 DAN SNI 1726:2019

Syakira Suci Maharani*, Sapta, Sari Farlianti****

***)** Alumni Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas IBA

****) Dosen Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas IBA**

Kepulauan Riau, Kota Batam Kecamatan Nongsa merupakan kota yang menjadi destinasi wisata dan pusat investasi yang menarik. Nongsa dikenal dengan objek wisata pantai, marina dan resort yang mendorong peningkatan kebutuhan akomodasi, termasuk hotel berbintang. Perancangan struktur beton bertulang bangunan hotel 13 lantai di Kota Batam, yang menerapkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019. Bangunan berukuran 55×21 m dengan tinggi 46 m ini menggunakan beton mutu 30 MPa dan baja tulangan f_y 420 MPa, dengan dimensi balok 1 (40×60) dan balok 2 (25×40) dan kolom 1 (85×85), kolom 2 (80×80), kolom 3 (65×65) dan kolom 4 (60×60). Hasil analisis komponen struktur menunjukkan bahwa telah memenuhi semua ketentuan SNI 2847:2019. Hasil penelitian membuktikan bahwa desain SRPMK ini mampu menjamin keamanan dan komponen struktur bangunan hotel dalam menghadapi beban gempa.

Kata Kunci: Hotel, SRPMK, desain tahan gempa, SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, analisis.

ABSTARCT

CONCRETE STRUCTURE DESIGN 13-STOREY HOTEL BUILDING EARTHQUAKE RESISTANCE IN BATAM CITY RIAU ISLAND PROVINCE BASED ON SNI 2847:2019 AND SNI 1726:2019

Syakira Suci Maharani*, Sapta, Sari Farlianti****

**) Graduate of the Faculty of Engineering, Civil Engineering Study Program, IBA University*

****) Lecturer at the Faculty of Engineering, Civil Engineering Study Program, IBA University*

Riau Islands, Batam City, Nongsa District is a city that is an attractive tourist destination and investment center. Nongsa is known for its beach, marina and resort tourist attractions that encourage an increase in the need for accommodation, including star hotels. The reinforced concrete structure design of a 13-story hotel building in Batam City, which applies the Special Moment Resisting Frame System (SRPMK) according to SNI 2847: 2019 and SNI 1726: 2019 standards. The building measuring 55x21 m with a height of 46 m uses 30 MPa quality concrete and 420 MPa fy reinforcing steel, with dimensions of beam 1 (40x60) and beam 2 (25x40) and column 1 (85x85), column 2 (80x80), column 3 (65x65) and column 4 (60x60). The results of the structural component analysis show that it has met all the provisions of SNI 2847: 2019. The research results demonstrate that the SRPMK design is capable of ensuring the safety and sturdiness of hotel building structural components in facing earthquake loads.

Keywords: *Hotel, SRPMK, earthquake-resistant design, SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, analysis.*

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(Qs. Al Insyirah: 5-6)

“Bukan kesulitan yang membuat kita takut, tapi sering ketakutanlah yang membuat jadi sulit. Jadi jangan mudah menyerah”

(Joko Widodo)

“Semua jatuh bangunmu, hal yang biasa angan dan pertanyaan waktu yang menjawabnya, berikan tenggat waktu bersedihla secukupnya, rayakan perasaanmu sebagai manusia”

(Baskara Putra – Hindia)

“Perang telah usai, aku bias pulang. Kubaringkan panah dan berteriak MENANG!”

(Nadin Hamizah)

“Kesalahan terbesar seseorang adalah menganggap bahwa masih ada hari esok”

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim....

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan penuh kerendahan hati dan kesabaran yang luar biasa.

Dengan tinta emas rasa syukur dan hati yang penuh khidmat, penelitian ini kupersembahkan sebagai wujud cinta dan dedikasi kepada:

1. Teristimewa dan cinta pertamaku, Bapak M.Taufik, pintu surgaku Mama Erni dan yang kusayangi kedua Kakakku dan gelar sarjana ini kupersembahkan untuk kedua orang tua saya dan kedua kakaku yang, yang selalu memberikan dukungan penulis berupa moril maupun materil yang tak terhingga serta do'a yang tidak ada putusnya yang diberikan kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan studi sarjana hingga selesai, semoga rahmat Allah SWT selalu mengiringi kehidupanmu yang barokah, senantiasa diberi kesehatan dan Panjang umur.
2. Bapak Ir. Sapta, S.T., M.T., IPU Asean Eng dan Ibu Sari Farlianti S.T., M.T. Dosen pembimbing yang tak pernah lelah membimbing dengan sabar, mengoreksi dengan teliti, dan menginspirasi dengan keteladanan. Ilmu yang kalian berikan adalah lentera yang menerangi jalan penelitianku.
3. Keluarga Besar IMS-UIBA (Ikatan Mahasiswa Sipil Universitas IBA), yang telah memberiku ruang untuk berkembang, jatuh bangkit, dan akhirnya berdiri tegap dengan capaian akademik.
4. “Kreak Uyee”, (Novalia Ramadhani, Asharul Khafi, Mozad Syahrul Ramadhan, M. Helmi Ananda, Rahmadi Valdis, Muammar Fitrah Fahreza) untuk setiap diskusi hingga dini hari, *sharing session* penuh canda dan *support system* yang tak pernah padam. Kalian adalah tim terbaik dalam perjalanan ini.
5. “Anak Bunda” (Syifa Ulhaq, Adelia Lestari, Shinta Yolanda) terimakasih telah membersamai penulis semasa kuliah dari sejak penulis terdaftar

menjadi mahasiswa baru hingga sampai saat ini, walaupun jalan kita sekarang berbeda namun canda tawa kalian masih selalu membekas dan terngiang dibenak hati mungil penulis ini.

6. Untuk diriku yang tak pernah menyerah tak pernah lelah, terimakasih telah bertahan melawati malam-malam yang panjang dengan penuh kegelisahan, pikiran yang kacau, *deadline* yang menekan, dan segala keraguan yang mencoba menghentikan langkahmu. Namun diri ini yang tak pernah lelah melawati rasa semua hal itu walaupun sambil sedikit mengeluarkan air mata semasa perjalanan penelitian ini.
7. Terakhir, untukmu kelak yang telah menjadi jodohku, entah jodoh atau kematian yang menemuiku lebih dahulu, namun penulis percaya bahwa segala sesuatu sudah digariskan dengan cara yang terbaik. Kelak kamu adalah salah satu alasan penulis menyelesaikan skripsi ini, meskipun saat ini penulis tidak mengetahui keberadaanmu entah di bumi mana dan sedang menggenggam tangan siapa. Serta skripsi ini adalah bukti nyata bahwa tidak ada lelaki manapun yang menemani perjalanan pahit dan nikmat ini dalam wujud “kekasih” bila nanti kau bertemu denganku sebagai jodoh di masa depan, kau tak harus berperang dengan rasa cemburu perih nama lain yang disini.

KATA PENGANTAR

Assalamua'alaikum Wr.Wb.

Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan izin-Nya lah penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi dengan judul **“Perancangan Struktur Beton Bertulang Bangunan Hotel 13 Lantai Tahan Gempa di Kepulauan Riau Kota Batam Berdasarkan SNI 2847:2019 Dan SNI 1726:2019”**.

Laporan Skripsi ini dibuat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang.

Dalam penyelesaian dan penyusunan Skripsi ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dalam hal ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu **Dr. Ir. Hardayani Haruno, M.T.** Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang.
2. Bapak **Robi Sahbar, S.T., M.T.** Selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas IBA Palembang.
3. Bapak **Ir. Sapta, S.T., M.T., IPU Asean Eng** Selaku Dosen Pembimbing I Program Studi Teknik Sipil Universitas IBA Palembang.
4. Ibu **Sari Farlianti S.T., M.T** Selaku Dosen Pembimbing II Program Studi Teknik Sipil Universitas IBA Palembang.
5. Seluruh Dosen dan Staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang.
6. Kedua Orang Tua dan Kakak-Kakakku tercinta yang telah memberikan Do'a serta membantu kami secara moril dan materil.
7. Diri saya sendiri, yang sudah rela berjuang untuk menuntaskan tanggung jawab.
8. Teman-teman Angkatan 21 Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang.

9. Dan semua pihak yang telah terlibat dalam membantu dan memberikan petunjuk dalam menyelesaikan laporan ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Demikian skripsi ini menambahi ilmu dan pengetahuan bagi pembaca serta banyak memberi manfaat bagi rekan-rekan Mahasiswa/i jurusan Teknik Sipil lainnya, walaupun penulis dengan menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan kelemahan dalam penyusunan skripsi ini, baik dari segi isi maupun teknik penulisan yang terlepas dari pengamatan penulis, hal ini tak lain dikarenakan oleh keterbatasan penulis. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membantu dalam memperbaiki kekurangan-kekurangan pada skripsi ini.

Akhir kata, penulis mengucapkan terimakasih atas segala dukungannya, semoga apa yang kita lakukan mendapatkan limpahan rahmat dari Allah SWT dan berguna bagi kita semua.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Palembang, Juli 2025

Penulis

Syakira Suci Maharani

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
ABSTRAK	vi
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR NOTASI.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Pembebanan Struktur	5
2.2.1 Beban Mati atau <i>Dead Load</i> (DL)	6
2.2.2 Beban Mati Tambahan atau <i>Super Imposed Dead Load</i> (SIDL).....	10
2.2.3 Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	10
2.2.3 Beban Gempa (<i>SeismicLoad</i>).....	12
2.3 Perancangan Struktur Bangunan Tahan Gempa	13
2.3.1 Klasifikasi Situs (Jenis Tanah)	13
2.3.2 Percepatan Puncak (PGA)	14
2.3.3 Respon Spektral Percepatan S_{MS} dan S_{M1} pada Permukaan Tanah .	18
2.3.4 Parameter Respon Spektral Percepatan Desain	20
2.3.5 Respon Spektral Desain	20
2.3.6 Kategori Resiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa.	22

2.3.7	Kategori Desain Gempa (KDG)	24
2.3.8	Resiko Kegempaan	25
2.3.9	Gaya Geser Dasar Seismik	26
2.3.10	Periode Fundamental Alami	27
2.3.13	Pembesaran Momen Torsi Tidak Terduga	28
2.3.14	Simpangan Antar Tingkat.....	29
2.3.15	Efek P-Delta dan <i>Soft Storey</i>	31
2.4	Stabilitas Struktur.....	32
2.5	Perancangan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa	33
2.5.1	Kekuatan Perlu.....	33
2.5.2	Kekuatan Desain	34
2.6	Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB).....	36
2.7	Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)	37
2.8	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		51
3.1	Metode Penelitian.....	51
3.1.1	Alur Penelitian	51
3.2	Metode Pelaksanaan.....	52
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		54
4.1	Data Rencana Struktur	54
4.2	Pembebanan Stuktur.....	63
4.2.1	Beban Gravitasi.....	63
4.2.2	Beban Gempa.....	66
4.3	Analisis Struktur	69
4.3.1	Hasil Pembebanan Struktur	70
4.3.2	Penentuan Periode Fundamental Struktur (T)	70
4.3.3	<i>Modal Response Spectrum</i> (MRS).....	72
4.3.4	Beban Geser Dasar Gempa	75
4.3.5	Simpangan (<i>Displacement</i>) Akibat Pengaruh Beban Gempa	77
4.3.6	Pemeriksaan <i>Story Drifts</i>	77
4.3.7	Distribusi Gaya Gempa.....	79
4.3.8	Stabilitas Guling	81
4.3.9	Pengaruh P-Delta	82
4.3.10	Ketidakberaturan Struktur Vertikal (<i>Irregularitas Vertical</i>).....	83

4.4	Kombinasi Beban	93
4.5	Desain Struktur Atas	93
	4.5.1 Respon Struktur	93
	4.5.2 Desain Pelat Lantai	97
	4.5.3 Desain Balok.....	98
4.6	Pembahasan.....	145
BAB V PENUTUP		153
5.1	Kesimpulan	153
5.2	Saran.....	153
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	PGA Gempa Maksimum Yang Di Pertimbangkan Rata – Rata Geometrik Resiko Tertarget (MCEG)	15
Gambar 2.2	Ss Gempa Maksimum Yang Di Pertimbangkan Resiko Tertarget (MCER)	16
Gambar 2.3	S1 Gempa Maksimum Yang Di Pertimbangkan Resiko Tertarget (MCER)	17
Gambar 2.4	Spektrum Respons Desain.....	21
Gambar 2.5	Faktor Pembesaran Torsi (A_x).....	29
Gambar 2.7	Penentuan simpangan antar Tingkat	30
Gambar 2.7	Gaya Geser Rencana SRPMM	38
Gambar 2.9	Senggang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimal Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal.....	42
Gambar 2.9	Gaya Geser Rencana SRPMK.....	43
Gambar 2.10	Penulangan Transversal Pada Kolom.....	46
Gambar 2.11	Penulangan Transversal Pada Kolom dengan	47
Gambar 2.12	Perencanaan Geser Desain untuk Kolom	48
Gambar 3.1	Diagram Alur Penelitian.....	50
Gambar 3.2	Flowchart Perancangan Struktur	53
Gambar 4.1	Perspektif Struktur Bangunan Rencana	54
Gambar 4.2	Denah Balok L2-L13.....	55
Gambar 4.3	Denah Kolom L2-L8	55
Gambar 4.4	Denah Kolom L9-L13	56
Gambar 4.5	Denah Plat Lantai L2-L13.....	57
Gambar 4.6	Portal Grid A	58
Gambar 4.7	Portal Grid B, C dan D	58
Gambar 4.8	Portal Grid E dan F	59
Gambar 4.9	Portal Grid G, H dan I	59
Gambar 4.10	Portal Grid J	60
Gambar 4.11	Portal Grid 1	60

Gambar 4.12 Portal Grid 2 dan 7	61
Gambar 4.13 Portal Grid 3 dan 6	61
Gambar 4.14 Portal Grid 4 dan 5	62
Gambar 4.15 Denah Area Pembebanan Lantai 2 - Lantai 12	63
Gambar 4.16 Denah Area Pembebanan Lantai 13	64
Gambar 4.17 Denah Area Pembebanan Dag Atap	64
Gambar 4.18 Data Respon Spektra Lokasi Nongsa	66
Gambar 4.19 Grafik Respon Spektra	67
Gambar 4.20 Mode 1 (Arah-y).....	73
Gambar 4.21 Mode 2 (Arah-x).....	74
Gambar 4.22 Mode 3 (Arah-z).....	74
Gambar 4.23 Diagram Momen Pelat Lantai Arah-x.....	94
Gambar 4.24 Diagram Momen Pelat Lantai Arah-y	94
Gambar 4.25 Diagram Momen Balok dan Kolom	95
Gambar 4.26 Diagram Aksial Balok dan Kolom	95
Gambar 4.27 Diagram Geser Balok dan Kolom	96
Gambar 4.28 Detail Kolom 1	110
Gambar 4.29 Diagram Interaksi Kolom 1 Arah-x	112
Gambar 4.30 Diagram Interaksi Kolom 1 Arah-y	113
Gambar 4.31 Detail Kolom 2	114
Gambar 4.32 Diagram Interaksi Kolom Arah-x	117
Gambar 4.33 Diagram Interaksi Kolom Arah-y	118
Gambar 4.34 Detail Kolom 3	119
Gambar 4.35 Diagram Interaksi Kolom 3 Arah-x	121
Gambar 4.36 Diagram Interaksi Kolom 3 Arah-y	122
Gambar 4.37 Detail Kolom 4	123
Gambar 4.38 Diagram Interaksi Kolom 4 Arah-x	126
Gambar 4.39 Diagram Interaksi Kolom 4 Arah-y	127
Gambar 4.40 <i>Confinement</i> K1.....	132
Gambar 4.41 <i>Confinement</i> K2.....	136
Gambar 4.42 <i>Confinement</i> K3.....	140

Gambar 4.43 <i>Confinement</i> K4.....	144
Gambar 4.44 Grafik Displacement (mm).....	146
Gambar 4.45 Grafik Interstory Drift	147
Gambar 4.46 Grafik Analisis Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a	148
Gambar 4.47 Grafik Analisis Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b	148
Gambar 4.48 Grafik Analisis <i>Vertical Exception</i>	149

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Beban Mati Desain Minimum (kN/m^2).....	7
Tabel 2.2	Beban hidup Merata dan Terpusat	10
Tabel 2.3	Klasifikasi Situs	14
Tabel 2.4	Koefisien Situs F_{PGA}	18
Tabel 2.5	Koefisien Periode Pendek (F_a).....	19
Tabel 2.6	Koefisien Periode 1,0 detik (F_v).....	19
Tabel 2.7	Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non-gedung untuk Beban Gempa	22
Tabel 2.8	Faktor Keutamaan Gempa	24
Tabel 2.9	Kategori Dasin Gempa (KDG) Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Periode Pendek (S_{DS})	24
Tabel 2.10	Kategori Desain Gempa (KDG) Berdasarkan Parameter Respon	24
Tabel 2.11	Tingkat Resiko Kegempaan.....	25
Tabel 2.12	Faktor R , 0 , dan C_d untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik.....	25
Tabel 2.13	Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung.....	27
Tabel 2.14	Nilai Parameter Periode endekatan (C_t dan α).....	28
Tabel 2.15	Simpangan Antar Tingkat Izin (Δ_{izin})	30
Tabel 2.16	Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)	35
Tabel 2.17	Faktor Reduksi Kekuatan untuk Momen, Gaya Aksial, atau Kombinasi Momen dan Gaya Aksial.....	35
Tabel 2.18	Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) untuk Seksi Akhir dari Prategang.....	35
Tabel 4.1	Dimensi Kolom.....	57
Tabel 4.2	Dimensi Balok.....	55
Tabel 4.3	Rekap Beban Gravitasi	70
Tabel 4.4	Perioda Ragam Getar dan Frekuensi dalam kondisi <i>Un-Crack</i>	71
Tabel 4.5	Perioda Ragam Getar dan Frekuensi dalam Kondisi <i>Crack</i>	72
Tabel 4.6	Rasio Model Partisipasi Massa dalam Kondisi <i>Un-crack</i>	73
Tabel 4.7	Rekap Beban Mati dan Beban Hidup Berdasarkan.....	75
Tabel 4.8	<i>Base Shear</i> Sebelum Terkoreksi (<i>crack</i>).....	76

Tabel 4.9	<i>Base Shear</i> Sebelum Terkoreksi (<i>crack</i>).....	76
Tabel 4.10	Data Simpangan Lantai Akibat Beban Lateral	77
Tabel 4.11	Drifts Arah Sumbu-x.....	78
Tabel 4.12	Story Drifts Arah Sumbu-y	79
Tabel 4.13	Rangkuman Berat Struktur per lantai akibat Beban Mati	80
Tabel 4.14	Distribusi Gaya Gempa Perlantai Arah Sumbu-x	80
Tabel 4.15	Distribusi Gaya Gempa Perlantai Arah Sumbu-y	81
Tabel 4.16	Pemeriksaan P-Delta Arah Sumbu-x	82
Tabel 4.17	Pemeriksaan P-Delta Arah Sumbu-y	83
Tabel 4.18	Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a Arah-x.....	84
Tabel 4.19	Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a Arah-y.....	85
Tabel 4.20	Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b Arah-x.....	87
Tabel 4.21	Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b Arah-y.....	88
Tabel 4.22	Pemeriksaan <i>Story Drift Ratio</i> (Pengecualian) Arah-x.....	90
Tabel 4.23	Pemeriksaan <i>Story Drift Ratio</i> (Pengecualian) Arah-y	90
Tabel 4.24	Faktor pembesaran Torsi Tidak Terduga	92
Tabel 4.25	Dimensi Balok 1.....	104
Tabel 4.26	Dimensi Baok 2.....	109
Tabel 4.27	Diagram Interaksi Kolom 1 Arah-x	112
Tabel 4.28	Diagram Interaksi Kolom 1 Arah-y	113
Tabel 4.29	Diagram Interaksi Kolom 2 Arah-x	116
Tabel 4.30	Diagram Interaksi Kolom 2 Arah-y	117
Tabel 4.31	Diagram Interaksi Kolom 3 Arah-x	121
Tabel 4.32	Diagram Interaksi Kolom 4 Arah-x	125
Tabel 4.33	Diagram Interaksi Kolom 4 Arah-y	126
Tabel 4.34	Hasil Analisis Struktur Plat Lantai	150
Tabel 4.35	Hasil Analisis Struktur Lentur Balok.....	150
Tabel 4.36	Hasil Analisis Komponen Struktur Lentur Aksial K1 (uk. 85x85) ..	151
Tabel 4.37	Hasil Analisis Komponen Struktur Lentur Aksial K2 (80x80)	151
Tabel 4.38	Hasil Analisis Komponen Struktur Lentur Aksial K3 (65 x 65)	152
Tabel 4.39	Hasil Analisis Komponen Struktur Lentur Aksial K4 (60 x 60)	152

DAFTAR NOTASI

PGA_M	: Nilai Percepatan Puncak Di Permukaan Tanah Berdasarkan Klasifikasi Situs
F_{PGA}	: Faktor Amplikasi Untuk Pga
F_a	: Koefisien Periode Pendek
S_s	: Koefisien Periode 1,0 Detik
S_1	: Nilai Spektra Percepatan Untuk Periode Pendek 0,2 Detik Dibatuan Dasar (SB)
S_{DS}	: Nilai Spektra Percepatan Untuk Periode 1,0 Detik Dibatuan Dasar (SB)
S_{D1}	: Parameter Respons Spektral Percepatan Desain Pada Periode Pendek
T	: Parameter Respons Spektral Percepatan Desain Pada Periode 1,0 Detik
T_0	: Periode Getar Fundamental Struktur
T_s	: Periode Panjang
C_d	: Faktor Pembesar Defleksi
δ_{xe}	: Lendutan Hasil Analisa Struktur Kondisi Elastis
I_e	: Faktor Keutamaan Bangunan
h_x	: Tinggi Tingkat Dibawah Tingkat X
P_x	: Jumlah Seluruh Beban Tak Terfaktor Desain Di Atas Level X
h_{sx}	: <i>Inter Storydrift</i> Level X
V_x	: Geser Tingkat Antara Level X Dan Level $(x - 1)$
C_d	: Faktor Pembesar Defleksi
θ	: Koefisien Stabilitas
β	: Rasio Geser
M_{OT}	: Jumlah Gaya <i>Overtuning</i> Akibat Gaya Lateral
M_{ST}	: Momen Stabilitas Yang Dihasilkan Oleh Beban Mati Struktur
D	: Beban Mati
L	: Beban Hidup

L_r	: Beban
R	: Beban Ujan
W	: Beban Angin Datang Dan Angin Pergi
E	: Beban Gempa
E_y	: Beban Gempa Vertikal
E_x	: Beban Gempa Horizontal
A_v	: Rasio Tulangan Sirip
b_w	: Luas Bruto Penampang
s	: Luas Inti Komponen Tekan Yang Ditulangi Tulangan Sirip
f_c	: Kuat Tekan Beton (Mpa)
A_v	: Luas Tulangan Geser
b_w	: Lebar Badan Balok
s	: Jarak Tulangan Geser
V_e	: Gaya Geser Ultimate Balok Akibat Gempa
M_{pr1}	: Kemungkinan Momen Diperletakkan 1 Akibat Goyangan Kekiri Atau Ke Kanan
M_{pr2}	: Kemungkinan Momen Diperletakkan 2 Akibat Goyangan Kekiri Atau Ke Kanan
W_u	: Beban Terfaktor Akibat Gravitasi
L	: Panjang Bentang Bersih Balok
ΣM_{nc}	: Jumlah Tulangan Lentur Nominal Kolom Yang Menyambung Kedalam Joint
ΣM_{nc}	: Jumlah Kekuatan Lentur Nominal Balok Yang Menyambung Kedalam Joint
ℓ_u	: Tinggi Bersih Kolom

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Provinsi Kepulauan Riau, khususnya kawasan Kecamatan Nongsa terletak di Kota Batam, merupakan salah satu Kawasan strategis yang mengalami pertumbuhan pesat dalam sektor pariwisata dan bisnis. Sebagai daerah yang berbatasan langsung dengan Singapura, Batam menjadi destinasi wisata dan pusat investasi yang menarik. Nongsa dikenal dengan objek wisata pantai, marina dan resort yang mendorong peningkatan kebutuhan akomodasi, termasuk hotel berbintang. Dengan meningkatnya jumlah wisatawan domestik dan mancanegara, pembangunan fasilitas penginapan seperti hotel menjadi kebutuhan mendesak. Hotel yang nyaman, aman dan memenuhi standar konstruksi yang baik sangat diperlukan untuk mendukung pertumbuhan pariwisata di Nongsa. Pembangunan hotel di kawasan ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan kenyamanan wisatawan tetapi juga untuk mendukung aktivitas perekonomian lokal.

Beton bertulang dipilih sebagai material utama karena memiliki kemampuan yang baik dalam menahan beban dinamis ketika didesain dengan prinsip daktilitas yang tepat. Analisis struktur secara komprehensif diperlukan untuk memastikan kekuatan dan kekakuan bangunan dalam menghadapi berbagai jenis pembebanan.

Perencanaan struktur harus mempertimbangkan berbagai faktor, seperti beban hidup, beban mati, beban gempa, dan kondisi tanah di kawasan Kecamatan Nongsa yang mungkin memiliki karakteristik geologis tertentu. Kesalahan dalam perhitungan atau pemilihan sistem struktur dapat mengakibatkan kegagalan konstruksi, yang berpotensi menimbulkan kerugian material bahkan korban jiwa. Oleh karena itu, diperlukan analisis yang komprehensif dalam merancang struktur beton bertulang untuk bangunan hotel ini, mulai dari pemodelan, perhitungan pembebanan, hingga pemilihan material yang sesuai.

Pada penelitian ini difokuskan pada perencanaan struktur beton bertulang bangunan hotel di Kepulauan Riau, khususnya kawasan Kecamatan Nongsa dengan system yang dirancang berdasarkan beban gempa sesuai SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Pendekatan analisis respons spektrum digunakan untuk pembebanan seismik. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan konstruksi hotel di daerah kepulauan serta berkontribusi pada ilmu pengetahuan di bidang rekayasa struktur beton bertulang.

Berdasarkan latar belakang di atas maka penulis membuat atau menyusun berjudul **“Perancangan Struktur Beton Bertulang Bangunan Hotel 13 Lantai Tahan Gempa di Kota Batam Kepulauan Riau Berdasarkan SNI 2847:2019 Dan SNI 1726:2019”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan diatas, maka permasalahan yang diangkat penulis dalam skripsi ini adalah :

1. Permodelan struktur beton bertulang bangunan hotel 13 lantai memenuhi persyaratan SNI 1726:2019.
2. Desain struktur beton bertulang memenuhi persyaratan SNI 2847:2019.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah:

1. Membuat permodelan struktur beton bertulang bangunan hotel 13 lantai memenuhi persyaratan SNI 1726:2019.
2. Melakukan desain struktur beton bertulang memenuhi persyaratan SNI 2847:2019.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan diatas, maka penulis membatasi dalam skripsi ini adalah :

1. Permodelan struktur bangunan hotel menggunakan perangkat software ETABS
2. Analisis ketahanan struktur atas terhadap beban gempa menggunakan SNI 1726:2019 tentang cara perencanaan ketahanan gempa untuk

bangunan gedung dan non Gedung dan SNI 2847:2019 persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung

3. Perencanaan dibuat pada Kepulauan Riau Kota Batam Kecamatan Nongsa
4. Bangunan beton bertulang 13 (tiga belas) lantai

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

a. Bagian Pendahuluan Skripsi

Bagian ini berisi halaman judul, halaman persetujuan pembimbing, halaman persetujuan dewan penguji, halaman pernyataan, abstrak, abstract, motto, persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, daftar lampiran dan daftar notasi.

b. Bagian Isi Skripsi, berisi :

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan masalah, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini akan menguraikan kajian teori yang mendasari dari penelitian.

BAB III Metodologi Penelitian

Pada bab ini akan memaparkan mengenai metode analisis dan pengumpulan data pada perancangan.

BAB IV Analisis Dan Pembahasan

Pada bab ini membahas hasil dari analisis pada perancangan.

BAB V Penutup

Pada bab ini berisi kesimpulan yang menjawab rumusan masalah dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

c. Bagian Akhir Skripsi

Bagian ini dilengkapi dengan daftar pustaka dan lampiran-lampiran yang memuat data pendukung untuk memvalidasi hasil penelitian secara komprehensif.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Hotel didefinisikan sebagai, suatu jenis akomodasi yang secara khusus menyelenggarakan pelayanan penginapan, penyediaan makanan dan minuman, serta berbagai jasa penunjang lainnya kepada masyarakat umum, yang dikelola secara profesional sebagai entitas bisnis komersial dengan sistem manajemen terstruktur. Secara yuridis, hotel harus memenuhi kriteria minimum berupa penyediaan kamar tidur dalam jumlah tertentu (minimal 10 unit) yang dilengkapi dengan fasilitas sanitasi pribadi, area publik, serta sistem pelayanan yang tersedia selama 24 jam secara terus-menerus. Karakteristik utama yang membedakan hotel dengan bentuk akomodasi lainnya terletak pada kelengkapan fasilitas, standar pelayanan yang terstandardisasi, skala operasional yang lebih besar, serta adanya sistem manajemen profesional yang mengatur seluruh aspek operasional.

Definisi hukum ini juga menekankan bahwa hotel harus memiliki orientasi komersial yang jelas dengan membuka akses seluas-luasnya bagi masyarakat umum, sekaligus berfungsi sebagai sarana penunjang berbagai aktivitas sosial seperti pertemuan bisnis, kegiatan wisata, maupun acara-acara khusus. Dalam konteks peraturan perundangan, definisi ini menjadi landasan pokok untuk penetapan klasifikasi hotel (berbintang dan non-bintang), penentuan standar minimal fasilitas, serta pengaturan mengenai kewajiban penyelenggaraan jasa yang harus dipenuhi oleh setiap pengusaha hotel. Lebih lanjut, definisi ini juga menjadi acuan dalam penyusunan berbagai ketentuan teknis mengenai bangunan fisik, sistem keamanan, kesehatan, kebersihan, dan aspek-aspek lain yang terkait dengan penyelenggaraan usaha perhotelan di Indonesia.

2.2 Pembebanan Struktur

Prosedur pembebanan struktur merupakan tahapan fundamental dalam proses perancangan bangunan, yang melibatkan identifikasi, kuantifikasi, dan implementasi berbagai jenis beban eksternal maupun internal yang akan

memengaruhi kinerja struktur selama masa layannya. Dalam konteks penelitian tugas akhir ini, analisis pembebanan difokuskan pada empat komponen beban utama, yaitu: (1) beban mati (*dead load*) yang merepresentasikan berat permanen elemen struktur dan komponen non-struktural; (2) beban mati tambahan (*Superimposed Dead Load/SIDL*) yang mencakup material finishing dan utilitas bangunan; (3) beban hidup (*live load*) akibat aktivitas penghuni dan penggunaan bangunan; serta (4) beban dinamik gempa yang dihitung berdasarkan respons spektra sesuai zonasi seismik. Implementasi kalkulasi beban tersebut dilakukan secara komputasional melalui platform analisis struktur ETABS, yang memungkinkan pemodelan matematis multidimensi, simulasi interaksi antar elemen struktur, dan evaluasi kinerja sistem struktur secara holistik di bawah berbagai kombinasi pembebanan. Pendekatan ini memastikan bahwa desain yang dihasilkan tidak hanya memenuhi kriteria kekuatan (*strength*) dan layanan (*serviceability*), tetapi juga konsisten dengan prinsip keselamatan struktural yang diamanatkan dalam standar konstruksi terkini.

2.2.1 Beban Mati atau *Dead Load* (DL)

Beban mati (*dead load*) merupakan komponen fundamental dalam perancangan struktur yang bersifat permanen dan statis, dihasilkan dari berat seluruh material konstruksi yang terintegrasi secara tetap dalam sistem bangunan. Jenis pembebanan ini mencakup massa struktural elemen-elemen primer seperti kolom, balok, pelat lantai (*floor slab*), serta komponen sekunder termasuk dinding partisi, sistem atap (*roofing system*), dan lapisan penutup lantai (*floor finishing*). Karakteristik utamanya yang bersifat konstan dan tidak mengalami variasi selama masa layan struktur (*service life*) menjadikannya sebagai parameter deterministik dalam perhitungan desain. Dalam perspektif analisis struktural, akurasi penentuan besar beban mati menjadi kritikal karena berperan sebagai basis perhitungan untuk mengevaluasi kapasitas lentur (*flexural capacity*), aksial (*axial capacity*), serta stabilitas keseluruhan sistem struktur terhadap kombinasi pembebanan lainnya. Berdasarkan SNI 1727-2020 pada Tabel C3.1.1 mengenai beban mati desain minimum terdapat komponen dari beban mati beserta nilai bebannya

Tabel 2.1 Beban Mati Desain Minimum (kN/m²)

Komponen	Beban (kN/m²)
CEILINGS	
<i>Acoustical fibreboard</i>	0,05
<i>Gypsum board (per mm thickness)</i>	0,008
<i>Mechanical duct allowance</i>	0,19
<i>Plaster on tile or concrete</i>	0,24
<i>Plaster on wood lath</i>	0,38
<i>Suspended steel channel system</i>	0,10
<i>Suspended metal lath and cement plaster</i>	0,72
<i>Suspended metal lath and gypsum plaster</i>	0,48
<i>Wood furring suspension system</i>	0,12
COVERING, ROOF AND WALL	
<i>Asbestos-cement shingles</i>	0,19
<i>Asphalt shingles</i>	0,10
<i>Cement tile</i>	0,77
<i>Clay tile (for mortar add 0,48 kN/m²)</i>	
<i>Book tile, 51 mm</i>	0,57
<i>Book tile, 76 mm</i>	0,96
<i>Ludowici</i>	0,48
<i>Roman</i>	0,57
<i>Spanish</i>	0,91
<i>Composition</i>	
<i>Three-ply ready roofing</i>	0,05
<i>Four-ply felt and gravel</i>	0,26
<i>Five-ply felt and gravel</i>	0,29
<i>Copper or tin</i>	0,05
<i>Corrugated asbestos-cement roofing</i>	0,19
<i>Deck, metal, 20 gauge</i>	0,12
<i>Deck, metal, 18 gauge</i>	0,14
<i>Decking, 51-mm wood (Douglas fir)</i>	0,24
<i>Decking, 76-mm wood (Douglas fir)</i>	0,48
<i>Fiberboard, 13 mm</i>	0,04
<i>Gypsum sheathing, 13 mm</i>	0,10
<i>Insulation, roof board (per mm thickness)</i>	
<i>Cellular glass</i>	0,0013
<i>Fibrous glass</i>	0,0021
<i>Fiberboard</i>	0,0028
<i>Perlite</i>	0,0015
<i>Polystyrene foam</i>	0,0004
<i>Urethane foam with skin</i>	0,0009
<i>Plywood (per mm thickness)</i>	0,006
<i>Rigid insulation, 13 mm</i>	0,04
<i>Skylight, metal frame, 10-mm wire glass</i>	0,38

Sumber : SNI 1727:2020, Tabel C3 1-1.

Tabel 2.1 (Lanjutan) Beban Mati Desain Minimum (kN/m²)

Komponen					Beban (kN/m²)
<i>Polystyrene foam</i>					0,0004
<i>Urethane foam with skin</i>					0,0009
<i>Plywood (per mm thickness)</i>					0,006
<i>Rigid insulation, 13 mm</i>					0,04
<i>Skylight, metal frame, 10-mm wire glass</i>					0,38
<i>Slate, 5 mm</i>					0,34
<i>Slate, 6 mm</i>					0,48
<i>Waterproofing membranes:</i>					
<i>Bituminous, gravel-covered</i>					0,26
<i>Bituminous, smooth surface</i>					0,07
<i>Liquid applied</i>					0,05
<i>Single-ply, sheet</i>					0,03
<i>Wood sheathing (per mm thickness)</i>					
<i>Plywood</i>					0,0057
<i>Oriented strand board</i>					0,0062
<i>Wood shingles</i>					0,14
FLOOR FILL					
<i>Cinder concrete, per mm</i>					0,0017
<i>Lightweight concrete, per mm</i>					0,0015
<i>Sand, per mm</i>					0,0015
<i>Stone concrete, per mm</i>					0,023
FLOORS AND FLOOR FINISHES					
<i>Asphalt block (51 mm), 13-mm mortar</i>					1,44
<i>Cement Finish (25 mm) on stone-concrete fill</i>					1,53
<i>Ceramic or quarry tile (19 mm) on 13-mm mortar bed</i>					0,77
<i>Ceramic or quarry tile (19 mm) on 25-mm mortar bed</i>					1,10
<i>Concrete fill finish (per mm thickness)</i>					0,0023
<i>Hardwood flooring, 22 mm</i>					0,19
<i>Linoleum or asphalt tile, 6 mm</i>					0,05
<i>Marble and mortar on stone-concrete fill</i>					1,58
<i>Slate (per mm thickness)</i>					0,0028
<i>Solid flat tile on 25-mm mortar base</i>					1,10
<i>Subflooring, 19 mm</i>					0,14
<i>Terrazzo (38 mm) directly on slab</i>					0,91
<i>Terrazzo (25 mm) on stone-concrete fill</i>					1,53
<i>Terrazzo (25 mm) 51-mm stone concrete</i>					1,53
<i>Wood block (76 mm) on mastic, no fill</i>					0,48
<i>Wood block (76 mm) on 13-mm nirtar base</i>					0,77
FLOOR, WOOD JOIST (NO PLASTER)					
DOUBLE WOOD FLOOR					
<i>Joint size (mm)</i>	<i>305-mm spacing (kN/m²)</i>	<i>406-mm spacing (kN/m²)</i>	<i>610-mm spacing (kN/m²)</i>		
51x152	0,29	0,24	0,24		

Sumber : SNI 1727:2020, Tabel C3 1-1.

Tabel 2.1 (Lanjutan) Beban Mati Desain Minimum (kN/m²)

Komponen					Beban (kN/m ²)
51x203	0,29	0,29	0,24		
51x254	0,34	0,29	0,29		
FRAME PARTITIONS					
<i>Movable steel partitions</i>					0,19
<i>Wood or steel studs 13-mm gypsum board each side</i>					0,38
<i>Wood studs, 51x102, unplastered</i>					0,19
<i>Wood studs, 51x102, plastered one side</i>					0,57
<i>Wood studs, 51x102, plastered two sides</i>					0,96
FRAME WALLS					
<i>Exterior stud walls:</i>					
<i>51 mm x 102 mm @406mm, 16mm gypsum, insulated, 10-mm siding</i>					0,53
<i>51 mm x 152 mm @406mm, 16mm gypsum, insulated, 10-mm siding</i>					0,57
<i>Exterior stud walls with brick veneer</i>					2,30
<i>Windows, glass, frame, and sash</i>					0,38
<i>Clay brick wythes:</i>					
<i>102 mm</i>					1,87
<i>203 mm</i>					3,78
<i>305 mm</i>					5,51
<i>406 mm</i>					7,42
<i>Hollow concrete masonry wythes:</i>					
<i>Whyte thickness (in mm)</i>	102 mm	152	203	254	305
<i>Density of unit (16,49 kN/m³) with grout spacing as follows:</i>					
<i>No grout</i>	1,05	1,29	1,68	2,01	2,35
<i>1,219 mm</i>		1,48	1,92	2,35	2,78
<i>1,016 mm</i>		1,58	2,06	2,54	3,02
<i>813 mm</i>		1,63	2,15	2,68	3,16
<i>610 mm</i>		1,77	2,35	2,92	3,45
<i>406 mm</i>		2,01	2,68	3,35	4,02
<i>Full grout</i>		2,73	3,69	4,69	5,70
<i>Density of unit (16,64 kN/m³) with grout spacing as follows:</i>					
<i>No grout</i>	1,25	1,34	1,72	2,11	2,39
<i>1,219 mm</i>		1,58	2,11	2,59	2,97
<i>1,016 mm</i>		1,63	2,15	2,68	3,11
<i>813 mm</i>		1,77	2,25	2,78	3,26
<i>610 mm</i>		1,87	2,44	3,02	3,59
<i>406 mm</i>		2,11	2,78	3,50	4,17
<i>Full grout</i>		2,82	3,88	4,88	5,89
<i>Density of unit (21,21 kN/m³) with grout spacing as follows:</i>					
<i>No grout</i>	1,39	1,68	2,15	2,59	3,02
<i>1,219 mm</i>		1,70	2,39	2,92	3,45
<i>1,016 mm</i>		1,72	2,54	3,11	3,69
<i>813 mm</i>		1,82	2,63	3,26	3,83

Sumber : SNI 1727:2020, Tabel C3 1-1.

Tabel 2.1 (Lanjutan) Beban Mati Desain Minimum (kN/m^2)

Komponen					Beban (kN/m^2)
610 mm		1,96	2,82	3,50	4,12
406 mm		2,25	3,16	3,93	4,69
Full grout		3,06	4,17	5,27	6,37
Full grout		3,06	4,17	5,27	6,37
<i>Solid concrete masonry unit:</i>					
Whyte thickness (in mm)	102	152	203	254	305
Density of unit (16,49 kN/m^3)	1,53	1,35	3,21	4,02	4,88
Density of unit (16,64 kN/m^3)	1,82	2,82	3,78	4,79	5,79
Density of unit (21,21 kN/m^3)	1,96	3,02	4,12	5,17	6,27

Sumber : SNI 1727:2020, Tabel C3 1-1.

2.2.2 Beban Mati Tambahan atau *Super Imposed Dead Load* (SIDL)

Beban SIDL (*Super Imposed Dead Load*) atau beban mati tambahan adalah bagian integral dari analisis beban struktur dalam perancangan. SIDL mencakup semua beban permanen tambahan yang diaplikasikan. Beban ini bersifat statis, tetap, dan tidak berubah selama umur layanan stuktur kecuali ada modifikasi fisik.

2.2.3 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup (*live load*) adalah beban yang bersifat sementara dan berubah-ubah yang bekerja pada struktur selama masa pakainya. Beban ini berasal dari aktivitas manusia, perelatan, dan elemen lain yang tidak permanen. Berdasarkan SNI 1726:2020 pada pasal 4.3.1 dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Beban hidup Merata dan Terpusat

Hunian atau Penggunaan	Merata (kN/m^2)	Terpusat (kN)
Apartemen (Lihat Rumah Tinggal)		
Sistem Lantai Akses		
Ruang Kantor	2,4	8,9
Ruang Komputer	4,79	8,9
Ruang Pertemuan		

Sumber: SNI 1727:2020, Pasal 4.3.1 Tabel 4.3.1

Tabel 2.2 (Lanjutan) Beban hidup Merata dan Terpusat

Hunian atau Penggunaan	Merata (kN/m ²)	Terpusat (kN)
Kursi Tetap (Terikat Di Lantai)	2,87	
Lobi	4,79	
Kursi Dapat Dipindahkan	4,79	
Panggung Pertemuan	4,79	
Lantai Podium	7,18	
	4,79	
Tribun Penonton Stadion Dan Arena Dengan Kursi Tetap (Terikat Di Lantai)	2,87	
Ruang Pertemuan Lainnya	4,79	
Jalur Untuk Akses Pemeliharaan	1,92	1,33
Koridor		
Lantai Pertama	4,79	
Tabel Ruang Makan Dan Restoran	4,79	
Hunian (Lihat Rumah Tinggal)		
Dudukan Mesin Elevator		
Pada Area (50 X 50) Mm		1,33
Konstruksi Pelat Lantai Finishing Ringan		
Pada Aera (25x25)Mm		0,89
Jalur Penyelamatan Saat Kebakaran	4,79	
Hunian Satu Keluarga Saja	1,92	
Garasi		
Mobil Penumpang Saja	1,92	
Helipad		
Helicopter Dengan Berat Lepas Landas Sebesar 13,35 Kn Atau Kurang	1,92	
Helicopter Dengan Berat Lepas Landas Lebih Dari 13,35 Kn	2,87	
Rumah Sakit		
Ruang Operasi, Laboratorium	2,87	4,45
Ruang Pasien	1,92	4,45
Koridor Diatas Lantai Pertama	3,83	4,45
Hotel (Lihat Rumah Tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang Baca	2,87	4,45
Ruang Penyimpanan	7,18	4,45
Koridor Di Atas Lantai Pertama	3,83	4,45
Pabrik		
Ringan	6,00	8,90
Berat	11,97	13,35
Gedung Perkantoran		
Lobi Dan Koridor Lantai Pertama	4,79	
Ruang Arsip Dan Computer Harus Di Rancang Untuk Beban Yang Lebih Berat Berdasarkan Pada Perkiraan Hunian		

Sumber : SNI 1727:2020, Pasal 4.3.1 Tabel 4.3.1

Tabel 2.2 (Lanjutan) - Beban hidup Merata dan Terpusat

Hunian atau Penggunaan	Merata (kN/m ²)	Terpusat (kN)
Kantor	2,40	
Koridor Di Atas Lantai Pertama	3,83	
Lembaga hukum		
Blok Sel	1,92	
Koridor	4,79	
Tempat Rekreasi		
Tempat Bowling, Billiard, Dan Penggunaan Sejenis	3,59	
Ruang Dansa Dan Ballroom	4,79	
Gymnasium	4,79	
Rumah Tinggal		
Semua Ruangan Kecuali Tangga	0,96	
Ruang Pribadi Dan Koridornya	1,92	
Atap		
Atap Datar, Berbubung, Dan Lengkung	0,96	
Awning Atau Kanopi	0,24	
Sekolah		
Ruang Kelas	1,92	4,45
Koridor Diatas Lantai Pertama	3,83	4,45
Koridor Lantai Pertama	4,79	4,45

Sumber : SNI 1727:2020, Pasal 4.3.1 Tabel 4.3.1

2.2.3 Beban Gempa (*SeismicLoad*)

Beban gempa (*seismic load*) merepresentasikan gaya inersia yang timbul pada struktur sebagai respons dinamis terhadap eksitasi gerakan tanah (*ground motion*) selama kejadian gempa bumi. Secara fundamental, beban ini bersifat lateral dan siklik, yang dapat menginduksi respons struktur dalam mode getar dominan (fundamental mode), sehingga berpotensi menyebabkan mekanisme kerusakan progresif mulai dari retak lokal hingga kegagalan struktural global.

Salah satu penyebab utama kerusakan bangunan, terutama pada struktur yang tidak dirancang dengan prinsip ketahanan gempa (*seismic-resistant design*). Dalam konteks rekayasa struktur, pertimbangan beban gempa bersifat imperatif untuk menjamin tiga aspek performa utama: (1) kekuatan (*strength*) melalui kapasitas elemen struktur dalam menahan gaya geser dasar (*base shear*), (2) kekakuan (*stiffness*) untuk mengontrol simpangan antar lantai (*interstory drift*), dan (3) stabilitas (*stability*) sistem melalui mekanisme pelelehan terkendali (*controlled yielding*). Implementasi standar desain seismik seperti SNI 1726:2019 dan prinsip

capacity design bertujuan untuk memastikan struktur memiliki redundansi (*redundancy*), dan daktilitas (*ductility*), sehingga mampu memitigasi risiko keruntuhan.

2.3 Perancangan Struktur Bangunan Tahan Gempa

Struktur bangunan tahan gempa adalah desain dan konstruksi bangunan yang dirancang untuk menahan dan mengurangi dampak dari gempa bumi. Gempa bumi dapat menghasilkan gaya dinamis yang sangat besar, yang dapat menyebabkan keruntuhan atau kerusakan parah pada struktur yang tidak dirancang dengan baik. Oleh karena itu, harus mempertimbangkan berbagai faktor dalam desain, termasuk karakteristik tanah, jenis material, dan bentuk struktur. Desain bangunan tahan gempa melibatkan penggunaan teknik dan material yang dapat menyerap dan mendistribusikan energi seismik, seperti sistem rangka yang fleksibel, dan peredam getaran. Selain itu, analisis dinamis dan pemodelan sering digunakan untuk mensimulasikan respons struktur terhadap gempa, sehingga memungkinkan untuk mengidentifikasi potensi titik lemah dan melakukan perbaikan sebelum konstruksi. Mengingat bahwa gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan pada bangunan dan infrastruktur, penting bagi insinyur sipil untuk merancang struktur yang mampu bertahan terhadap gaya dinamis yang dihasilkan oleh gempa.

2.3.1 Klasifikasi Situs (Jenis Tanah)

Klasifikasi situs adalah proses penting dalam geoteknik yang mengelompokkan jenis tanah berdasarkan karakteristik fisik dan mekanikanya, yang sangat mempengaruhi perilaku tanah saat menerima beban. Klasifikasi situs merujuk pada pengelompokan jenis tanah berdasarkan karakteristik fisik dan mekanikanya. Jenis tanah yang berbeda memiliki sifat yang berbeda, seperti daya dukung, permeabilitas, dan kompresibilitas, yang semuanya berpengaruh pada perilaku tanah saat menerima beban. Jenis Klasifikasi situs dapat dilihat pada tabel 2.3.

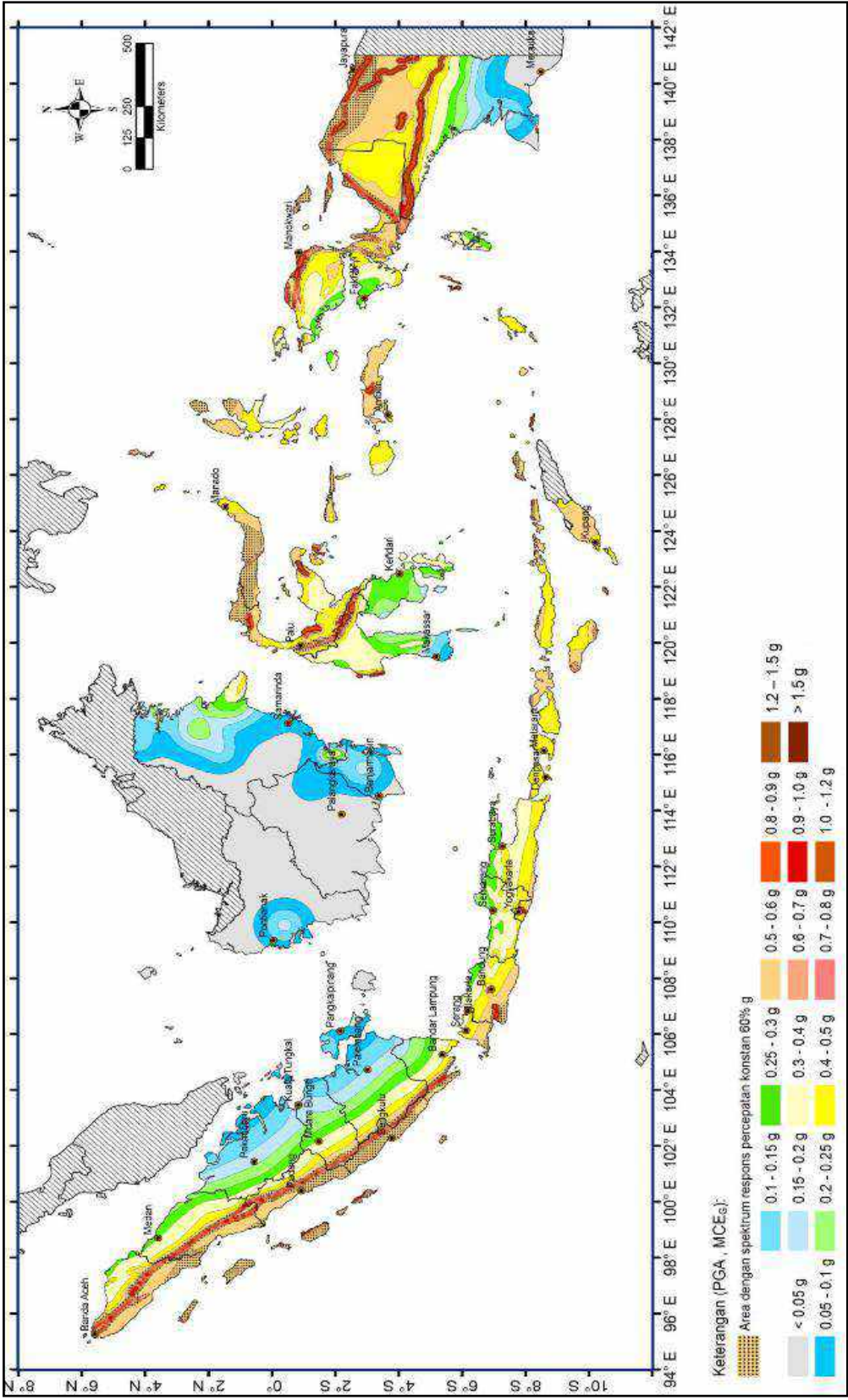
Tabel 2.3 Klasifikasi Situs

	Klasifikasi Situs	(m/dt)	atau	(kPa)
A	SA (Batuan Keras)		N/A	N/A
B	SB (Batuan)	350 sampai 750	N/A	N/A
C	SC (Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak)	350 sampai 750	>50	≥100
D	SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
E	SE (Tanah Lunak)	< 175	< 15	< 50
		Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m dengan karakterisrik sebagai berikut: 1. Indeks plasitisitas $PI > 20$. 2. Kadar air $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir 25 kPa		
F	SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang menngikti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut dengan (ketebalan $H > 3m$)		
Keterangan: N/A = tidak dapat di pakai				

Sumber : SNI 1726:2019, Pasal 5.3 Tabel 5

2.3.2 Percepatan Puncak (PGA)

Percepatan Puncak (PGA) adalah parameter fundamental dalam rekayasa gempa yang menyatakan nilai percepatan tanah, maksimum yang terjadi selama peristiwa gempa, diukur dalam satuan gravitasi (g) atau $m/detik^2$. PGA menggambarkan gaya inersia horizontal yang dialami oleh partikel tanah di permukaan akibat propogasi gelombang seismic. Nilai percepatan puncak pada permukaan tanah diperoleh dengan mengalikan faktor amplifikasi untuk PGA (FPGA) dengan nilai PGA yang diambil dari peta percepatan puncak (PGA) pada batuan dasar (SB), yang dapat dilihat pada gambar. Besaran FPGA ditentukan berdasarkan klasifikasi lokasi yang dapat dilihat pada Tabel 2.1, dan nilainya sesuai dengan yang tertera pada Tabel 2.4.



Gambar 2.1 PGA Gempa Maksimum Yang Di Pertimbangkan Rata – Rata Geometrik Resiko Tertarget (MCEG)
Sumber : RSA 2021

Tabel 2.4 Koefisien Situs F_{PGA}

Kelas situs	S_{PGA}					
	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA = 0,5$	$PGA = 0,5$
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	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,3	1,3	1,1	1,1
SE	2,4	1,9	1,6	1,6	1,2	1,1
SF	SS					

Sumber : SNI 1726:2019, Pasal 6.7.3 Tabel 10

Percepatan puncak pada permukaan tanah dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$PGA_M = F_{PGA} \times S_{PGA} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.1)}$$

Keterangan :

PGA_M = Nilai Percepatan puncak di permukaan tanah berdasarkan klasifikasi situs

F_{PGA} = Faktor amplikasi untuk PGA

2.3.3 Respon Spektral Percepatan S_{MS} dan S_{M1} pada Permukaan Tanah

Respon spektral (*spectral response*) yaitu nilai yang menggambarkan respon maksimum dari system struktur derajat kebebasan tunggal (*Single Degree Of Freedom/SDOF*) terhadap berbagai frekuensi alami atau periode alami yang diredam oleh getaran tanah. Penentuan respon spektral percepatan (*spectral acceleration*) dipermukaan tanah mempertimbangkan faktor amplikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi mencakup faktor amplifikasi mengenai percepatan pada getaran periode pendek (F_a), faktor amplifikasi mengenai percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respon spektral pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) dapat dihitung dengan mengalikan Faktor amplifikasi F_a dan F_v dengan spectral percepatan untuk periode pendek (S_s) dan Periode 1,0 detik (S_1) pada batuan dasar sesuai seperti pada persamaan berikut :

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.2})$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (\text{Persamaan (2.3)})$$

Keterangan :

F_a = Koefisien perioda pendek dapat dilihat pada Tabel 2.3

F_v = Koefisien perioda 1,0 detik dapat dilihat pada Tabel 2.4

S_s = Nilai spektra percepatan untuk periode pendek 0,2 detik dibatuan dasar (S_B)

S_1 = Nilai spektra percepatan untuk periode 1,0 detik dibatuan dasar (S_B) berdasarkan pada Peta Gempa Indonesia 2010 lihat Gambar 2.6, 2.7, dan 2.8

Tabel 2.5 Koefisien Periode Pendek (F_a)

Kelas Situs	Parameter Respon Spectral Percepatan Gempa Pada Periode Pendek 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	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 6.2 Tabel 6

Tabel 2.6 Koefisien Periode 1,0 detik (F_v)

Kelas Situs	Parameter Respon Spectral Percepatan Gempa Pada Periode Pendek 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

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 6.2 Tabel 7

Tabel 2.6 (Lanjutan) - Koefisien Periode 1,0 detik (F_v)

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Pada Periode Pendek 0,2 Detik (S_s)					
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	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber : SNI 1726-2019, Pasal 6.2 Tabel 7

2.3.4 Parameter Respon Spektral Percepatan Desain

Parameter Respon Spektral Percepatan Desain (*Response Spectrum Acceleration Design*) adalah parameter ini memberikan informasi tentang bagaimana struktur akan berperilaku ketika terkena getaran akibat gempa bumi. Parameter respon percepatan gempa pada periode pendek (SDS), dan pada periode 1,0 detik (SD1), dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.4)}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.5)}$$

2.3.5 Respon Spektral Desain

Respon spektral desain adalah alat analisis yang digunakan dalam rekayasa gempa untuk menggambarkan respons dinamis suatu struktur terhadap gempa bumi. Ini merupakan representasi grafis dari hubungan antara percepatan, kecepatan, atau perpindahan maksimum yang dialami oleh struktur selama peristiwa gempa, sebagai fungsi dari periode getar alami struktur tersebut. Apabila respon spektral desain diperlukan oleh prosedur gerak tanah dari spesifik situs yang tidak digunakan, maka kurva spektrum respon desain harus meninjau dan mengikuti persyaratan sebagai berikut:

- Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 ($T < T_0$), nilai respon spektral desain (S_a) dihitung dengan persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.6)}$$

- Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ($T_0 \leq T \leq T_s$), nilai respon spektral desain sama dengan S_{DS} .
- Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil atau sama dengan T_L , Respon spektral percepatan desain (S_a) dihitung dengan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.7)}$$

- Untuk periode lebih besar dari T_s , nilai respon spektral desain (S_a) dihitung dengan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.8)}$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

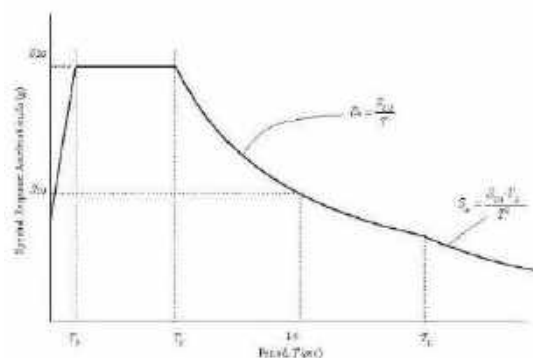
S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1,0 detik

T = Periode getar fundamental struktur

T_L = Periode Panjang dapat dilihat pada Gambar 2.4

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.9)}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.10)}$$



Gambar 2.4 Spektrum Respons Desain
Sumber : Google

2.3.6 Kategori Resiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko struktur bangunan dan faktor keutamaan gempa adalah dua aspek penting dalam perencanaan dan desain bangunan yang bertujuan untuk meningkatkan keselamatan dan ketahanan terhadap gempa bumi. Keduanya berperan dalam menentukan bagaimana suatu struktur harus dirancang dan dibangun untuk menghadapi potensi risiko yang ditimbulkan oleh gempa. Kategori Risiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa Kategori risiko struktur bangunan terdiri dari kategori I, II, III, dan IV yang dapat di lihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non-gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non-gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : • Fasilitas pertanian, Perkebunan, peternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori I,II,IV, tetapi tidak dibatasi untuk : • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen/ rumah susun • Pusat perbelanjaan/ deparment store • Bangunan industry • Fasilitas manufaktur • Pabrik • Panti Jompo gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar atau gangguan massal terhadap kehidupan Masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, tetaoi tidak dibatasi untuk : • pusat pembangkit listrik biasa • fasilitas penanganan air • fasilitas penanganan limbah	II

Sumber : SNI 2726:2019, Pasal 4.1.2 Tabel 3

Tabel 2.7 (Lanjutan) - Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non-gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
pusat telekomunikasi gedung dan non gedung yang teidak termasuk dalam kategori resiko IV, (tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran	
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV. Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Sumber : SNI 2726:2019, Pasal 4.1.2 Tabel 3

Tabel 2.8 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : SNI 2726:2019, Pasal 4.1.2 Tabel 4

2.3.7 Kategori Desain Gempa (KDG)

Kategori Desain Gempa (KDG) adalah sistem klasifikasi yang digunakan untuk menentukan tingkat ketahanan dan desain struktur bangunan terhadap beban gempa. KDG berfungsi sebagai panduan bagi insinyur dan arsitek dalam merancang bangunan yang aman dan dapat bertahan terhadap getaran yang dihasilkan oleh gempa bumi. Kategori desain gempa (KDG) ditentukan berdasarkan Tabel 2.9 dan Tabel 2.10. Nilai yang paling berat diantara keduanya menentukan Kategori desain gempa

Tabel 2.9 Kategori Dasin Gempa (KDG) Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Periode Pendek (S_{DS})

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

Sumber : SNI 1726:2019, Pasal 6.5 Tabel 8

Tabel 2.10 Kategori Desain Gempa (KDG) Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Periode 1 detik (S_{D1})

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI 1726:2019, Pasal 6.5 Tabel 8

2.3.8 Resiko Kegempaan

Resiko kegempaan merujuk pada kemungkinan terjadinya kerusakan atau dampak negatif yang ditimbulkan oleh gempa bumi terhadap manusia, infrastruktur, dan lingkungan. Risiko ini merupakan kombinasi dari beberapa faktor, termasuk frekuensi dan intensitas gempa, kerentanan struktur, serta potensi dampak sosial dan ekonomi. Berdasarkan SNI 1726-201X tingkat resiko gempa ditentukan oleh KGD dapat dilihat pada tabel 2.11.

Tabel 2.11 Tingkat Resiko Kegempaan

Kode	Tingkat Resiko Kegempaan		
	Rendah	Menengah	Tinggi
RSNI 1726-201X	KDG	KDG	KDG
	A, B	C	D, E, F

Sumber : Konsep SNI Gempa 1726-201X

Berdasarkan Tingkat resiko kegempaan pada Tabel 2.11, sistem struktur rangka pemikul momen yang berkaitan dengan parameter sistem struktur (R , Ω_0 , dan C_d) dapat ditentukan dari Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Faktor R , Ω_0 , dan C_d untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem Rangka Pemikul Momen	Koefisien Modifikasi Respon (R) ^a	Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0) ^b	Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) ^c	Batasan Sistem Struktur Dan Batasan Tinggi Struktur (m) ^d				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber : 1726:2019, Pasal 7.2.2 Tabel 12

Keterangan:

TB = Tidak ada Batasan

TI = Tidak di izinkan

- a = koefisien modifikasi respon (R) untuk penggunaan pada keseluruhan standar. Nilai R mereduksi gaya ke level kekuatan bukan pada level tegangan izin
- b = Jika nilai pada tabel faktor kuat lebih (Ω_0), lebih besar atau sama dengan 2,5, maka Ω_0 diizinkan untuk direduksi setengah untuk struktur dengan diafragma fleksibel.
- c = Faktor pembesaran simpangan lateral (C_d), untuk penggunaan dalam 0,0, dan 0
- e = untuk penjelasan sistem pemikul gaya seismik yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 72 m atau kurang.
- m = untuk sistem pemikul gaya seismik yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 48 m atau kurang.

2.3.9 Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (V) adalah salah satu komponen penting dalam analisis dan desain struktur bangunan yang terpapar pada beban gempa. Gaya ini merujuk pada gaya horizontal yang bekerja pada dasar suatu bangunan akibat getaran yang dihasilkan oleh gempa bumi, dalam arah yang ditentukan harus diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut :

- $V = C_S \cdot W$ (Persamaan 2.11)

- $C_S = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}}$ (Persamaan 2.12)

Nilai C_s mengikuti ketentuan sebagai berikut :

- Untuk $T \leq T_L$

$$C_S = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.13)}$$

- Untuk $T > T_L$

$$C_S = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \frac{R}{I_e}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.14)}$$

- Untuk $S_1 \geq 0,6 g$

$$C_S = \frac{0,5 S_1}{\frac{R}{I_e}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.15)}$$

- Nilai minimum C_s

$$C_S = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.16)}$$

Keterangan :

C_s	=	Koefisien respon seismic
W	=	Berat seismic efektif
S_{D1}	=	Parameter percepatan respon spectral
I_e	=	Faktor keutamaan gempa
T	=	Periode fundamental respon spectral
R	=	Koefisien modifikasi respon

2.3.10 Periode Fundamental Alami

Periode fundamental alami adalah salah satu parameter penting dalam analisis dinamis struktur, terutama dalam konteks rekayasa gempa. Periode ini merujuk pada waktu yang diperlukan oleh suatu struktur untuk menyelesaikan satu siklus getaran alami tanpa adanya gangguan eksternal Berdasarkan SNI 1726-2019 periode fundamental struktur (T) harus dihitung menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul. T tidak boleh melewati hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada priode yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.13 dan periode fundamental pendekatan T_a yang ditentukan sesuai 0.

Tabel 2.13 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter Percepatan Respon Spectral Desain Pada 1 Detik (S_{D1})	Koefisien (C_u)
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : SNI 1726:2019, Pasal 7.8.2 Tabel 17

Pada SNI 1727-2019 terdapat beberapa pendekatan untuk menentukan perioda natural suatu struktur, dan pembatasan pada perioda maksimum, yaitu :

- Metode pendekatan umum

$$T_a = C_t \times h_n^x \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.17)}$$

Batasan atas perioda struktur :

$$T < C_u \times T_a \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.18)}$$

Keterangan :

- T_a = Periode dasar perkiraan
 h_n = Tinggi permukaan diatas permukaan tanah
 C_u = Koefisien yang diambil di Tabel 2.13
 C_t dan x = Koefisien yang diambil di Tabel 2.14

Tabel 2.14 Nilai parameter periode pendekatan (C_t dan x)

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismic yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismic : • Rangka baja pemikul momen • Rangka beton pemikul momen	0,072 0,0466	0,8 0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : SNI 1727:2019, Pasal 7.8.2.1 Tabel 18

- Untuk struktur yang tidak melampaui 12 tingkat dengan tinggi Tingkat tidak kurang dari 3 meter, digunakan persamaan:

$$T_a = 0,1 \times N \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.19)}$$

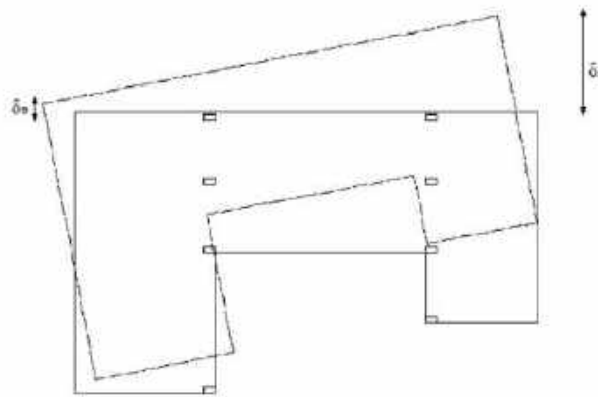
2.3.13 Pembesaran Momen Torsi Tidak Terduga

Pembesaran momen torsi tidak terduga adalah fenomena yang dapat terjadi pada struktur bangunan ketika mengalami beban eksternal, seperti gempa bumi atau angin kencang. Momen torsi adalah gaya yang menyebabkan suatu objek berputar atau berotasi di sekitar sumbu tertentu. Berdasarkan pasal 7.8.4.3 SNI 1726-2019 struktur yang di desain untuk KDG C, D, E, atau F apabila terjadi ketidak beraturan torsi tipe 1a atau 1b, maka harus diperhitungkan dengan mengalikan momen dan

faktor pembesaran torsi (A_x) seperti pada Gambar 2.5 dan persamaan sebagai berikut:

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2 \cdot \delta_{avg}} \right)^2 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.20)}$$

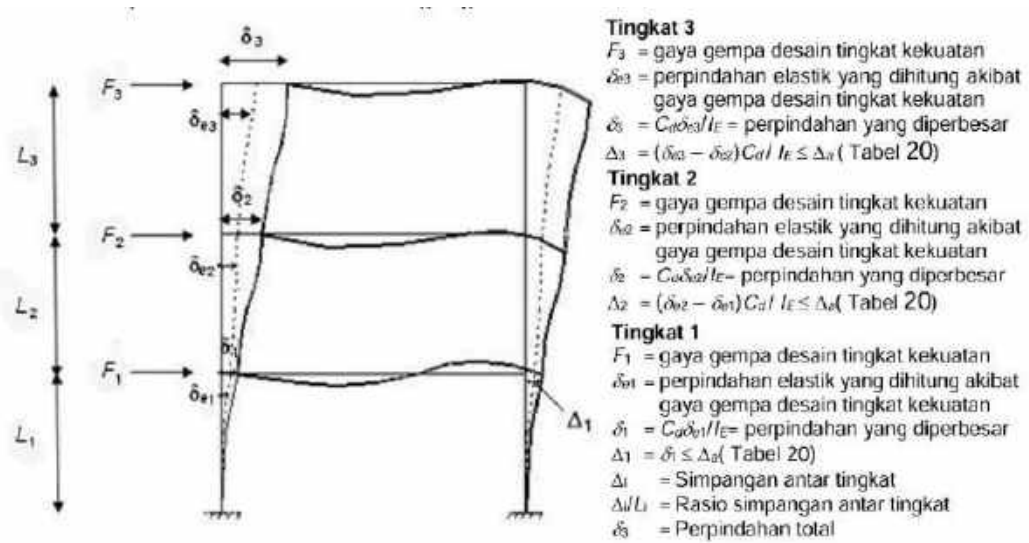
$$\delta_{avg} = \frac{\delta_A + \delta_B}{2} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.21)}$$



Gambar 2.5 Faktor Pembesaran Torsi (A_x)
Sumber : SNI 1727:2019, Pasal 7.8.4.3

2.3.14 Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat dapat diartikan sebagai perbedaan perpindahan horizontal antara dua tingkat yang berdekatan dalam suatu bangunan. Simpangan ini biasanya diukur dari posisi awal struktur sebelum terjadi beban lateral hingga posisi akhir setelah beban diterapkan. Dalam analisis seismik, simpangan antar tingkat menjadi salah satu faktor yang harus diperhatikan untuk memastikan bahwa elemen struktural, seperti dinding, kolom, dan balok, tidak mengalami kerusakan akibat pergeseran yang berlebihan. Berdasarkan pasal 7.8.6 pada SNI 1726-2019 penentuan simpangan antar Tingkat (Δ) harus diperhitungkan sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan dibawah Tingkat yang dapat dilihat pada Gambar 2.6. jika pusat massa tidak selurus dalam arah Z, maka di izinkan untuk menghitung simpangan di dasar Tingkat berdasarkan proyeksi vertical dari pusat massa Tingkat yang ada di atasnya.



Gambar 2.6 Penentuan simpangan antar Tingkat

Sumber : SNI 1726:2019, Pasal 7.8.6

Simpangan antar Tingkat tidak boleh melewati simpangan antar tingkat izin (Δ_{izin}) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Simpangan Antar Tingkat Izin (Δ_{izin})

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

Sumber : SNI 1727:2019, Pasal 7.8.6

Berdasarkan Gambar 2.2 didapatkan persamaan sebagai berikut

$$\text{Rasio Simpangan} = \frac{\Delta_{xe}}{L} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.22})$$

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.23})$$

Keterangan:

C_d = Faktor pembesar defleksi

δ_{xe} = Lendutan hasil Analisa struktur kondisi elastis

I_e = Faktor keutamaan bangunan

h_{sx} = Tinggi Tingkat dibawah Tingkat X

2.3.15 Efek P-Delta dan Soft Storey

Kekuatan struktur yaitu kemampuan suatu struktur bangunan dalam menahan berbagai jenis beban yang bekerja. Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, terdapat konsep yang dinamakan mekanisme goyangan balok (*beam sway mekanisme*) dimana bagian yang rusak (sendi plastis) seharusnya terjadi di ujung-ujung balok dan bagian bawah kolom. Hal ini membuat kolom harus direncanakan lebih kuat dari balok (*Strong column weak beam*). Untuk pemeriksaan kekuatan struktur dapat dilakukan dengan menghitung efek P-Delta dan mengecek *soft storey*.

1) Efek P-Delta

Pada setiap Tingkat dihitung dengan persamaan :

$$\theta = \frac{P_x \delta_x}{V_x h_x C_d} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.24)}$$

Keterangan :

P_x = Jumlah seluruh beban tak terfaktor desain di atas level x

δ_x = Inter storydrift level x

V_x = Geser Tingkat antara level x dan level

h_x = Tinggi Tingkat dibawah level x

C_d = Faktor pembesar defleksi

θ = Koefisien stabilitas

θ_{min} = 0,1

$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25$

β = Rasio geser perlu terhadap kapasitas geser untuk Tingkat yang ditinjau, boleh di ambil nilai 1,0

- Jika $\theta < \theta_{min}$, maka pengaruh P-Delta dapat diabaikan.
- Jika $\theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{max}$, maka pengaruh P-Delta perlu di hitung
- Jika $\theta > \theta_{max}$, maka struktur tidak stabil dan perlu di desain ulang

2) **Soft Storey (Column Sway Mechanism)**

Soft Storey (column sway mechanism) yaitu kondisi keruntuhan pada struktur bangunan bertingkat, khususnya pada lantai yang memiliki kekakuan relative rendah (*soft storey*) akibat beban gempa dimana kolom mengalami leleh sebelum balok. Kondisi ini disebabkan oleh ketidak beraturan vertical pada struktur, khususnya ketidakberaturan kekakuan yang dikenal sebagai “Tingkat Lunak.” Berdasarkan SNI 1726-2019 tingkat lunak di jelaskan sebagai berikut :

- Ketidakberaturan (1a) terjadi apabila terdapat suatu Tingkat kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan diatasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga Tingkat diatasnya
- Ketidakberaturan yang berlebihan (1b) terjadi apabila kekakuan sembarang Tingkat kurang dari 60% kekakuan Tingkat diatasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata Tingkat diatasnya. Ketidak beraturan ini tidak diizinkan untuk koefisien desain gempa (KDG) E dan F

Catatan :

Apabila struktur termasuk dalam ketidakberaturan (1a) atau ketidak beraturan yang berlebihan (1b) gunakan Analisa modal spektrum (*respon spectrum method*) dan ketidakberaturan dianggap tidak berlaku apabila seluruh rasio *drift* antar Tingkat memiliki nilai yang melebihi 1,3 kali rasio *drift* tingkat diatasnya.

2.4 **Stabilitas Struktur**

Stabilitas pada suatu struktur mencakup tiga aspek, yaitu stabilitas terhadap geser, penurunan fondasi, dan *overturning* (guling). Namun, dalam penelitian ini, analisis terfokus pada stabilitas guling saja. Hal ini dikarenakan pada struktur atas gedung bangunan, resiko ketidakstabilan yang paling kritis adalah *overturning* (guling) akibat beban lateral. Untuk meminimalisir efek *overturning* (geser) struktur atas mengandalkan penyeimbang yang berupa berat sendiri, sebagaimana yang telah diatur dalam persamaan berikut.

$$0,9 M_{ST} > \frac{M_{OT}}{C_1 C_2 C_3 R_{OT}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.24)}$$

Keterangan :

- M_{OT} = Jumlah gaya *overturning* akibat gaya lateral
 M_{ST} = Momen stabilitas yang dihasilkan oleh beban mati struktur
 C_1 = Faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan elastic maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastic linear
 = 1,0 untuk $T \geq T_s$
 = 1,5 untuk $T < 0,01$ sec.
 C_2 = Koefisien untuk memperhitungkan efek “*pinching*” yang berasal dari hubungan beban deformasi akibat penurunan kekakuan dan kekuatan
 C_3 = Koefisien untuk memperhitungkan pembesaran beban lateral akibat efek P-Delta
 R_{OT} = 10 untuk *collapse prevention*
 = 8,0 untuk *life safety*
 = 4,0 untuk *immediate occupancy*

2.5 Perancangan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa

Beton bertulang merupakan material komposit yang terdiri dari beton dan baja dimana baja tulangan yang memberikan kekuatan tarik yang tinggi sehingga menghasilkan material yang memiliki kekuatan tarik tinggi. Kedua material tersebut sangat mempengaruhi tingkat daktilitas struktur yang dihasilkan. Dalam SNI 2847-2019, analisis struktur pada struktur beton bertulang tahan gempa harus memenuhi persyaratan kekuatan yang dimana kekuatan pada Struktur dan komponen struktur yang didesain harus lebih kuat dari kekuatan yang diperlukan.

$$KEKUATAN DESAIN \geq KEKUATAN PERLU$$

$$\phi S_n \geq U$$

2.5.1 Kekuatan Perlu

Kekuatan perlu dapat diartikan sebagai kekuatan yang diperlukan untuk memastikan bahwa suatu struktur dapat berfungsi dengan baik dan aman di bawah kondisi beban yang diharapkan. Kekuatan perlu dinyatakan dalam momen-momen,

gaya dalam yang berkaitan, dan beban-beban terfaktor yang merupakan beban yang ditentukan oleh tata cara umum pembebanan yang berlaku dan dikalikan dengan faktor-faktor beban yang sesuai. Berdasarkan SNI 2847-2019 kuat perlu diberi notasi (U) yang merupakan besaran beban dari hasil kombinasi sebagai berikut :

- 1) $U = 1,4D$
- 2) $U = 1,2D + 1,6L + 0,5(A \text{ atau } R)$
- 3) $U = 1,2D + 1,0L \pm 1,6W + 0,5(A \text{ atau } R)$
- 4) $U = 0,9D \pm 1,6 W$
- 5) $U = 1,2D + 1,0L \pm 1,0E$
- 6) $U = 0,9 D \pm 1,0 E$

Keterangan :

D	=	Beban mati
L	=	Beban hidup
Lr	=	Beban atap
R	=	Beban hujan
W	=	Beban angin datang dan angin pergi
E	=	Beban gempa ($E_x + E_y$)
E_y	=	Beban gempa vertical ($0,2.SDS.D$)
E_x	=	Beban gempa horizontal

2.5.2 Kekuatan Desain

Dalam tahapan desain kekuatan, Tingkat keamanan didasarkan pada kombinasi faktor beban dan faktor reduksi beban (ϕ). Berdasarkan pada SNI 2847-2019, kekuatan desain merupakan kekuatan yang berasal dari komponen struktur yang mengacu pada kuat nominal yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ). Tujuan dari adanya faktor reduksi beban (ϕ) adalah untuk mengkalkulasikan probabilitas dari terjadinya penurunan kekuatan akibat adanya variasi pada kekuatan material dan dimensi saat terjadi pelaksanaan konstruksi, menutup kekurangan ketelitian terhadap persamaan-persamaan desain, dan berkaitan dengan

tingkat daktilitas, kebutuhan keandalan, serta adanya kemungkinan beban alternatif yang terletak pada komponen struktur. Nilai pada faktor reduksi beban (ϕ) dapat dilihat pada Tabel 2.16 dan Tabel 2.17.

Tabel 2.16 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Gaya		ϕ	Pengecualian
(a)	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65-0,90 Sesuai dengan Tabel 2.2	Didekat ujung komponen pratarik (<i>retension</i>) dimana strand belum sepenuhnya bekerja, harus sesuai dengan Tabel 2.15
(b)	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa
(c)	Torsi	0,75	-

Sumber : SNI 2847:2019, Pasal 21 Tabel 21.2.1

Tabel 2.17 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Momen, Gaya Aksial, atau Kombinasi Momen dan Gaya Aksial

Regangan Tarik Netto (ε_t)	Klasifikasi	ϕ			
		Jenis Tulangan Transversal			
		spiral		Tulangan lainnya	
$\varepsilon_t \leq \varepsilon_{ty}$	Tekanan terkontrol	0,75	(a)	0,65	(b)
$\varepsilon_t < \varepsilon_{ty} < 0,005$	Transisi ^[1]	$0,75 + 0,15 \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_y)}{(0,005 - \varepsilon_{ty})}$	(c)	-	
Untuk penampang transisi, diizinkan memakai nilai faktor kekuatan sama dengan penampang terkontrol tekan					

Sumber : SNI 2847:2019, Pasal 21 Tabel 21.2.2

Tabel 2.18 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) untuk Seksi Akhir dari Prategang

Kondisi Di Dekat Ujung Komponen	Tegangan Beton Akibat Beban Layan[1]	Jarak Dari Ujung Komponen Ke Penampang yang Ditinjau	(ϕ)	
Semua strand terlekat	Tidak berlaku	$\leq \ell_{tr}$	0,75	(a)
		ℓ_{tr} hingga ℓ_d	Interpolasi linear dari 0,75 ke 0,90 [2]	(b)
Satu atau lebih dari strand tanpa lekatan	Tarik tidak terhitung	$\leq (\ell_{db} + \ell_{tr})$	0.75	(c)

Sumber : SNI 2847:2019, Pasal 21 Tabel 21.2.3

Untuk komponen struktur Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) yang disesain untuk menahan beban gempa rencana, nilai Faktor reduksi kekuatan (yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Faktor reduksi untuk geser pada komponen struktur penahan beban gempa rencana yang nilai kuat gesernya lebih kecil dari pada gaya geser yang timbul sehubungan dengan peningkatan kuat lentur nominalnya ($\phi = 0,55$)
- Faktor reduksi untuk geser pada diafragma tidak boleh melebihi faktor reduksi minimum untuk geser yang digunakan pada komponen vertikal dari sistem pemikul beban lateral
- Geser pada hubungan balok-kolom dan pada balok perangkai (*coupling beam*) yang diberi tulangan diagonal ($\phi = 0,80$)

Berdasarkan SNI 2847-2019 perencanaan struktur tahan gempa ditentukan berdasarkan Kategori desain Seismik (KDS) yang diperoleh dengan koordinat Lokasi bangunan tersebut dibangun.

- Sistem struktur rangka pemikul momen biasa (SRPMB) berlaku untuk rangka momen biasa yang dikenakan KDS B (Resiko Gempa Rendah).
- Sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) berlaku untuk rangka momen menengah yang dikenakan KDS C (Resiko Gempa Menengah)
- Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) berlaku untuk rangka momen khusus yang dikenakan KDS F (Resiko Gempa Tinggi)

2.6 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) terdiri dari elemen-elemen struktural utama, seperti kolom, balok, dan dinding, yang saling terhubung untuk membentuk rangka yang stabil. Dalam sistem ini, balok berfungsi untuk menyalurkan beban dari atap atau lantai ke kolom, sementara kolom mendukung beban vertikal dan lateral. Momen yang dihasilkan akibat beban lateral, seperti gempa, ditransfer melalui sambungan antara balok dan kolom. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) tidak terdapat persyaratan khusus pada elemen balok, kolom, dan sambungan balok-kolom sebagaimana yang diwajibkan untuk

sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Namun, perencanaan desainnya harus tetap mengikuti ketentuan yang tertuang didalam SNI 2847-2019 Pasal 3 hingga pasal 18.

2.7 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah jenis sistem struktural yang dirancang untuk menahan beban vertikal dan lateral, seperti beban gempa dan angin, dengan cara yang lebih efisien dibandingkan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). SRPMM sering digunakan dalam bangunan bertingkat menengah, di mana diperlukan keseimbangan antara kekakuan, fleksibilitas, dan efisiensi material. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) memiliki persyaratan untuk penulangan atas dan bawah menerus serta persyaratan untuk kekuatan geser khusus dan pendetailan khusus untuk daerah kritis.

Kegagalan struktur pada saat terkena gempa pada umumnya diakibatkan oleh kegagalan geser pada balok ataupun kolom. Berdasarkan SNI 1727-2019 terdapat dua pilihan dalam menentukan gaya geser terfaktor guna untuk meminimalisir kegagalan terhadap geser saat terjadi gempa.

- 1) Gaya geser terfaktor ditentukan oleh kuat momen nomina dari komponen struktur dan beban gravitasi di atasnya dengan nilai ϕ sama dengan 1,0. Beban aksial rencana terfaktor (P_u) harus dipilih dari yang memiliki nilai kuat momen terbesar pada kolom.
- 2) Mendasarkan gaya geser ultimate (V_u) dari kombinasi beban termasuk beban gempa (E), yang harus dihitung dengan kombinasi ($U=1,2D+1,0L\pm 2,0E$).

Selain dari persyaratan diatas untuk lebih meminimalisir kegagalan geser agar tidak terjadi pada komponen struktur SNI 1729-2019 mensyaratkan pendetailan pada balok, kolom, dan pada hubungan balok dan kolom sebagai berikut:

1) Persyaratan Pendetailan Balok

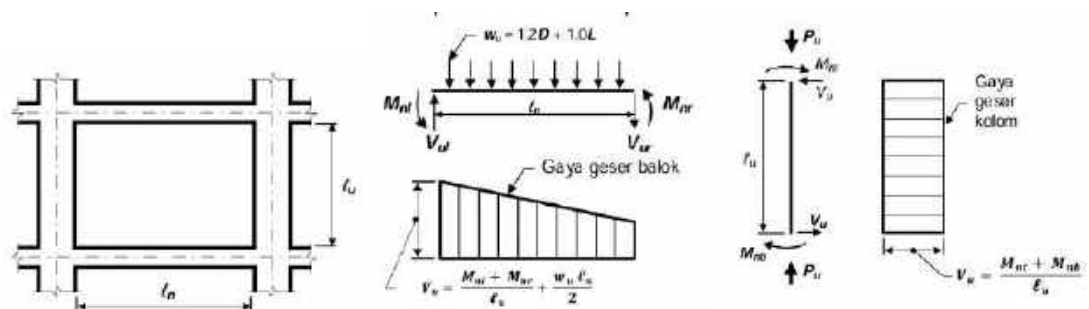
Balok yang memiliki tekan aksial terfaktor melebihi penulangan komponen SPRMM harus memenuhi detailing balok pada pasal 25.7.2.2 dan salah satu di antara pasal 25.7.2.3 atau 25.7.2.4.

- Penulangan Lentur

- Kekuatan momen positif pada pertemuan kolom dan balok tidak boleh kurang dari 1/3 kuat momen negative pada pertemuan kolom dan balok
- Baik kekuatan momen positif ataupun momen negative pada sepanjang bentang penampang tidak boleh kurang dari 1/5 kuat momen maksimum.

- Penulangan Geser

- Pada kedua ujung komponen struktur lentur harus dipasang Sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen ($2h$) yang diukur dari muka perletakan ke arah Tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan (kolom). Serta spasi maksimum Sengkang tidak boleh melebihi :
 - $d/4$
 - delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 - 24 kali diameter Sengkang, dan
 - 300 mm
- Sengkang yang berada diluar daerah ujung balok harus dipasang dengan jarak maksimum $d/2$



Gambar 2.7 Gaya Geser Rencana SRPMM

Sumber: SNI 2847:2019, Pasal 18.4.2

2) Persyaratan Pendetailan Kolom

Balok yang memiliki tekan aksial terfaktor melebihi Penulangan komponen SPRMM harus memenuhi detailing kolom pada pasal 18.5 pada SNI 2847-2019, kecuali bila komponen kolom ditulangi dengan tulangan sirip dengan persamaan :

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.26)}$$

Keterangan :

- ρ_s = Rasio Tulangan sirip
- A_g = Luas brutto penampang (mm^2)
- A_c = Luas inti komponen tekan yang ditulangi tulangan sirip (mm^2)
- f'_c = Kuat tekan beton (MPa)
- f_y = Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non-prategang (MPa)

Namun, jika komponen kolom tidak ditulangi tulangan sirip maka, detailing kolom dan joint sebagai berikut :

- a) Spasi maksimal sengkang ikat yang dipasang pada “ l_o ” dari muka pertemuan balok-kolom adalah “ s_o ”. Jarak s_o tidak boleh melebihi:
 - Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 - 24 kali diameter Sengkang ikat
 - Setengah dimensi penampang terkecil kolom, dan
 - 300 mm
- b) Panjang pada l_o tidak boleh kurang dari nilai maksimal berikut:
 - 1/6 tinggi bersih kolom
 - Dimensi terbesar kolom, dan
 - 500 mm
- c) Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak lebih dari 0,5. s_o dari muka pertemuan balok-kolom

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.5, spasi pada ikatan sengkang pada sembarang penampang kolom tidak boleh melebihi 2. s_o dan Tulangan Sengkang

pada titik pertemuan balok dan kolom harus memenuhi ketentuan tulangan geser minimum dengan persamaan berikut :

$$A_v = \frac{75\sqrt{f'_c}}{1200} \frac{b_w \cdot s}{f_y} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.27)}$$

Keterangan :

- A_v = Luas tulangan geser (mm^2) tidak boleh melebihi
- b_w = Lebar badan balok (mm)
- s = Jarak tulangan geser (mm)

2.8 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah jenis sistem struktural yang dirancang untuk menahan beban vertikal dan lateral dengan cara yang lebih canggih dan efisien dibandingkan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). SRPMK umumnya digunakan dalam bangunan yang memiliki kebutuhan khusus, seperti gedung tinggi, bangunan dengan desain arsitektur yang kompleks, atau bangunan yang berada di daerah rawan gempa. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) memiliki persyaratan pembatasan mutu baja tulangan, penulangan atas dan bawah menerus, mensyaratkan kekuatan geser pada joint, strong coloumn-weak beam (SCWB), menggunakan kekuatan maksimum yang terjadi, dan pendekatan area pengekangan pada daerah kritis (sendi plastis).

1) Persyaratan pendetailan balok

Pada SNI 2847-2019 Pasal 18.6 terdapat persyaratan pendetailan komponen struktur lentur pada SRPMK sebagai berikut :

Persyaratan Gaya dan Geometri pada Pasal 18.6.2

- a) Gaya aksial terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi $0,1 A_g \times f'_c$
- b) Bentang bersih komponen struktur (L_n) tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya ($4d$), $\frac{L_n}{d} \geq 4$.

- c) Perbandingan antar lebar balok (b) dan tingginya (h) tidak boleh kurang dari 0,3 dan 250 mm, $\frac{b}{h} \geq 0,3$ dan 250 mm.
- d) Lebar balok tidak boleh kurang dari 250 mm, dan lebarnya tidak boleh melebihi dari lebar dari kolom ditambah jarak pada sisi kolom yang tidak boleh melebihi $\frac{3}{4}$ tinggi balok, 250 mm, $b \leq c + 2 \left(\frac{3}{4} h \right)$.

Tulangan Longitudinal (Lentur) pada Pasal 18.6.3

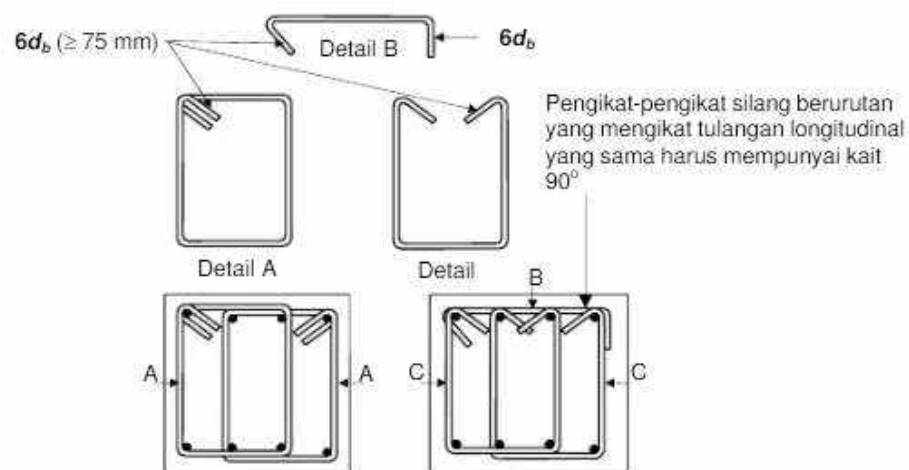
- a) Kuat lentur positif balok pada pertemuan kolom harus lebih besar sama dengan $\frac{1}{2}$ kuat lentur negatifnya dan kuat lentur positif maupun negative pada setiap penampang disepanjang bentang harus lebih besar sama dengan $\frac{1}{4}$ kuat lentur terbesar pada bentang tersebut
- b) Sambungan lewatan pada tulangan lentur harus diberi tulangan pengikat yang berupa Sengkang tertutup atau spiral yang membungkus seluruh Panjang sambungan. Jarak antar pengikat ini tidak boleh melebihi seperempat tinggi efektif penampang ($d/4$) atau 100 mm. sambunga lewatan tidak boleh digunakan pada:
 - Daerah hubungan balok dan kolom (*joint*)
 - daerah dengan jarak dua kali tinggi balok dari muka joint, dan
 - pada tempat yang berdasarkan hasil analisis, menunjukkan kemungkinan terjadinya leleh lentur akibat perpindahan lateral inelastic struktur rangka

Tulangan Transversal pada Pasal 18.6.4

Tulangan transversal berbentuk sengkang tertutup merupakan komponen vital dalam sistem penulangan struktur beton bertulang, khususnya pada elemen lentur seperti balok dan kolom. Fungsi utamanya bersifat tiga dimensi: (1) sebagai pengekang pasif yang mencegah pengelupasan selimut beton (*spalling*) akibat deformasi siklik selama gempa kuat, (2) penahan tekuk (*buckling restraint*) tulangan longitudinal saat mengalami beban tekan berulang, dan (3) pembentuk mekanisme sendi plastis terkendali (*controlled plastic hinge*) di lokasi prediktif. Secara teknis, sengkang tertutup berperan sebagai "sangkar" yang meningkatkan

kapasitas daktilitas elemen struktur melalui pembentukan pola retak diagonal yang terdistribusi merata, sekaligus memfasilitasi disipasi energi gempa melalui deformasi histeretik yang stabil. Berikut ini persyaratan penggunaan Sengkang tertutup.

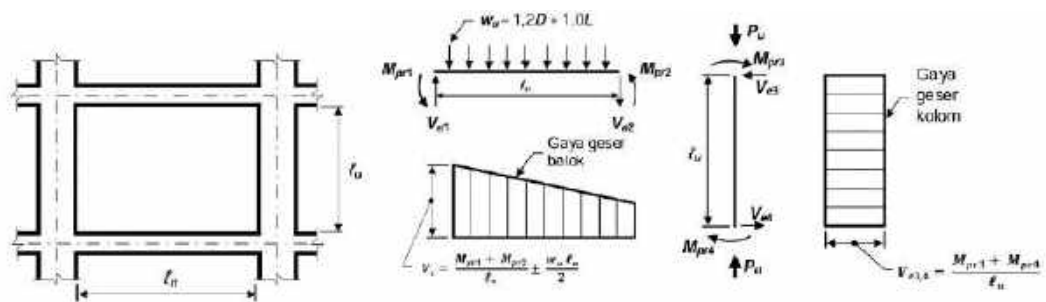
- a) Sengkang tertutup harus terpasang pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan ke arah Tengah bentang, dikedua ujung komponen struktur lentur dan disepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua dari suatu penampang dimana leleh lentur diharapkan dapat terjadi sehubungan dengan terjadinya deformasi inelastic struktur rangka
- b) Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Jarak antar Sengkang tertutup tidak boleh melebihi
 - $d/4$
 - enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama
 - 150 mm



Gambar 2.8 Sengkang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimal Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal
Sumber : Google

Persyaratan Kuat Geser

- Gaya geser rencana (V_e) tergantung pada besaran relatif beba gravitasi dan geser yang dihasilkan oleh momen ujung.
- Momen-momen ujung (M_{pr}) berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar $1,25f_y$.
- Momen-momen ujung (M_{pr}) untuk kolom tidak perlu lebih besar dari momen-momen yang dihasilkan oleh M_{pr} . Balok-balok yang menyambung ke dalam sambungan balok dan kolom. V_e tidak boleh kurang dari hasil analisis struktur.



Gambar 2.9 Gaya Geser Rencana SRPMK

Sumber: SNI 2847:2019, Pasal 18.6.5

Perencanaan Geser untuk Balok

Perencanaan geser untuk balok pada SRPMK, seperti terlihat pada Gambar 2.12 didasarkan atas persamaan berikut :

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L} \pm \frac{w_u L}{2} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.28)}$$

Keterangan :

- V_e = Gaya geser ultimate balok akibat gempa
- M_{pr1} = Kemungkinan momen diperletakan 1 akibat goyangan kekiri atau ke kanan
- M_{pr2} = Kemungkinan momen diperletakan 2 akibat goyangan kekiri atau ke kanan

W_u = Beban terfaktor akibat gravitasi

L = Panjang bentang bersih balok

2) Persyaratan pendetailan kolom

Pada SNI 2847-2019 Pasal 18.7 terdapat persyaratan pendetailan komponen struktur kolom pada SRPMK sebagai berikut:

Persyaratan Gaya dan Geometri pada Pasal 18.7.2.

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.7.2.1, kolom-kolom harus memenuhi persyaratan berikut :

- a) Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus dari titik pusat dan tidak kurang dari 300 mm
- b) Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.

Perencanaan Lentur pada Pasal 18.7.3.2

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi persyaratan persamaan berikut ini.

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2)\Sigma M_{nb} \dots\dots\dots \text{(Persamaa 2.29)}$$

Keterangan :

ΣM_{nc} = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang menyambung kedalam joint, yang di analisis di muka-muka *joint*. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, yang senilai dengan gaya-gaya lateral untuk menghasilkan nilai kuat lentur terkecil

ΣM_{nb} = Jumlah kekuatan lentur nominal balok yang menyambung kedalam joint, yang dianalisis di muka-muka joint. Pada balok-T, dimana pelat dalam kondisi Tarik akibat momen-momen di muka joint, tulangan pelat dalam lebar efektif di asumsikan berkontribusi terhadap jika tulangan pelat tersebut terangkur dengan baik pada penampang kritisnya.

Apabila persamaan tidak terpenuhi, maka kuat lateral dan kekakuan kolom tersebut harus diabaikan dalam perhitungan kekuatan dan kekakuan struktur.

Tulangan Longitudinal pada Pasal 18.7.4

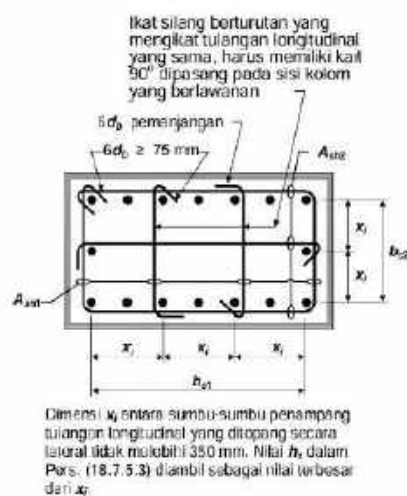
- a) Luas pada tulangan longitudinal (A_{st}) tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak melebihi $0,06 A_g$.
- b) Pada kolom-kolom dengan Sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 6.
- c) Sambungan las untuk menyambungkan tulangan lentur tidak boleh di tempatkan di daerah sendi plastis

Tulangan Transversal pada Pasal 18.7.5.2

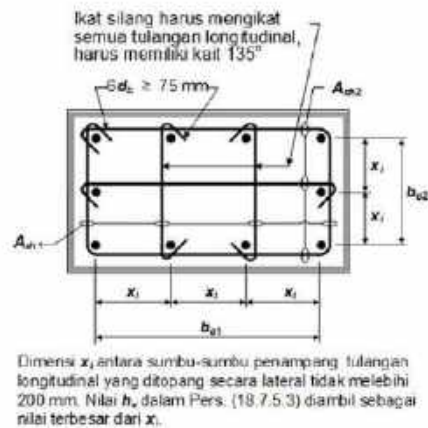
Tulangan transversal pada kolom, seperti sengkang atau spiral, memiliki peran krusial dalam meningkatkan perilaku daktail struktur beton bertulang, khususnya dalam kondisi beban ekstrem seperti gempa. Fungsi utamanya adalah sebagai pengekang terhadap beton inti di dalam kolom, yaitu bagian beton yang berada di dalam jangkauan tulangan transversal. Dengan adanya tulangan transversal ini, keruntuhan tekan yang rapuh dapat dicegah karena beton inti menjadi lebih tahan terhadap penghancuran akibat tekanan tinggi. Selain itu, tulangan transversal juga menahan geser dan membatasi pergeseran batang tulangan longitudinal, sehingga membantu menjaga stabilitas dan integritas struktur saat mengalami deformasi besar. Dalam SNI 2847-2019 pada pasal 18.7.5.2 tulangan transversal harus sesuai dengan persyaratan berikut ini.

- a) Tulangan transversal harus terdiri dari spiral Tunggal atau spiral saling tumpang (*overlap*), Sengkang pengekang persegi dengan atau tanpa ikat silang
- b) Setiap tekukan ujung Sengkang pengekang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal

- c) Ikat silang dengan ukuran batang tulangan senilai atau lebih kecil dari diameter sengkang pengekanng diizinkan sesuai dengan batasan D10 yang melingkari tulangan longitudinal D32 atau yang lebih kecil dan D13 yang melingkari tulangan longitudinal D36 atau yang lebih besar.
- d) Jika digunakan Sengkang pengekanng persegi maupun ikat silang, tulangan transversal tersebut harus berfungsi sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal
- e) Jarak antar tulangan longitudinal di sepanjang penampang kolom yang bertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki Sengkang pengekanng tidak boleh melewati 350 mm
- f) Ketika nilai ρ pada kolom dengan Sengkang pengekanng, setiap batang disekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari Sengkang pengekanng, dan jarak antar tulangan tidak boleh melebihi 200 mm.



Gambar 2.10 Penulangan Transversal Pada Kolom
Sumber : SNI 2847:2019, Pasal 18.7.5.2



Gambar 2.11 Penulangan Transversal Pada Kolom dengan Nilai $P_u > 0,3A_gf'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$
Sumber : SNI 2847:2019, Pasal 18.7.5.2

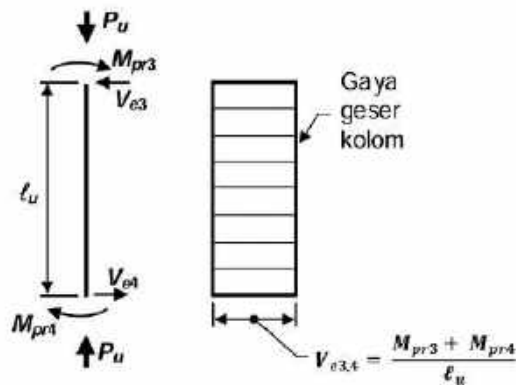
Perencanaan Geser untuk Kolom pada Pasal 18.7.6

Perencanaan geser adalah bertujuan untuk memastikan bahwa elemen bangunan dapat menahan gaya geser yang terjadi akibat beban lateral, seperti angin atau gempa. Dalam perencanaan ini, analisis yang cermat terhadap dimensi, tata letak, dan jenis material sangat diperlukan untuk mencapai keamanan dan stabilitas struktur. Gaya geser Desain (V_e) harus perhitungkan dengan gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi pada muka hubungan balok dan kolom pada setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya maksimum harus ditentukan menggunakan kuat momen maksimum (M_{pr}) dari komponen struktur yang terkait dengan rentang beban-beban aksil terfaktor yang bekerja. Gaya geser desain dapat dihitung dengan persamaan berikut yang berdasarkan pada Gambar 2.12.

$$V_e = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{\ell_u} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.30)}$$

Keterangan

ℓ_u = Tinggi bersih kolom



Gambar 2.12 Perencanaan Geser Desain untuk Kolom
Sumber: SNI 2847:2019, Pasal 18.6.5

3) Perencanaan Hubungan Balok-Kolom pada SRPMK

Sambungan antara balok dan kolom merupakan salah satu komponen terpenting dalam sistem struktur rangka pemikul momen. Ketika struktur mengalami beban lateral akibat gempa, balok yang terhubung dengan kolom akan cenderung berotasi ke arah yang sama. Hal ini akan menimbulkan akumulasi gaya geser yang besar pada sambungan tersebut dan membuat hubungan balok dan kolom menjadi komponen paling kritis dalam merespons beban lateral.

- **Persyaratan Gaya dan Geometri**

Pada perencanaan tulangan longitudinal di muka sambungan balok dan kolom, perhitungan gaya yang bekerja harus memperhitungkan tegangan dan kapasitas sambungan. Tegangan pada tulangan Tarik lentur diasumsikan sebesar 1,25 kali kuat leleh tulangan ($1,25f_y$). Asumsi ini berfungsi untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya peningkatan tegangan melebihi kuat leleh akibat efek regangan tinggi saat terjadi gempa. Selanjutnya, perhitungan kapasitas sambungan yang menggunakan faktor reduksi kekuatan sebesar 0,8. Faktor reduksi ini berfungsi untuk memberikan keamanan tambahan untuk ketidakpastian dalam perilaku sambungan selama pembebanan gempa. Berikut ini adalah persyaratan geometri untuk hubungan balok dan kolom SRPMK.

- a) Untuk beton normal, dimensi kolom pada hubungan balok dan kolom dalam arah paralel tulangan longitudinal; balok harus lebih besar dari atau sama dengan 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar.
- b) Untuk beton ringan, dimensi minimumnya 26 kali diameter.

- **Tulangan Transversal**

Tulangan transversal sebagai Sengkang tertutup harus dipasang tidak hanya pada daerah sendi plastis, tetapi juga harus dipasang diperpanjang hingga mencakup seluruh daerah sambungan balok dan kolom. Persyaratan ini berlaku untuk memastikan kekangan yang memadai terhadap beton inti pada daerah kritis. Apabila terdapat kondisi balok-balok dengan lebar minimal $\frac{3}{4}$ lebar kolom menyambung pada keempat sisi hubungan balok dan kolom, maka tulangan transversal cukup dipasang sebanyak $\frac{1}{2}$ dari jumlah yang dipasang pada sendi plastis kolom. Pemasangan tulangan transversal dimulai dari sisi terbawah balok yang menyambung ke hubungan tersebut. Jarak antar tulangan transversal untuk kondisi ini dapat diperbesar menjadi 150 mm.

Pada hubungan balok dan kolom dengan lebar balok lebih besar dari pada lebar kolom, tulangan transversal pada daerah sendi plastis kolom harus dipasang pada hubungan tersebut guna untuk memberikan kekangan terhadap tulangan longitudinal balok yang berada diluar inti kolom.

Gaya geser horizontal pada daerah hubungan balok dan kolom dapat dihitung dengan asumsi bahwa elemen lentur yang menyambung pada hubungan balok dan kolom tersebut telah mencapai kapasitasnya, dengan menetapkan gaya Tarik tulangan lentur balok sebesar $A_s \cdot 1,25 \cdot f_y$.

- **Perencanaan Geser untuk Balok**

Panjang penyaluran tulangan Tarik untuk tulangan diameter 10 hingga diameter 36 yang ujungnya diberikan kaitan standar, panjang penyaluran (harus dihitung dengan persamaan berikut :

$$\ell_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \lambda \sqrt{f'_c}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.31)}$$

Untuk beton normal:

$$\lambda = 0,75$$

Untuk beton ringan:

$$\lambda = 1,0$$

Untuk beton normal, Panjang penyaluran (ℓ_{dh}) yang dihitung tidak boleh kurang dari nilai maksimum antara 8_{db} dan 150 mm , dan untuk beton ringan tidak boleh kurang dari nilai maksimum 10_{db} dan 190 mm . Namun, untuk tulangan diameter 10 (D10) hingga diameter 36 (D36) Panjang penyaluran tulangan Tarik (ℓ_d) untuk tulangan lurus tidak boleh kurang dari :

- a) 2,5 kali Panjang penyaluran dengan kait (ℓ_{dh}), apabila tebal pengecoran beton dibawah tulangan tersebut kurang dari 300 mm, dan
- b) 3,5 kali Panjang penyaluran dengan kait (ℓ_{dh}), apabila tebal pengecoran beton dibawah tulangan tersebut melebihi 300 mm.

Tulangan lurus yang tidak menyambung pada joint harus melewati inti terkekang kolom atau kompenen batas. Setiap bagian dari tulangan lurus ini yang tidak berada di dalam inti terkedang harus diperpanjang dengan faktor sebesar 1,6 kali.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

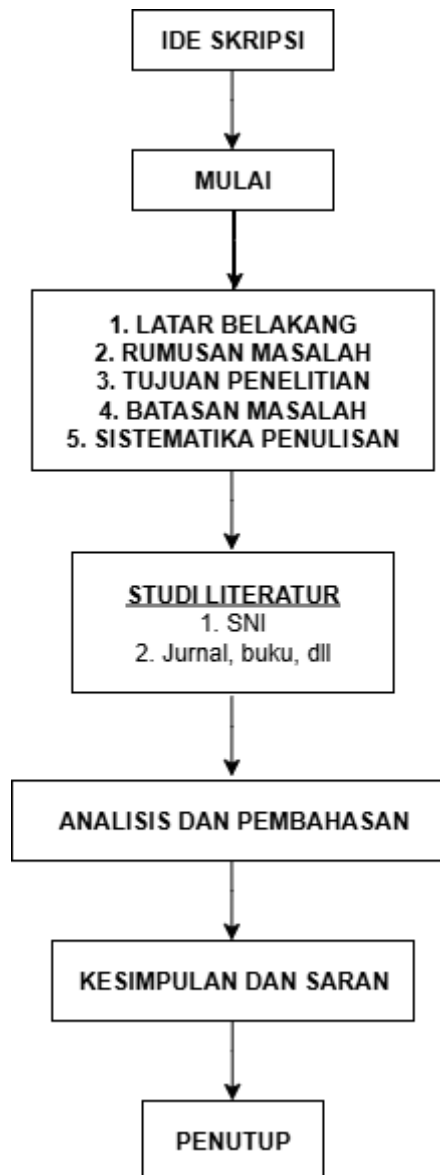
Penelitian ini mengadopsi pendekatan gabungan (*mixed methods*) yang memadukan metode kualitatif-deskriptif dan kuantitatif-analitis secara komprehensif. Pada tahap awal, dilakukan studi literatur secara kualitatif melalui telaah kritis terhadap Standar Nasional Indonesia (SNI), referensi teoritis terkait perilaku struktur beton bertulang. Tahap ini menghasilkan kerangka konseptual yang menjadi landasan teknis penelitian. Selanjutnya, pendekatan kuantitatif diterapkan melalui analisis numerik dan komputasional untuk menghitung respons struktur terhadap pembebanan statis-dinamis, dengan mempertimbangkan parameter material, geometri struktur, dan kondisi lingkungan spesifik lokasi.

Kombinasi metode ini memastikan tercapainya tiga kriteria utama perencanaan: keamanan (*safety*) melalui faktor reduksi kekuatan yang memadai, kekuatan (*strength*) dengan kapasitas elemen melebihi beban ultimit, dan kekakuan (*stiffness*) yang membatasi drift akibat beban lateral. Validasi hasil dilakukan dengan komparasi terhadap studi kasus sejenis dan pengecekan ulang (*cross-check*) perhitungan manual-software. Dengan metodologi yang terstruktur ini, penelitian ini bertujuan menghasilkan desain yang tidak hanya memenuhi standar teknis, tetapi juga ekonomis dan aplikatif untuk kondisi geoteknik Nongsa.

3.1.1 Alur Penelitian

Alur penelitian secara fundamental merupakan konstruksi epistemologis yang merepresentasikan sistematika metodis dalam proses pencarian kebenaran ilmiah, mulai dari fase inisiasi gagasan hingga sintesis pengetahuan baru. Sebagai sebuah kerangka operasional, alur penelitian tidak hanya bersifat linear melainkan juga iteratif, memungkinkan proses verifikasi dan refinemen pada setiap tahapannya. Penelitian ini bertujuan untuk merancang struktur beton bertulang bangunan hotel akibat beban gempa, sehingga didapatkan hasil perancangan yang

optimal sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Diagram Alur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.

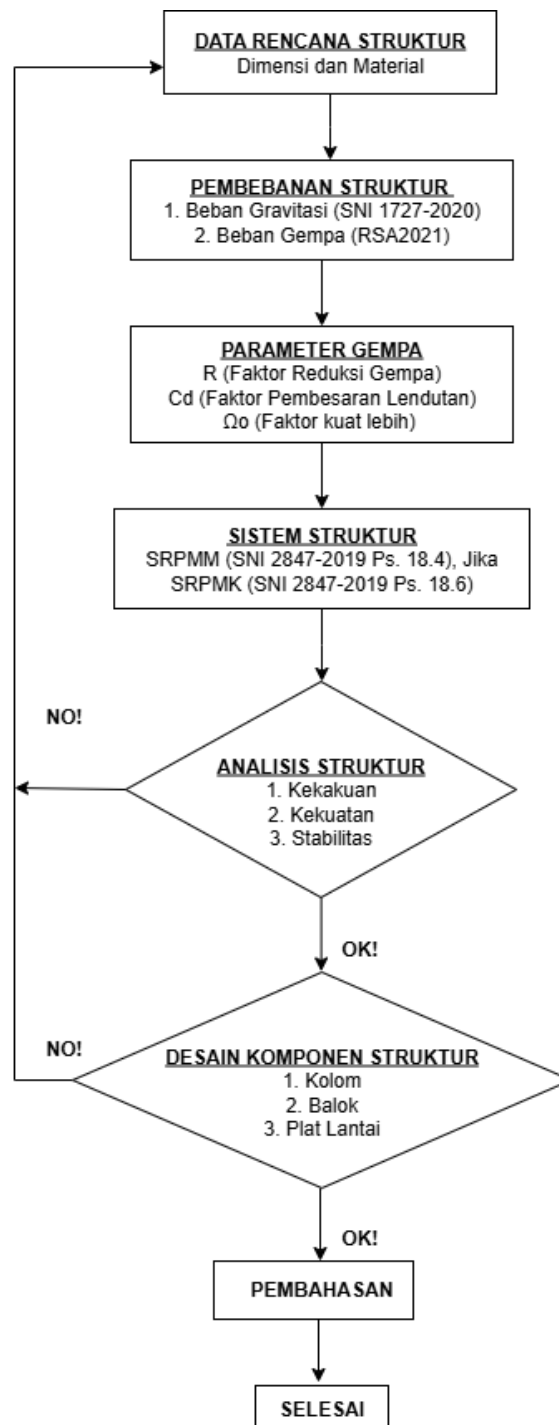


Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.2 Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan penelitian merupakan suatu kerangka operasional yang memuat tahapan-tahapan metodologis yang terstruktur dan sistematis, yang secara konsekuen diterapkan oleh peneliti dalam proses investigasi ilmiah guna mencapai tujuan penelitian yang telah dirumuskan. Prosedur pelaksanaan ini diawali dari

tahap persiapan data rencana struktur, meliputi proses verifikasi dan analisis data, hingga tahap finalisasi penelitian, penelitian dapat melakukan kontrol kualitas terhadap data yang diperoleh, sekaligus memastikan validitas penelitian sesuai dengan standar nasional Indonesia (SNI) yang berlaku.



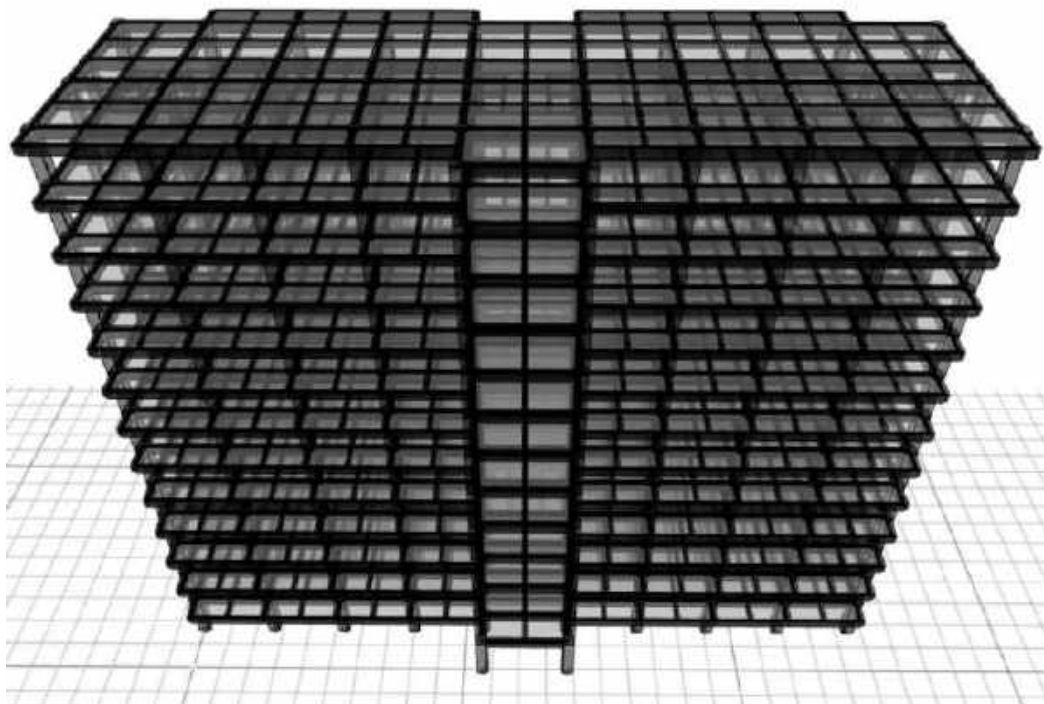
Gambar 3.2 Flowchart Perancangan Struktur

BAB IV

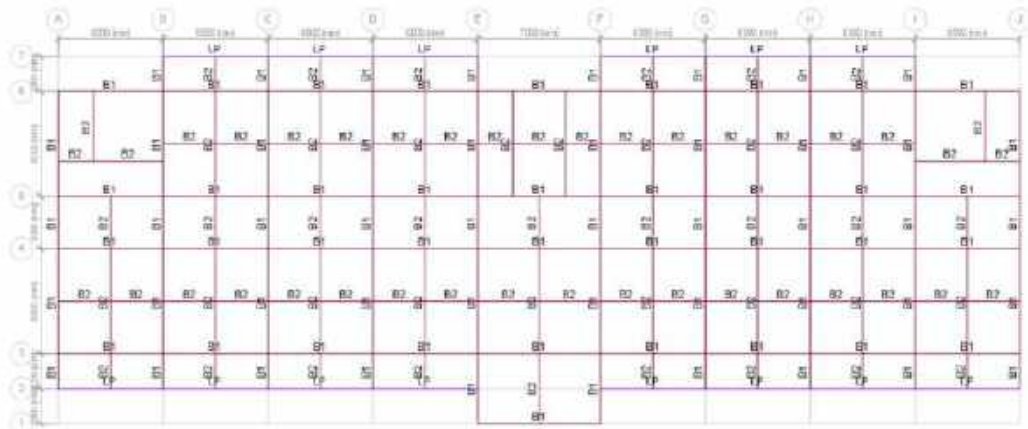
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Rencana Struktur

Perencanaan bangunan hotel dimodelkan sebagai bangunan struktur beton bertulang 13 lantai. Perletakan struktur dimodelkan dengan tumpuan jepit-jepit, dengan ketinggian 46 m tinggi lantai satu 4 m dan lantai berikutnya yaitu 3,5 m dengan luas bangunan berukuran 55x21 m. Permodelan struktur bangunan dapat dilihat pada gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Perspektif Struktur Bangunan Rencana
Sumber : Hasil Analisis

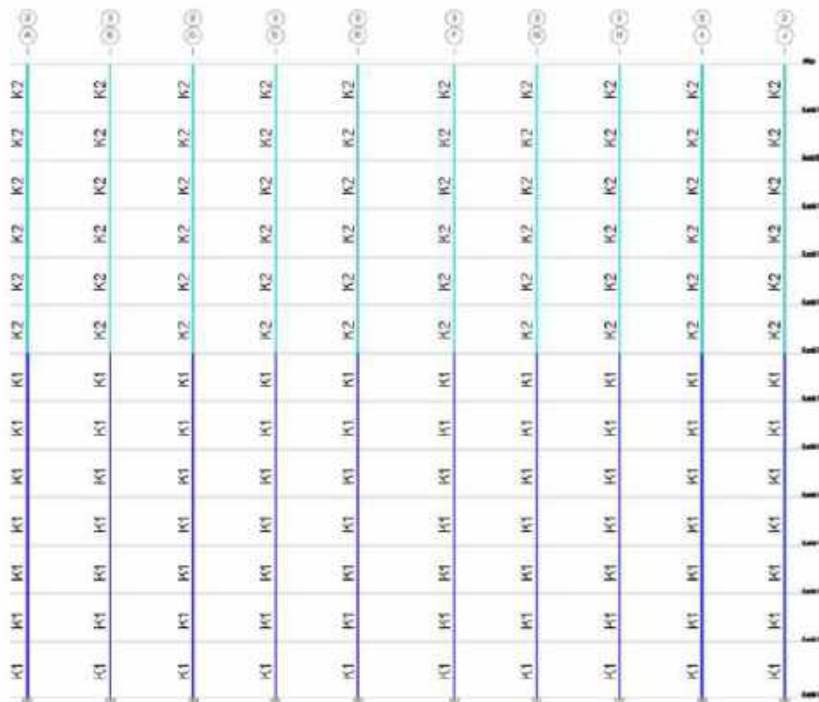


Gambar 4.2 Denah Balok L2-L13
Sumber : Hasil Analisis

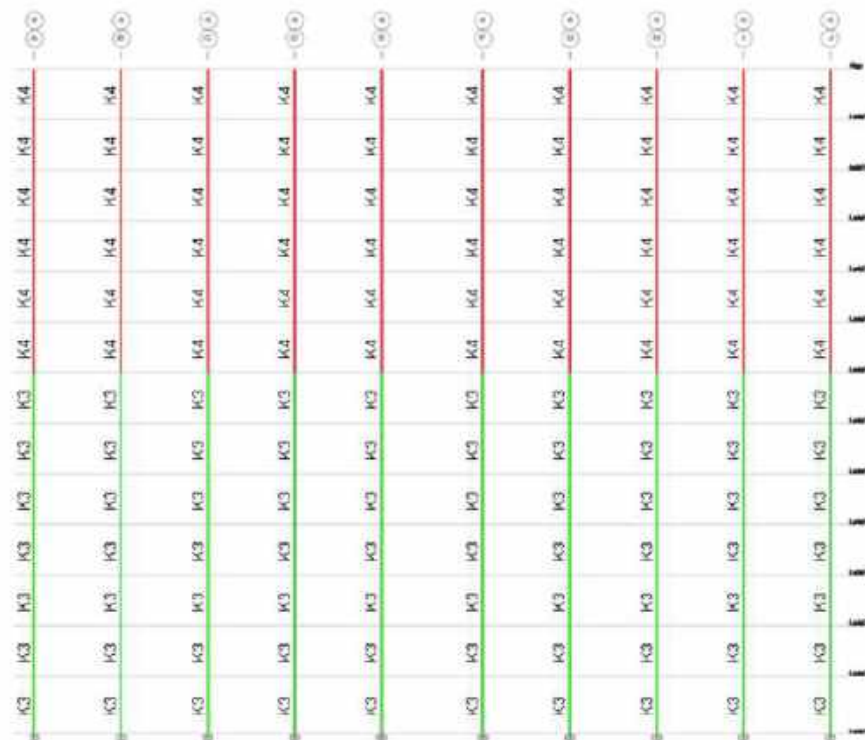
Tabel 4.1 Dimensi Balok

Tipe Balok	Dimensi Balok (mm)	
	b	h
Balok Induk (B1)	400	600
Balok Anak (B2)	250	400
Lis Plang (LP)	200	400

Sumber : Data Perencanaan



Gambar 4.3 Denah Kolom L2-L8
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.4 Denah Kolom L9-L13
Sumber : Hasil Analisis

Gambar 4.3 dan gambar 4.4 menampilkan denah kolom untuk area struktur antara lantai 2 hingga lantai 13, yang merupakan hasil analisis struktural. Denah ini memperlihatkan tata letak kolom-kolom penyangga utama pada bangunan tinggi beserta dimensinya, dengan fokus pada area vertikal tertentu dari struktur. Gambar ini berfungsi sebagai dokumen teknis penting untuk memverifikasi keselarasan sistem kolom antar lantai, konsistensi dimensi elemen struktur, dan kontinuitas sistem penahan beban vertikal. Informasi yang terkandung dalam denah kolom ini menjadi dasar untuk analisis lebih lanjut mengenai distribusi beban, pemeriksaan kapasitas kolom, serta koordinasi dengan sistem struktur lainnya. Visualisasi denah kolom multi-lantai semacam ini sangat penting dalam perencanaan struktur bangunan tinggi untuk memastikan kekokohan sistem penopang vertikal terhadap berbagai kombinasi pembebanan.

- **Dimensi Struktur**

Tabel 4.2 Dimensi Kolom

Tipe Kolom	Dimensi Kolom (mm)	
	b	h
Kolom 1 (K1)	850	850
Kolom 2 (K2)	800	800
Kolom 3 (K3)	650	650
Kolom 4 (K4)	600	600

Sumber : Data Perencanaan

- **Data Material**

- Mutu Beton

$$B_j = 24 \text{ kN/m}^3$$

- Kuat tekan beton dan modulus elastisitas

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

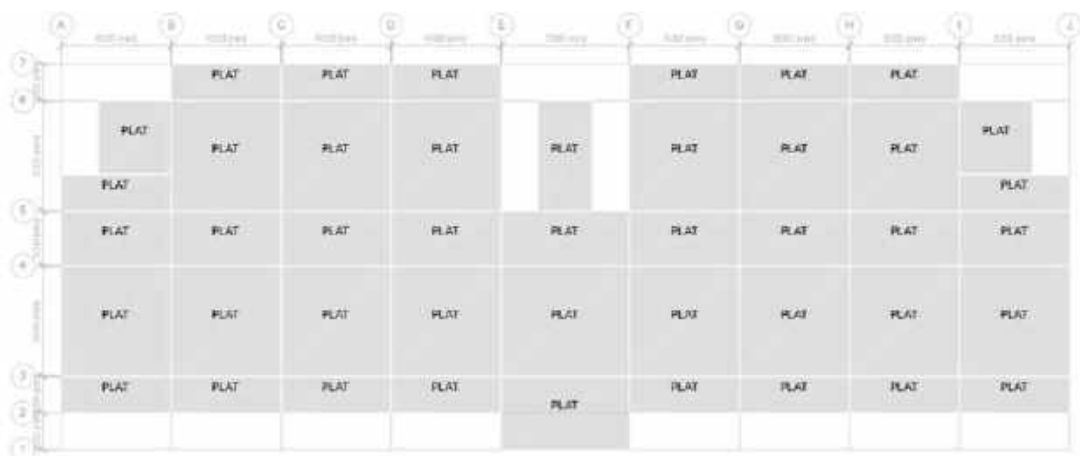
$$E_c = 25.332 \text{ MPa}$$

- Tegangan leleh baja tulangan dan modulus elastisitas

$$F_y = 420 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

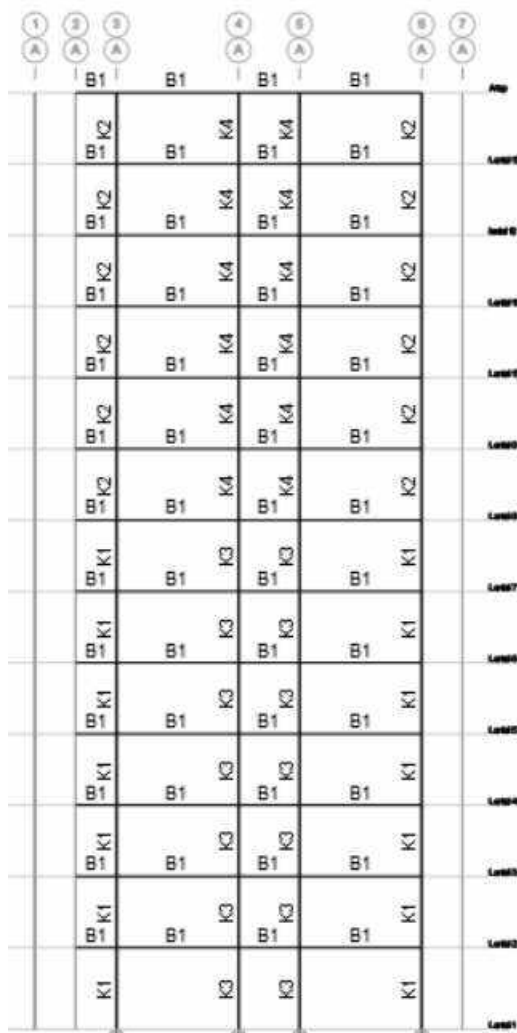
- Tebal Plat Lantai = 120 mm



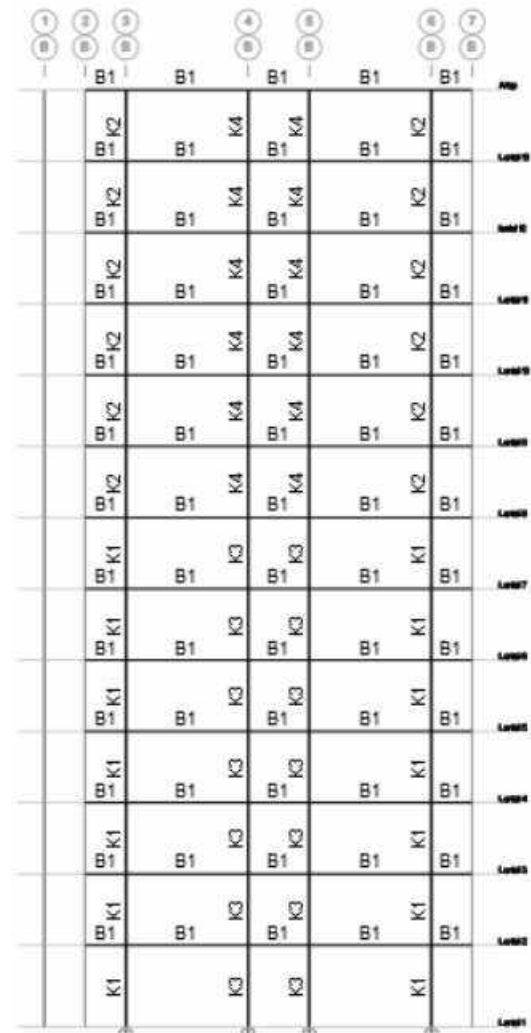
Gambar 4.5 Denah Plat Lantai L2-L13

Sumber : Hasil Analisis

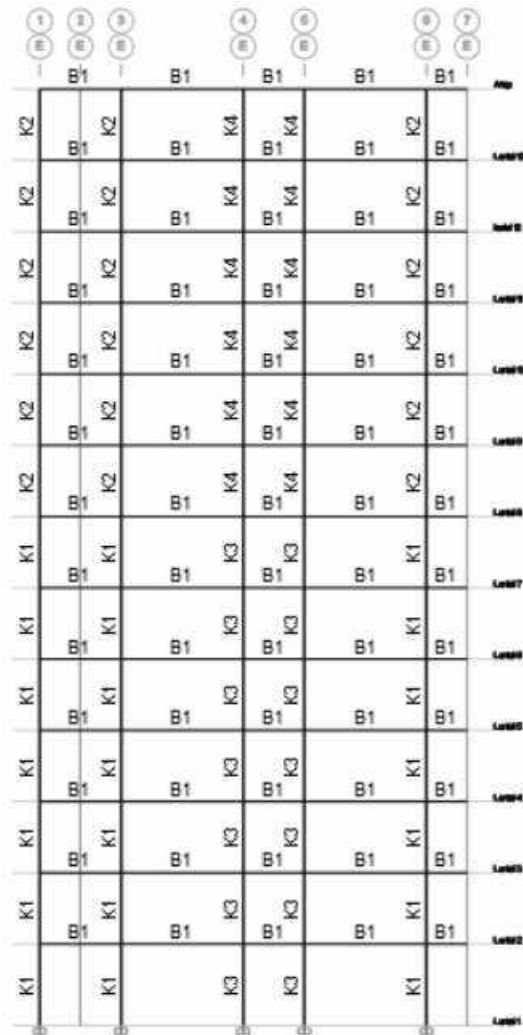
Gambar 4.5 denah plat lantai ini menampilkan sistem plat beton bertulang yang menjadi elemen utama struktur horizontal bangunan. Denah memperlihatkan pola penulangan plat dengan distribusi tulangan dua arah (arah X dan Y) yang dirancang untuk menahan beban lentur akibat beban gravitasi. Terlihat jelas pembagian area pelat berdasarkan momen positif di tengah bentang dan momen negatif di daerah tumpuan, dengan ketebalan pelat yang seragam sebesar 120 mm. Denah ini menjadi acuan penting dalam pelaksanaan pembesian di lapangan dan memastikan bahwa pelat lantai memiliki kapasitas yang memadai untuk menahan beban hidup dan beban mati struktur.



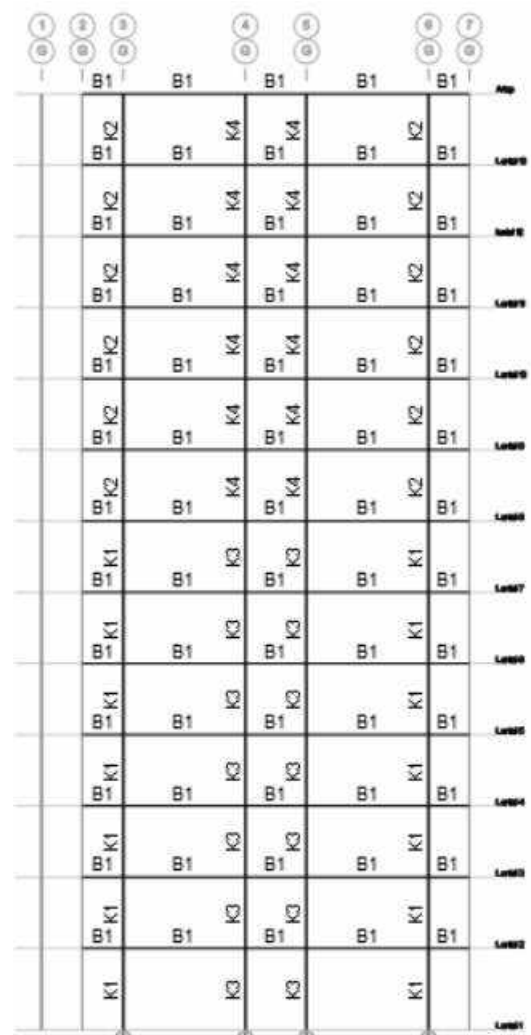
Gambar 4.6 Portal Grid A
Sumber : Hasil Analisis



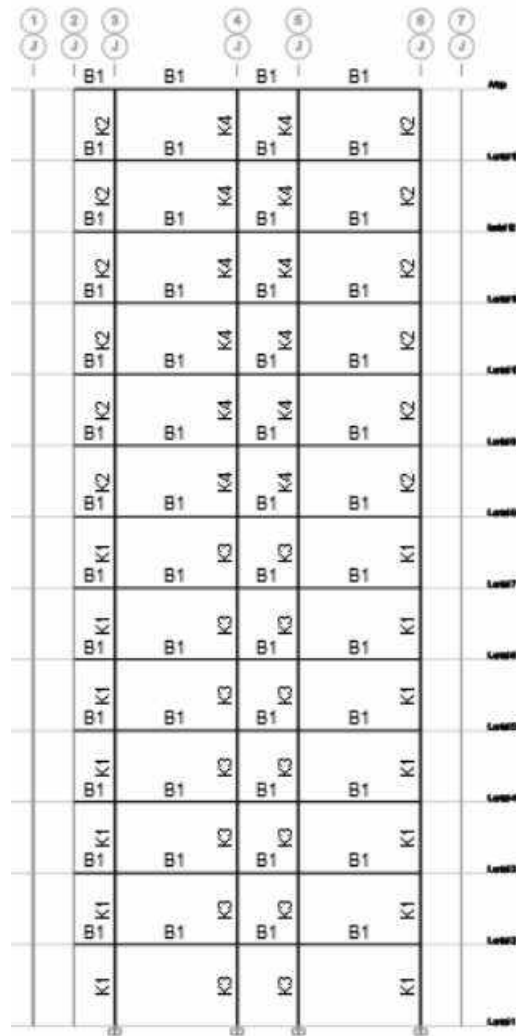
Gambar 4.7 Portal Grid B, C dan D
Sumber : Hasil Analisis



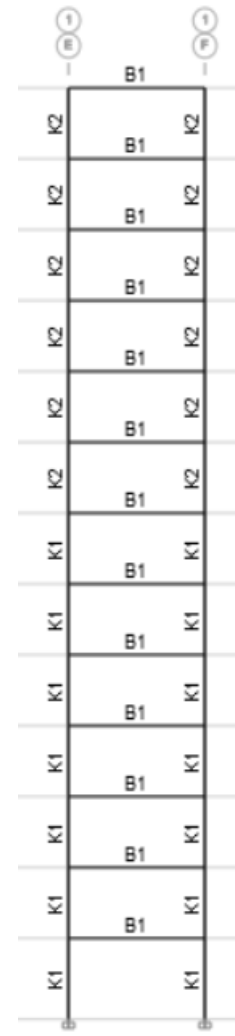
Gambar 4.8 Portal Grid E dan F
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.9 Portal Grid G, H dan I
Sumber : Hasil Analisis

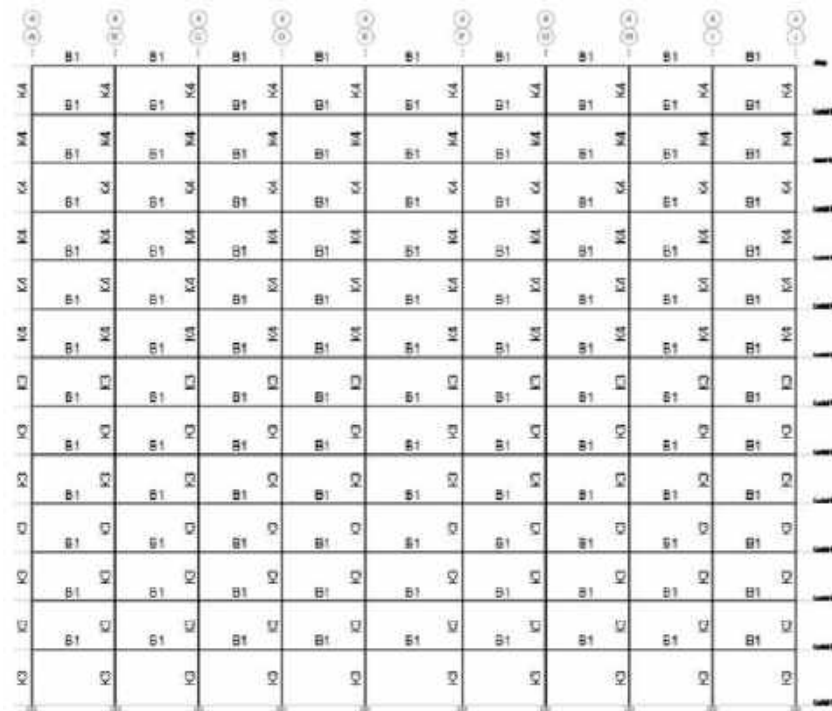


Gambar 4.10 Portal Grid J
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.11 Portal Grid 1
Sumber : Hasil Analisis

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460	1461	1462	1463	1464	1465	1466	1467	1468	1469	1470	1471	1472	1473	1474	1475	1476	1477	1478	1479	1480	1481	1482	1483	1484	1485	1486	1487	1488	1489	1490	1491	1
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	---



Gambar 4.14 Portal Grid 4 dan 5

Sumber : Hasil Analisis

Gambar 4.8 sampai 4.14 menampilkan model portal struktur yang merepresentasikan sistem rangka pemikul momen pada grid tertentu bangunan. Secara khusus menunjukkan konfigurasi portal pada grid-grid, yang mungkin dipilih karena memiliki karakteristik pembebanan atau geometri yang khas, seperti bentangan yang lebih panjang atau perubahan kekakuan vertikal. Gambar tersebut mengungkapkan pola hubungan elemen struktur vertikal (kolom) dan horisontal (balok) yang membentuk sistem rangka ruang (*space frame*) bangunan. Model portal ini menjadi dasar penting dalam analisis struktur untuk memahami distribusi gaya-gaya internal, khususnya momen lentur dan gaya geser yang bekerja pada sambungan balok-kolom. Visualisasi portal pada grid-grid spesifik ini memungkinkan evaluasi terhadap kinerja sistem rangka dalam menahan kombinasi beban gravitasi dan lateral, serta membantu mengidentifikasi potensi titik lemah yang memerlukan penguatan. Hasil analisis portal-grid ini akan digunakan

untuk memverifikasi kapasitas elemen struktur dan detail sambungan sesuai persyaratan standar gempa, sekaligus menjadi acuan dalam optimasi desain untuk mencapai efisiensi material tanpa mengorbankan aspek keamanan struktur.

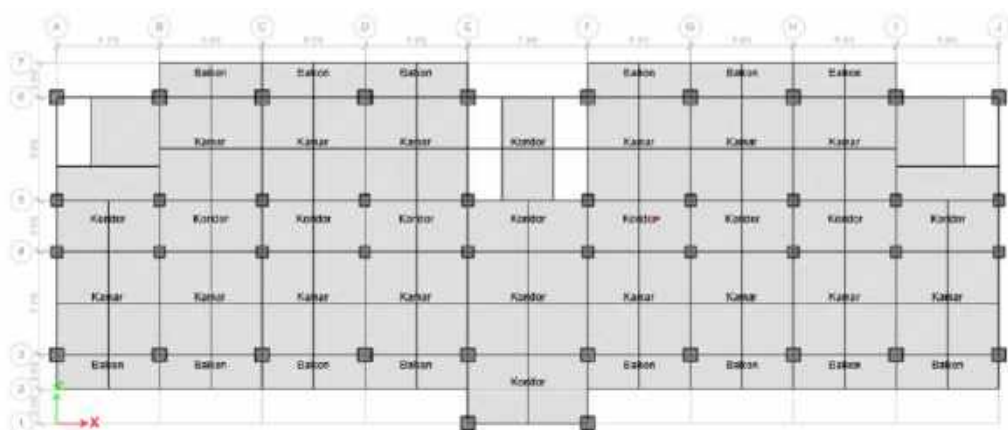
4.2 Pembebanan Stuktur

Perancangan struktur bangunan yang direncanakan untuk mampu menahan beban gravitasi yang didapat dari berat dari berbagai jenis komponen struktur beban yang bekerja secara vertikal sepanjang umur layanannya. Yang mecakup pada beban gravitasi ini yaitu, beban mati, yaitu berat sendiri dari elemen-elemen struktur seperti balok, kolom, plat, dinding dan Beban Mati Tambahan Atau *Super Imposed Dead Load* (SIDL).

4.2.1 Beban Gravitasi

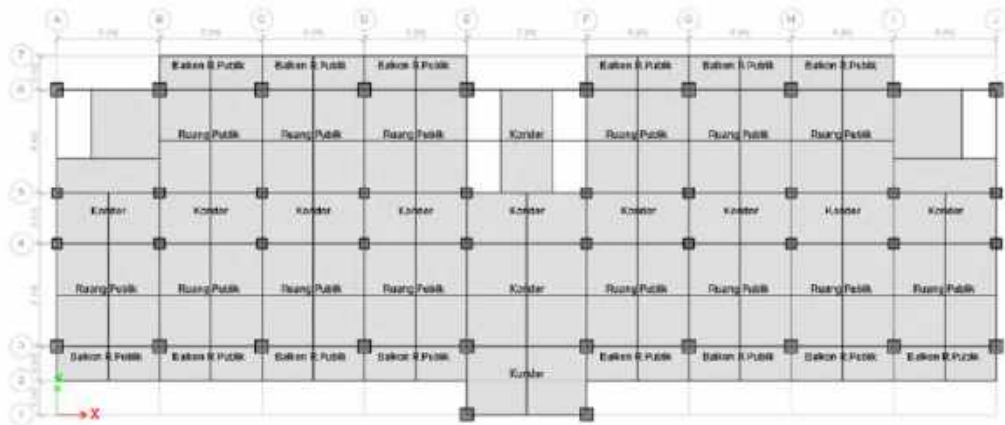
- **Beban Hidup lantai :**

Kamar	= 1,92	kN/m ²
Ruang Publik	= 4,79	kN/m ²
Balkon Kamar	= 2,88	kN/m ²
Balkon Ruang Publik	= 4,79	kN/m ²
Koridor	= 3,83	kN/m ²



Gambar 4.15 Denah Area Pembebanan Lantai 2 - Lantai 12

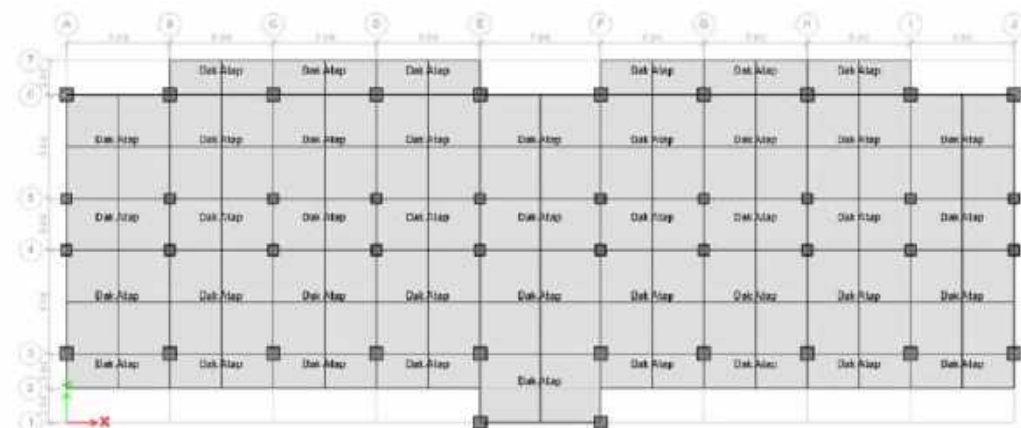
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.16 Denah Area Pembebanan Lantai 13
Sumber : Hasil Analisis

- Beban Hidup Atap :**

$$\text{Dag Atap} = 0,96 \text{ kN/m}^2$$



Gambar 4.17 Denah Area Pembebanan Dag Atap
Sumber : Hasil Analisis

Gambar-gambar tersebut menyajikan denah pembebanan struktur bangunan bertingkat yang terbagi dalam tiga bagian utama. Gambar 4.15 menampilkan denah area pembebanan untuk Lantai 2 hingga Lantai 12, yang menggambarkan distribusi beban merata pada seluruh area lantai secara berulang di setiap tingkat. Gambar 4.16 khusus menunjukkan denah pembebanan Lantai 13 sebagai lantai terakhir sebelum atap, dengan pola pembebanan yang mungkin berbeda akibat fungsi ruang yang spesifik. Sedangkan Gambar 4.17 memfokuskan pada denah area pembebanan atap (Dag Atap) dengan beban hidup atap sebesar $0,96 \text{ kN/m}^2$ yang menjadi

pertimbangan khusus dalam perencanaan struktur atas. Ketiga gambar ini secara kolektif membentuk sistem pembebanan vertikal yang komprehensif untuk bangunan tinggi, di mana pola pembebanan yang konsisten pada lantai tipikal (Lantai 2-12) berubah menjadi lebih spesifik pada lantai atas dan atap. Informasi pembebanan ini menjadi dasar kritis dalam analisis struktur untuk menentukan gaya-gaya internal pada elemen vertikal (kolom) dan horizontal (balok, pelat), serta memverifikasi bahwa sistem struktur mampu memikul kombinasi beban mati, hidup, dan lingkungan sesuai persyaratan keamanan bangunan.

- **Beban Mati Tambahan (SIDL) :**

Berdasarkan pada perancangan mengenai beban mati tambahan, maka dapat di rencanakan nilai beban mati tambahan yang akan di input ke dalam permodelan struktur yaitu sebagai berikut :

SIDL Lantai

<i>Finishing</i> lantai 5cm	=	1,15	kN/m
Penutup Lantai (keramik)	=	0,77	kN/m
Dinding	=	1,87	kN/m
Plafond+ rangka	=	0,18	kN/m
<i>Mechanical Duct Allowance</i>	=	0,19	kN/m
TOTAL	=	3.97	kN/m

SIDL Atap

<i>Finishing</i> Lantai 5cm	=	1,15	kN/m
Plafond + Rangka	=	0,18	kN/m
<i>Mechanical Duct Allowance</i>	=	0,19	kN/m
TOTAL	=	1,52	kN/m

Kaca

Lantai 1 (4 m)	=	(4-0,6).250.9,8065/100
	=	8,34 kN/m

$$\begin{aligned}\text{Lantai 2-12 (3,5 m)} &= (3,5-0,6).250.9,8065/100 \\ &= 7,11 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Dinding Bata

$$\begin{aligned}\text{Lantai 1 (4 m)} &= (4-0,6).72.9,8065/1000 \\ &= 2,40 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lantai 2-13 (3,5 m)} &= (3,5-0,6).72.9,8065/1000 \\ &= 2,05 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

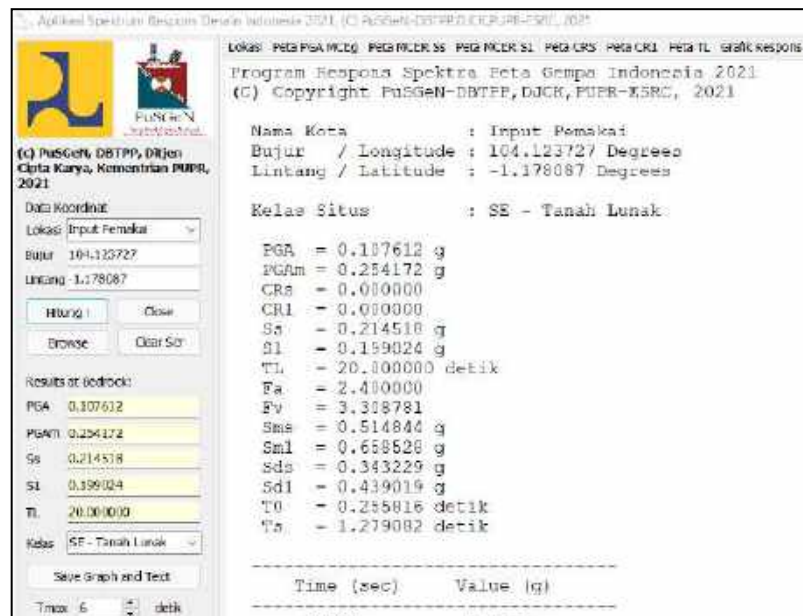
4.2.2 Beban Gempa

Beban gempa didapatkan pada program spektrum respon desain dengan menginput titik koordinat lokasi perancangan struktur bangunan gedung hotel.

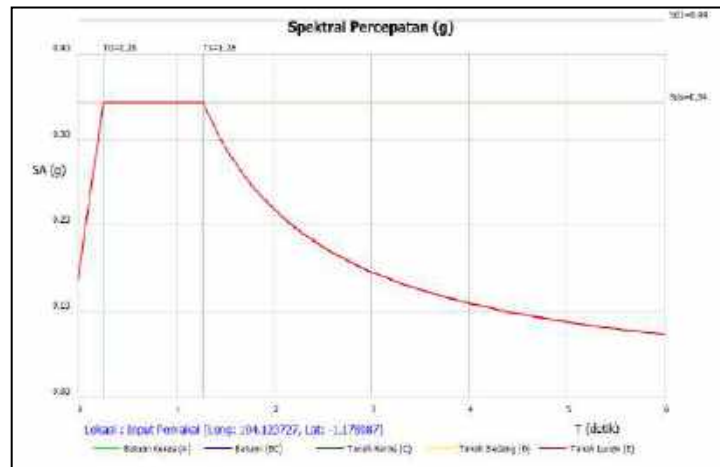
1) Data Respon Spektra

Lokasi perancangan struktur bangunan gedung hotel diambil pada kondisi tanah lunak yang termasuk dalam klasifikasi site E.

Berdasarkan hasil dari titik koordinat yang didapat (-1.178087,104.123727) dan di input ke dalam RSA 2021, maka didapat hasil data respon spektra dan grafik respon spektra, yang dapat dilihat pada gambar 4.15 dan 4.16:



Gambar 4.18 Data Respon Spektra Lokasi Nongsa
Sumber : RSA2021



Gambar 4.19 Grafik Respon Spektra
Sumber : RSA 2021

- Periode pendek 0,2 detik (S_s) = 0.214518 g
- Periode 1 detik (S_1) = 0.119024 g

Berdasarkan tabel 2.7 kategori resiko bangunan adalah II

- Faktor keutamaan gempa = 1

Berdasarkan gambar 4.18 dapat ditentukan nilai F_a dan F_v ,

- Kategori Lokasi F_a = 2.4 g
- Kategori Lokasi F_v = 3.30871 g

– Nilai S_{MS} dan S_{M1}

Nilai S_{MS} (percepatan pada periode pendek) dan S_{M1} (percepatan pada periode 1 detik) dihitung menggunakan rumus empiris yang melibatkan koefisien situs. S_{MS} dan S_{M1} penting dalam analisis gempa untuk menentukan respons struktur terhadap beban seismik.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.2)}$$

$$S_{MS} = 2,4 \times 0.214518 = 0,514992 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.3)}$$

$$S_{M1} = 4,056 \times 0,0754 = 0,306 \text{ g}$$

Perhitungan nilai SDS dan SD1

Nilai SDS (*Short-term Design Spectral Response*) dan SD1 (*1-Second Design Spectral Response*) adalah parameter penting dalam desain struktur tahan gempa. Berikut adalah rumus untuk menghitung nilai SDS dan SD1

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times F_a \times S_s \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.4)}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 2,4 \times 0,214518 = 0,343229$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times F_v \times S_1 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.5)}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 3,30871 \times 0,119024 = 0,439019$$

Waktu getar alami struktur gedung

Waktu getar alami (*natural period*) dari struktur gedung adalah waktu yang dibutuhkan oleh struktur untuk menyelesaikan satu siklus getaran bebas. Waktu getar alami sangat penting dalam analisis seismik karena mempengaruhi respons struktur terhadap gempa.

$$T_o = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.9)}$$

$$T_o = 0,2 \times \frac{0,439019}{0,343229} = 0,255816$$

Waktu getar alami sudut (T)

Waktu getar alami sudut dari suatu struktur dapat dihitung dengan mempertimbangkan karakteristik dinamis dari struktur tersebut. Untuk struktur yang memiliki bentuk dan sistem yang lebih kompleks, seperti balok atau kolom.

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.10)}$$

$$T_s = \frac{0,439019}{0,343229} = 1,279082$$

Berdasarkan pada data diatas mengenai data respon spektra, diperoleh data sebagai berikut :

S_s	$= 0,214518 \text{ g}$	SDS	$= 0,343229 \text{ g}$
S_1	$= 0,199024 \text{ g}$	$SD1$	$= 0,439019 \text{ g}$
F_a	$= 2,4$	I_e	$= 1$
F_v	$= 3,308781$	T_o	$= 0,255816 \text{ sec.}$
S_{MS}	$= 0,514844 \text{ g}$	T_s	$= 1,279082 \text{ sec.}$
S_{M1}	$= 0,658528 \text{ g}$		

2) Parameter Gempa

Berdasarkan pada tabel 2.9 dan table 2.10 kategori desain gempa (KDG) yang didapat yaitu sebagai berikut :

$$SDS < 0,343229 \quad KDG = C$$

$$0,439019 \leq SD1 \quad KDG = D$$

Berdasarkan data di atas Tingkat resiko kegempaan tinggi (**KDG D**), yaitu Struktur rangka pemikul momen khusus (SPRMK). Menurut tabel 2.12 dari data diatas koefisien desain dan faktor-faktor sistem penahan gempa yaitu sebagai berikut :

$$R = 8,0$$

$$\Omega_0 = 3,0$$

$$Cd = 5,5$$

4.3 Analisis Struktur

Analisis struktur merupakan suatu prosedur rekayasa fundamental yang melibatkan serangkaian perhitungan komprehensif dan evaluasi sistematis terhadap respons perilaku suatu sistem bangunan ketika menerima berbagai jenis pembebanan eksternal maupun internal. Proses analitik ini secara khusus mengkaji

interaksi dinamis antara elemen-elemen struktural dengan gaya-gaya yang bekerja, mencakup tidak hanya beban gravitasi yang terdiri dari beban mati (*dead load*) akibat berat sendiri struktur dan beban hidup (*live load*) dari aktivitas penghuni, tetapi juga beban lateral seperti gaya seismik yang bersifat siklik. Melalui pendekatan mekanika struktur yang ketat, analisis ini bertujuan untuk memverifikasi kapasitas elemen struktural dalam memenuhi kriteria kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), dan stabilitas (*stability*) sesuai persyaratan desain yang berlaku, sekaligus mengantisipasi berbagai skenario pembebanan selama masa layan struktur.

4.3.1 Hasil Pembebanan Struktur

Dari hasil perancangan yang didapatkan hasil pembebanan. Berdasarkan hasil output pada ETABS mengenai beban gravitasi, rekap beban gravitasi yang didapat setelah melakukan analisis dengan software ETABS dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Rekap Beban Gravitasi

Jenis Beban	Total (kN)
Beban Mati (DL)	97.438,24
Beban Tambahan (SIDL)	71.692,24
Beban Hidup (L)	31.793,64

Sumber : Hasil Analisis

4.3.2 Penentuan Periode Fundamental Struktur (T)

Periode fundamental adalah waktu yang dibutuhkan oleh struktur untuk menyelesaikan satu siklus getaran bebas pertamanya setelah mengalami gangguan. Besarnya periode ini sangat dipengaruhi oleh kekakuan dan massa total strukturbangunan yang lebih tinggi. Berdasarkan pada Tabel 2.13 nilai S_{D1} adalah 0,439019, maka diperoleh nilai koefisien C_u sebesar 1,4 dan pada Tabel 2.14 untuk rangka beton pemikul momen diperoleh nilai C_t sebesar 0,0466 dan α sebesar 0,9, dengan tinggi bangunan 46 meter. Nilai batas bawah dan atas dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

Batas Bawah

$$T_a = C_t \times h_n^x \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.11)}$$

$$T_a = 0,0466 \times 46^{0,9} = 1,46 \text{ sec.}$$

Batas Atas

$$T < C_u \times T_a \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.12)}$$

$$T < 1,4 \times 1,46 = 2,046 \text{ sec.}$$

Setelah dilakukannya permodelan struktur pada software ETABS, maka tahap selanjutnya adalah mengontrol hasil analisis struktur dengan menentukan kontrol analisis pada kondisi *un-crack* yang dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan pada kondisi *Crack* yang dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Perioda Ragam Getar dan Frekuensi dalam Kondisi *Un-Crack*

<i>Mode</i>	<i>Period</i> T	<i>Frequency</i> 1/T	<i>CircFreq</i> w	<i>Eigenvalue</i> w2
	<i>Sec</i>	<i>Cyc/sec</i>	<i>rad/sec</i>	<i>rad2/sec2</i>
1	1,994	0,502	3,1511	9,9294
2	1,908	0,524	3,2929	10,8431
3	1,845	0,542	3,4053	11,596
4	0,65	1,539	9,6719	93,546
5	0,628	1,593	10,0061	100,1218
6	0,604	1,656	10,408	108,3265
7	0,361	2,77	17,4027	302,8546
8	0,357	2,803	17,6148	310,282
9	0,338	2,962	18,6136	346,4666
10	0,244	4,106	25,798	665,5346
11	0,241	4,149	26,0662	679,4466

Sumber : Hasil Analisis

Dari hasil Analisa getar bebas diperoleh, Tcy = 1,99 Sec

Tabel 4.5 Periode Ragam Getar dan Frekuensi dalam Kondisi Crack

<i>Mode</i>	<i>Period T</i>	<i>Frequency 1/T</i>	<i>CircFreq w</i>	<i>Eigenvalue w2</i>
	<i>Sec</i>	<i>Cyc/sec</i>	<i>rad/sec</i>	<i>rad2/sec2</i>
1	2,808	0,356	2,2375	5,0065
2	2,771	0,361	2,2672	5,1402
3	2,605	0,384	2,4117	5,8164
4	0,904	1,107	6,9528	48,3412
5	0,896	1,116	7,0089	49,1252
6	0,841	1,189	7,4702	55,804
7	0,501	1,996	12,541	157,2775
8	0,498	2,01	12,6283	159,4745
9	0,464	2,153	13,5307	183,0795
10	0,329	3,035	19,0717	363,7292
11	0,328	3,051	19,1692	367,4584

Sumber : Hasil Analisis

Dari hasil analisa getar bebas didapat,

$$T_{cx} = 2.77 \text{ sec.}$$

$$T_{cy} = 2.81 \text{ sec.}$$

$Cu.Ta = 2,046 > T_{cx}$, maka digunakan $T = 1,91 \text{ sec}$

$Cu.Ta = 2,046 > T_{cy}$, maka digunakan $T = 1,99 \text{ sec}$

4.3.3 Modal Response Spectrum (MRS)

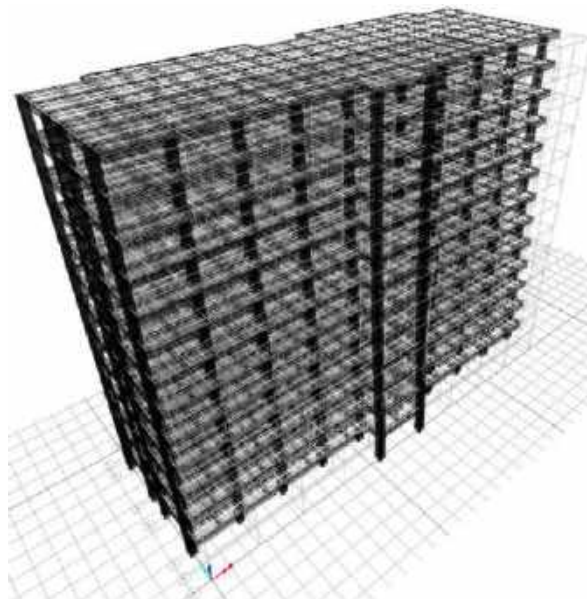
Analisis *Modal Response Spectrum* (MRS) adalah salah satu metode dinamik yang paling banyak digunakan dalam perencanaan struktur tahan gempa. Metode ini menggabungkan prinsip analisis modal dengan *spektrum respons* gempa untuk memperkirakan gaya dan deformasi maksimum yang mungkin dialami struktur ketika terjadi gempa. Hasil analisis MRS menghasilkan distribusi gaya geser dasar, perpindahan antar lantai, dan percepatan struktur yang akurat, yang menjadi dasar untuk mendesain elemen-elemen penahan gempa seperti dinding geser, rangka pemikul momen, atau sistem bracing. Rasio model yang terjadi pada penelitian ini dapat dilihat pada table 4.16.

Tabel 4.6 Rasio Modal Partisipasi Massa dalam Kondisi *Un-crack*

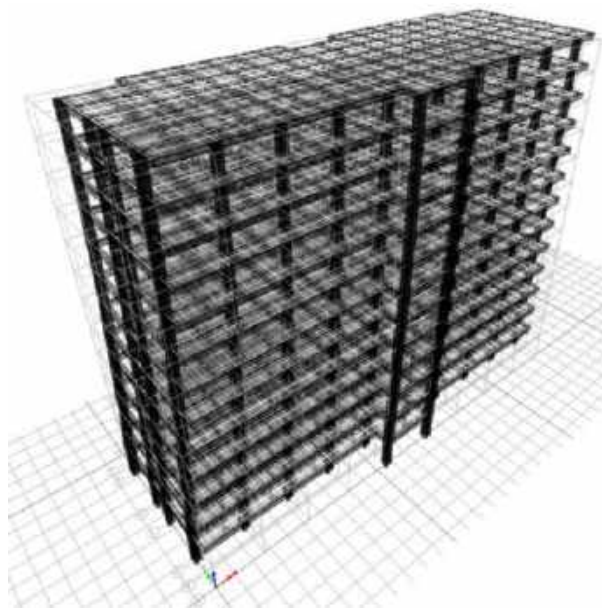
Mode	T	Rasio Modal Partisipasi Massa (%)		
		UX	UY	UZ
1	1,99	0,0001371	79,23	0,0100
2	1,91	79,23	79,23	1,2800
3	1,85	80,52	79,24	79,5700
4	0,65	80,52	90,28	79,5700
5	0,63	90,39	90,28	79,6600
6	0,60	90,47	90,28	90,2400
7	0,36	90,47	94,12	90,2400
8	0,36	94,18	94,12	90,2600
9	0,34	94,19	94,12	94,0700
10	0,24	94,19	96,2	94,0700
11	0,24	96,22	96,2	94,0800

Sumber : Hasil Analisis

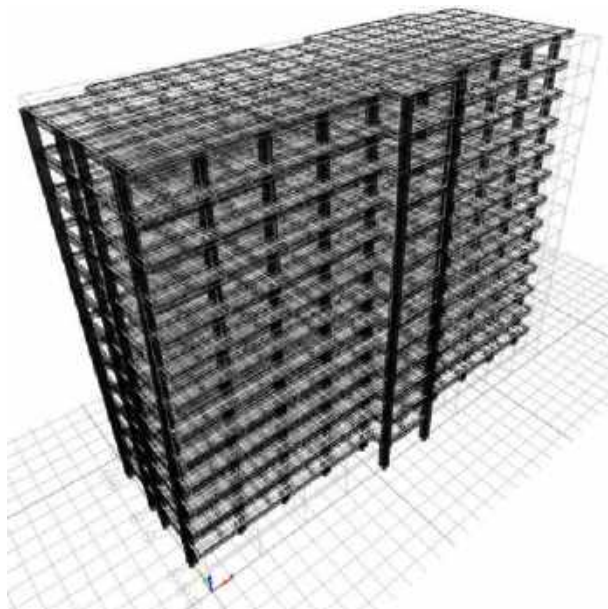
Pada Tabel 4.6 menunjukkan bahwa pada mode ke-11 nilai partisipasi massa ≥ 90 %, yang berarti peninjauan ragam getar memenuhi ketentuan pasal 7.9.1 pada SNI 2726-2019. Arah pergerakan modal respon spektrum dapat dilihat pada Gambar-Gambar di bawah ini.

**Gambar 4.20 Mode 1 (Arah-y)**

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.21 Mode 2 (Arah-x)
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.22 Mode 3 (Arah-z)
Sumber : Hasil Analisis

Gambar-gambar tersebut menampilkan hasil analisis modal struktur yang menggambarkan bentuk getar alami (*mode shape*) struktur dalam berbagai mode getar. Gambar 4.20 menunjukkan Mode 1 pada arah X yang merepresentasikan bentuk deformasi fundamental struktur dengan frekuensi natural terendah, biasanya dominan berupa translasi horisontal. Gambar 4.21 menampilkan Mode 2 dalam arah X yang menunjukkan bentuk getar orde kedua dengan pola deformasi yang lebih kompleks, mungkin berupa kombinasi translasi dan rotasi. Sedangkan Gambar 4.22 memperlihatkan Mode 3 pada arah Z yang mengindikasikan adanya komponen vertikal atau torsional dalam respons dinamis struktur. Ketiga mode getar ini secara bersama-sama memberikan pemahaman komprehensif tentang karakteristik dinamik struktur, termasuk distribusi massa, kekakuan, dan potensi kerentanan terhadap beban gempa. Analisis mode shape ini sangat penting dalam perencanaan struktur tahan gempa, karena membantu mengidentifikasi ketidakberaturan struktur, konsentrasi deformasi, serta menjadi dasar dalam perhitungan respons spektrum. Nilai frekuensi dan pola deformasi yang ditunjukkan pada gambar-gambar ini akan digunakan untuk memverifikasi bahwa struktur memenuhi kriteria kinerja seismik, sekaligus menjadi acuan dalam menentukan kebutuhan penguatan struktural jika diperlukan.

4.3.4 Beban Geser Dasar Gempa

Beban geser dasar gempa (*base shear*) berdasarkan SNI 1727 Pasal 7.7.2 mengenai berat *seismic* efektif struktur harus menyertakan keseluruhan beban mati dan SIDL pada struktur dan 25% beban hidup. Pada Tabel 4.7 dapat dilihat rangkuman data beban struktur.

Tabel 4.7 Rekap Beban Mati dan Beban Hidup Berdasarkan

JENIS PEMBEBANAN	DATA BEBAN		Total (DL+25%L) (kN)
	BEBAN	REDUKSI	
	(kN)	B. HIDUP	
Beban Mati (DL)	97.438,24	1.00	97.438,24
Beban Tambahan (SIDL)	71.692,94	1.00	71.692,94
Beban Hidup (L)	31.793,64	0.25	7.948,41
	200.924,82	Wt =	177.097,59

Sumber : Hasil Analisis

Perhitungan Beban Geser Dasar Gempa

$$C_{sx} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.13)}$$

$$C_{sx} = \frac{0,439019}{1,91 \left(\frac{8}{1} \right)} = 0,0288$$

$$C_{sy} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.13)}$$

$$C_{sy} = \frac{0,439019}{1,99 \left(\frac{8}{1} \right)} = 0,0275$$

$$C_{s \max} = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.12)}$$

$$C_{s \max} = \frac{0,343229}{\frac{8}{1}} = 0,0429$$

$$C_{s \min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.16)}$$

$$C_{s \min} = 0,044 \times 0,343229 \times 1 = 0,0151$$

$$V_{nx} = C_{sx} \times W_t \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.11)}$$

$$V_{nx} = 0,0288 \times 177.079,59 = 5.093,10 \text{ kN}$$

$$V_{ny} = C_{sy} \times W_t \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.11)}$$

$$V_{ny} = 0,0275 \times 177.079,59 = 4.873,44 \text{ kN}$$

Tabel 4.8 Base Shear Sebelum Terkoreksi (*crack*)

Base Shear (kN)	Statik	Respon Spektrum	%	Skala
V _{nx}	5.093,10	2.924,469	57,42	1,7415
V _{ny}	4.873,44	2.878,7907	59,07	1,6929

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.9 Base Shear Sebelum Terkoreksi (*crack*)

Base Shear (kN)	Statik	Respon Spektrum	%	
V _{nx}	5.093,10	5.092,8896	100	OK
V _{ny}	4.873,44	4.8783,841	100	OK

Sumber : Hasil Analisis

4.3.5 Simpangan (*Displacement*) Akibat Pengaruh Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.6 perlu diperhitungkan simpangan akibat pengaruh beban gempa dengan software ETABS diperoleh data simpangan lantai akibat beban lateral yang dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data Simpangan Lantai Akibat Beban Lateral

Lokasi	Perpindahan (mm)		Perpindahan (mm)	
	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
	Ex		Ey	
Dag Atap	88,809	9,093	4,612	97,429
LT.13	87,19	8,893	4,512	94,986
LT.12	84,467	8,586	4,35	91,366
LT.11	80,483	8,149	4,118	86,442
LT.10	75,274	7,585	3,823	80,284
LT.9	68,92	6,905	3,473	73,007
LT.8	61,499	6,122	3,075	64,739
LT.7	53,383	5,278	2,652	55,903
LT.6	44,491	4,367	2,198	46,386
LT.5	34,916	3,399	1,716	36,273
LT.4	24,863	2,398	1,216	25,767
LT.3	14,772	1,41	0,72	15,302
LT.2	5,669	0,534	0,275	5,887
LT.1	0	0	0	0

Sumber : Hasil Analisis

4.3.6 Pemeriksaan *Story Drifts*

Story drift mengacu pada selisih perpindahan lateral antara dua tingkat berturut-turut dalam struktur akibat beban gempa. Besarnya simpangan ini mencerminkan seberapa besar deformasi lateral yang dialami oleh bangunan. Jika simpangan melampaui batas, risiko kerusakan bahkan keruntuhan sebagian struktur dapat meningkat secara signifikan. Pemeriksaan ini juga menjadi indikator penting dalam mengevaluasi daktilitas dan kontrol deformasi bangunan. Dengan demikian, pemeriksaan *story drift* tidak hanya berfungsi untuk memenuhi persyaratan tetapi juga untuk memastikan bahwa struktur mampu meredam energi gempa dengan cara yang aman dan terkendali, sekaligus melindungi integritas bangunan secara keseluruhan. Berdasarkan pada Tabel 4.11 simpangan antar tingkan izin pada kategori resiko II di lantai 2 arah x dengan ketinggian lantai 1 (4m) dan lantai

selanjuta dengan ketinggian (3,5m), dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta_{izin} = 0,010 \times h_{sx} \dots\dots\dots (\text{Tabel 2.13})$$

$$\Delta_{izin} = 0,010 \times 4 \times 1.000 = 40 \text{ mm}$$

$$\Delta_{izin} = 0,010 \times h_{sx} \dots\dots\dots (\text{Tabel 2.13})$$

$$\Delta_{izin} = 0,010 \times 3,5 \times 1.000 = 35 \text{ mm}$$

Rasio Simpangan

$$\delta_{xe} = \frac{\Delta_{xe}}{L} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.23})$$

$$\text{Rasio Simpangan} = \frac{(0,3982-0)}{4 \times 1.000} = 0,001$$

Defleksi Pusat Massa Tingkat

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.23})$$

$$\delta_x = \frac{5,5 \times 0,001}{1} = 0,0055$$

Perhitungan storyf drift selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.11 untuk story drifts arah sumbu-x dan Tabel 4.11 untuk *story drifts* arah sumbu-y.

Tabel 4.11 Drifts Arah Sumbu-x

Tingkat x	Story	Tinggi Tingkat hx (m)	Story Drift Hasil Analisis		Drift Izin Maks.	Sdx (mm)	Drift Izin Maks. SDx	Kontrol
			dxe/hx	dx	Dx		(mm)	
			(mm/mm)	(mm)	(mm)		(mm)	
Dag Atap	13	3,50	0,00046	8,90	70,00	488,45	920	Ok.
LT.13	12	3,50	0,00078	14,98	70,00	479,55	850	Ok.
LT.12	11	3,50	0,00114	21,91	70,00	464,57	780	Ok.
LT.11	10	3,50	0,00149	28,65	70,00	442,66	710	Ok.
LT.10	9	3,50	0,00182	34,95	70,00	414,01	640	Ok.
LT.9	8	3,50	0,00212	40,82	70,00	379,06	570	Ok.
LT.8	7	3,50	0,00232	44,64	70,00	338,24	500	Ok.
LT.7	6	3,50	0,00254	48,91	70,00	293,61	430	Ok.
LT.6	5	3,50	0,00274	52,66	70,00	244,70	360	Ok.
LT.5	4	3,50	0,00287	55,29	70,00	192,04	290	Ok.
LT.4	3	3,50	0,00288	55,50	70,00	136,75	220	Ok.
LT.3	2	3,50	0,00260	50,07	70,00	81,25	150	Ok.
LT.2	1	4,00	0,00142	31,18	80,00	31,18	80	Ok.
LT.1	0	0	0	0	0	0	0	

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.12 Story Drifts Arah Sumbu-y

Tingkat x	Story	Tinggi Tingkat hy	Story Drift Hasil Analisis		Drift Izin Maks.	$\Sigma\delta y$	Drift Izin Maks.	Tinggi Tingkat
			$\delta y/hx$	δy	Δy		hy	
			(mm/mm)	(mm)	(mm)		(m)	
Dag Atap	13	3,50	0,00070	13,44	70,00	535,86	920,00	Ok.
LT.13	12	3,50	0,00103	19,91	70,00	522,42	850,00	Ok.
LT.12	11	3,50	0,00141	27,08	70,00	502,51	780,00	Ok.
LT.11	10	3,50	0,00176	33,87	70,00	475,43	710,00	Ok.
LT.10	9	3,50	0,00208	40,02	70,00	441,56	640,00	Ok.
LT.9	8	3,50	0,00236	45,47	70,00	401,54	570,00	Ok.
LT.8	7	3,50	0,00252	48,60	70,00	356,06	500,00	Ok.
LT.7	6	3,50	0,00272	52,34	70,00	307,47	430,00	Ok.
LT.6	5	3,50	0,00289	55,62	70,00	255,12	360,00	Ok.
LT.5	4	3,50	0,00300	57,78	70,00	199,50	290,00	Ok.
LT.4	3	3,50	0,00299	57,56	70,00	141,72	220,00	Ok.
LT.3	2	3,50	0,00269	51,78	70,00	84,16	150,00	Ok.
LT.2	1	4,00	0,00147	32,38	80,00	32,38	80,00	Ok.
LT.1	0	0	0	0	0	0	0	

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan tabel- tabel di atas dapat ditentukan grafik displacement pada Gambar 4.20 Dan grafik interstory drift pada Gambar 4.21.

4.3.7 Distribusi Gaya Gempa

Distribusi gaya gempa merupakan langkah krusial dalam analisis dan perancangan struktur tahan gempa, di mana gaya gempa rencana yang dihitung berdasarkan massa dan respons dinamis bangunan harus didistribusikan ke seluruh tinggi struktur. Tujuannya adalah untuk mensimulasikan bagaimana gaya gempa bekerja secara realistis terhadap bangunan selama kejadian gempa. Dengan mendistribusikan gaya gempa secara akurat, perancang dapat memastikan bahwa setiap bagian struktur dirancang untuk menahan beban lateral sesuai kontribusi dan risikonya, sehingga struktur mampu merespons gempa secara seimbang, efisien, dan aman. Distribusi yang tepat juga penting dalam mencegah kegagalan lokal akibat beban berlebih di elemen tertentu serta memastikan perilaku daktail dan terkontrol pada saat struktur mengalami deformasi besar. Berdasarkan SNI 1727 Pasal 7.7.2 mengenai berat seismic efektif struktur harus menyertakan keseluruhan beban mati dan SIDL pada struktur dan 25% beban hidup. Pada Tabel 4.13, Tabel 4.14, dan table 4.15 dapat dilihat beban struktur perlantai akibat beban yang mati, SIDL, dan hidup

Tabel 4.13 Rangkuman Berat Struktur per lantai akibat Beban Mati

Lantai	Tinggi Lantai (m)	Beban Mati (DL) Akibat		B. Hidup (L) (kN)	Total (DL+25%L) (kN)
		Berat Sendiri (kN)	SIDL (kN)		
Dag Atap	46,00	6.648,20	1551,92	980,16	8.445,16
LT.13	42,50	7.346,99	5731,43	4187,87	14.125,39
LT.12	39,00	7.346,99	5856,71	2420,51	13.808,83
LT.11	35,50	7.346,99	5856,71	2420,51	13.808,83
LT.10	32,00	7.346,99	5856,71	2420,51	13.808,83
LT.9	28,50	7.346,99	5856,71	2420,51	13.808,83
LT.8	25,00	7.447,07	5856,71	2420,51	13.908,91
LT.7	21,50	7.568,92	5856,71	2420,51	14.030,76
LT.6	18,00	7.568,92	5856,71	2420,51	14.030,76
LT.5	14,50	7.568,92	5856,71	2420,51	14.030,76
LT.4	11,00	7.568,92	5856,71	2420,51	14.030,76
LT.3	7,50	7.568,92	5842,49	2420,51	14.016,54
LT.2	4,00	7.701,64	5856,71	2420,51	14.163,48
LT.1	0	1.062	0	0	1.061,75
		97.438,24	71.692,94	31.794	177.079,59

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.14 Distribusi Gaya Gempa Perlantai Arah Sumbu-y

Lantai	Tinggi Lantai hi (m)	Berat lantai (DL+25%LL) Wi (kN)	Momen Wi.hi (kN.m)	Cvx	Gaya Geser Tingkat Fi (kN)	Geser Lantai Fx (kN)	Momen Guling M _{OT-X} (kN.m)
Dag Atap	46,00	8.445,16	388.477	0,0909	581,31	581,3	0,0
LT.13	42,50	14.125,39	600.329	0,1404	898,33	1.479,6	26.740,4
LT.12	39,00	13.808,83	538.544	0,1260	805,87	2.285,5	89.625,1
LT.11	35,50	13.808,83	490.213	0,1147	733,55	3.019,1	178.760,1
LT.10	32,00	13.808,83	441.883	0,1034	661,23	3.680,3	285.936,9
LT.9	28,50	13.808,83	393.552	0,0921	588,91	4.269,2	403.706,3
LT.8	25,00	13.908,91	347.723	0,0813	520,33	4.789,5	525.378,4
LT.7	21,50	14.030,76	301.661	0,0706	451,40	5.240,9	645.116,6
LT.6	18,00	14.030,76	252.554	0,0591	377,92	5.618,9	757.796,7
LT.5	14,50	14.030,76	203.446	0,0476	304,43	5.923,3	858.936,0
LT.4	11,00	14.030,76	154.338	0,0361	230,95	6.154,2	944.823,6
LT.3	7,50	14.016,54	105.124	0,0246	157,31	6.311,5	1.012.520,2
LT.2	4,00	14.163,48	56.654	0,0133	84,78	6.396,3	1.059.856,7
LT.1	0	1.061,75	0	0	0	0	1.085.442,0
		177.079,6	4.274.498,6	1,0	6.396,3		1.085.442,0

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.15 Distribusi Gaya Gempa Perlantai Arah Sumbu-y

Lantai	Tinggi Lantai h_i (m)	Berat lantai (DL+25%LL) W_i (kN)	Momen $W_i \cdot h_i$ (kN.m)	Cvy	Gaya Geser Tingkat F_i (kN)	Geser Lantai F_y (kN)	Momen Guling M_{OT-Y} (kN.m)
Dag Atap	46,00	8.445,16	388.477	0,0909	489,22	489,22	0,0
LT.13	42,50	14.125,39	600.329	0,1404	756,00	1.245,22	22.503,9
LT.12	39,00	13.808,83	538.544	0,1260	678,20	1.923,42	75.425,8
LT.11	35,50	13.808,83	490.213	0,1147	617,33	2.540,75	150.439,0
LT.10	32,00	13.808,83	441.883	0,1034	556,47	3.097,22	240.635,7
LT.9	28,50	13.808,83	393.552	0,0921	495,61	3.592,83	339.746,8
LT.8	25,00	13.908,91	347.723	0,0813	437,89	4.030,72	442.142,3
LT.7	21,50	14.030,76	301.661	0,0706	379,89	4.410,61	542.910,3
LT.6	18,00	14.030,76	252.554	0,0591	318,04	4.728,65	637.738,3
LT.5	14,50	14.030,76	203.446	0,0476	256,20	4.984,85	722.854,1
LT.4	11,00	14.030,76	154.338	0,0361	194,36	5.179,21	795.134,4
LT.3	7,50	14.016,54	105.124	0,0246	132,38	5.311,60	852.105,8
LT.2	4,00	14.163,48	56.654	0,0133	71,35	5.382,94	891.942,8
LT.1	0,00	1.061,75	0	0	0	0	913.474,6
		177.079,59	4.274.498,6	1,00	5.382,94		913.474,6

Sumber : Hasil Analisis

4.3.8 Stabilitas Guling

Stabilitas guling (*overturning stability*) merupakan kemampuan suatu struktur untuk menahan gaya-gaya eksternal (beban *vertical* dan beban *lateral*) seperti Berdasarkan SNI 1726-2020, Pasal 7.8.5 dan 8.8.4, struktur harus di desain untuk menahan pengaruh guling yang diakibatkan gaya gempa.

Arah X

$$M_{OT-X} = 1.085.442 \text{ kN.m}$$

$$M_{ST-X} = 177.079,59 \times \frac{7,5 \times 8}{2} = 5.312.387,82 \text{ kN.m}$$

$$0,75 \times M_{ST} > M_{OT} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.24)}$$

$$0,75 \times 5.312.387,82 > 1.085.442$$

$$3.984.291 \text{ kN.m} > 1.085.0442 \text{ kN.m} \text{ OK!}$$

Arah Y

$$M_{OT-X} = 913.474,58 \text{ kN.m}$$

$$M_{ST-X} = 177.079 \times \frac{8 \times 3}{2} = 2.124.955,13 \text{ kN.m}$$

$$0,75 \times M_{ST} > M_{OT} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.24})$$

$$0,75 \times 2.124.955,13 \text{ kN.m} > 913.475 \text{ kN.m} \quad \text{OK!}$$

$$1.539.716 \text{ kN.m} > 913.475 \text{ kN.m} \quad \text{OK!}$$

4.3.9 Pengaruh P-Delta

Secara sederhana, P-Delta menggambarkan interaksi antara beban vertikal dan perpindahan lateral yang menyebabkan ketidakstabilan, sehingga dapat memperlemah kekakuan struktur, menambah gaya dalam elemen, dan bahkan mempercepat keruntuhan jika tidak diperhitungkan dalam desain. Dalam perencanaan struktur tahan gempa, pengaruh P-Delta harus diperiksa untuk memastikan bahwa struktur tetap memiliki kapasitas yang cukup setelah mempertimbangkan efek ini. Batas simpangan maksimum untuk memastikan bahwa pengaruh P-Delta tetap dalam batas yang dapat diterima. Jika efek ini signifikan, perlu dilakukan perkuatan pada elemen struktural, peningkatan kekakuan lateral, atau penyesuaian desain untuk menghindari kegagalan progresif. Pemeriksaan P-Delta dapat dilihat pada table 4.16 dan 4.17.

Tabel 4.16 Pemeriksaan P-Delta Arah Sumbu-x

Lantai	Tinggi Tingkat h_x (m)	Beban DL+LL (kN)	Beban Tingkat P_x (kN)	Story Drift δ_x/C_d (m)	Shear story V_x (kN)	θ	Kontrol $\theta \leq \theta_{min}$	Kontrol $\theta \leq \theta_{max}$
Dag Atap	3,50	9.180,28	9.180,28	0,0016	581,31	0,007	Ok.	ok
LT.13	3,50	17.266,29	26.446,57	0,0027	1.479,64	0,014	Ok.	ok
LT.12	3,50	15.624,21	42.070,79	0,0040	2.285,51	0,021	Ok.	ok
LT.11	3,50	15.624,21	57.695,00	0,0052	3.019,06	0,028	Ok.	ok
LT.10	3,50	15.624,21	73.319,21	0,0064	3.680,29	0,036	Ok.	ok
LT.9	3,50	15.624,21	88.943,42	0,0074	4.269,20	0,044	Ok.	ok
LT.8	3,50	15.724,29	104.667,72	0,0081	4.789,53	0,051	Ok.	ok
LT.7	3,50	15.846,14	120.513,86	0,0089	5.240,93	0,058	Ok.	ok
LT.6	3,50	15.846,14	136.360,00	0,0096	5.618,85	0,066	Ok.	ok
LT.5	3,50	15.846,14	152.206,14	0,0101	5.923,28	0,074	Ok.	ok
LT.4	3,50	15.846,14	168.052,29	0,0101	6.154,24	0,079	Ok.	ok
LT.3	3,50	15.831,92	183.884,21	0,0091	6.311,54	0,076	Ok.	ok
LT.2	4,00	15.978,86	199.863,07	0,0057	6.396,32	0,044	Ok.	ok
LT.1	0	1.061,75	200.924,82	0	0	0	0	

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.17 Pemeriksaan P-Delta Arah Sumbu-y

Tingkat	Tinggi Tingkat h_x (m)	Beban DL+LL (kN)	Beban Tingkat P_x (kN)	Story Drift δ_x/C_d (m)	Shear story V_x (kN)	θ	Kontrol $\theta \leq \theta_{min}$	Kontrol $\theta \leq \theta_{max}$
Dag Atap	3,50	9.180,28	9.180,28	0,0024	489,22	0,013	Ok.	ok
LT.13	3,50	17.266,29	26.446,57	0,0036	1.245,22	0,022	Ok.	ok
LT.12	3,50	15.624,21	42.070,79	0,0049	1.923,42	0,031	Ok.	ok
LT.11	3,50	15.624,21	57.695,00	0,0062	2.540,75	0,040	Ok.	ok
LT.10	3,50	15.624,21	73.319,21	0,0073	3.097,22	0,049	Ok.	ok
LT.9	3,50	15.624,21	88.943,42	0,0083	3.592,83	0,058	Ok.	ok
LT.8	3,50	15.724,29	104.667,72	0,0088	4.030,72	0,066	Ok.	ok
LT.7	3,50	15.846,14	120.513,86	0,0095	4.410,61	0,074	Ok.	ok
LT.6	3,50	15.846,14	136.360,00	0,0101	4.728,65	0,083	Ok.	ok
LT.5	3,50	15.846,14	152.206,14	0,0105	4.984,85	0,092	Ok.	ok
LT.4	3,50	15.846,14	168.052,29	0,0105	5.179,21	0,097	Ok.	ok
LT.3	3,50	15.831,92	183.884,21	0,0094	5.311,60	0,093	Ok.	ok
LT.2	4,00	15.978,86	199.863,07	0,0059	5.382,94	0,055	Ok.	ok
LT.1	0	1.061,75	200.924,82	0	0	0	0	

Sumber : Hasil Analisis

4.3.10 Ketidakberaturan Struktur Vertikal (*Irregularitas Vertikal*)

Ketidakberaturan struktur vertikal (*irregularitas vertical*) merujuk pada kondisi di mana elemen-elemen struktural dalam perancangan bangunan tidak terdistribusi secara merata atau tidak simetris dalam arah vertikal. Ketidakberaturan vertikal terjadi karena adanya perubahan tinggi lantai, ketika tinggi lantai tidak konsisten. Ketidakberaturan ini dapat mempengaruhi kinerja struktural bangunan, terutama dalam menghadapi beban lateral.

1. Ketidakberaturan Struktur Vertikal (*Irregularitas Vertikal*)

– Irregularitas Vertikal Tipe 1a

1. Lateral story stiffness < 70% dari tingkat diatasnya, yaitu jika :

$$70\%(\delta_{1e}/h_1) > (\delta_{2e} - \delta_{1e})/h_2$$

2. Lateral story stiffness < 80% dari kekakuan rata-rata tiga tingkat diatasnya, yaitu jika :

$$80\%(\delta_{1e}/h_1) > 1/3 \left[\frac{(\delta_{2e} - \delta_{1e})}{h_2} + \frac{(\delta_{3e} - \delta_{2e})}{h_3} + \frac{(\delta_{4e} - \delta_{3e})}{h_4} \right]$$

Ketidakteraturan vertikal Tipe 1a pada arah X dan arah Y merupakan salah satu kondisi kritis dalam perencanaan struktur tahan gempa. Fenomena ini terjadi ketika suatu lantai, biasanya lantai dasar, memiliki kekakuan lateral yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan lantai di atasnya secara spesifik pada arah X dan arah Y. Menurut ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.3, kondisi ini terpenuhi ketika kekakuan lateral suatu lantai kurang dari 70% kekakuan lantai di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga lantai di atasnya pada arah tersebut. Kasus seperti ini sering dijumpai pada bangunan dengan lantai dasar yang dirancang lebih tinggi untuk keperluan komersial atau arsitektural, dimana kolom-kolom menjadi lebih langsing dan kurang kaku, atau ketika terjadi pengurangan elemen penahan gaya lateral seperti dinding geser secara tiba-tiba pada lantai dasar di arah X dan arah Y. Hasil analisis pemeriksaan ketidakteraturan dapat dilihat pada table 4.18 dan 4.19.

Tabel 4.18 Pemeriksaan Ketidakteraturan Vertikal Tipe 1a Arah-x

Tingkat	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{ye} (m)	Story Drift Ratio δ_{ye}/h_i	70% Story Drift Ratio	Ratio
Dag Atap	13	46,00	0,0016	0,00046	0,70	0,59
LT.13	12	42,50	0,0027	0,00078	0,70	0,59
LT.12	11	39,00	0,0040	0,00114	0,70	0,68
LT.11	10	35,50	0,0052	0,00149	0,70	0,76
LT.10	9	32,00	0,0064	0,00182	0,70	0,82
LT.9	8	28,50	0,0074	0,00212	0,70	0,86
LT.8	7	25,00	0,0081	0,00232	0,70	0,91
LT.7	6	21,50	0,0089	0,00254	0,70	0,91
LT.6	5	18,00	0,0096	0,00274	0,70	0,93
LT.5	4	14,50	0,0101	0,00287	0,70	0,95
LT.4	3	11,00	0,0101	0,00288	0,70	1,00
LT.3	2	7,50	0,0091	0,00260	0,70	1,11
LT.2	1	4,00	0,0057	0,00142	0,70	1,84
LT.1	0	0	0	0	0,70	0

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.18 (Lanjutan) - Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a Arah-x

Tingkat	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{ye} (m)	Story Drift Ratio Rata2 3 LT Atas	80% Story Drift Ratio	Ratio
Dag Atap	13	46,00	0,0016	0,0004	0,80	0,36
LT.13	12	42,50	0,0027	0,0004	0,80	0,36
LT.12	11	39,00	0,0040	0,0004	0,80	0,36
LT.11	10	35,50	0,0052	0,0008	0,80	0,53
LT.10	9	32,00	0,0064	0,0011	0,80	0,63
LT.9	8	28,50	0,0074	0,0015	0,80	0,70
LT.8	7	25,00	0,0081	0,0018	0,80	0,78
LT.7	6	21,50	0,0089	0,0021	0,80	0,82
LT.6	5	18,00	0,0096	0,0023	0,80	0,85
LT.5	4	14,50	0,0101	0,0025	0,80	0,88
LT.4	3	11,00	0,0101	0,0027	0,80	0,94
LT.3	2	7,50	0,0091	0,0028	0,80	1,09
LT.2	1	4,00	0,0057	0,0028	0,80	1,97
LT.1	0	0	0	0	0,80	0

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.19 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a Arah-y

Tingkat	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{ye} (m)	Story Drift Ratio δ_{ye}/h_i	70% Story Drift Ratio	Ratio
Dag Atap	13	46,00	0,0024	0,00070	0,70	0,67
LT.13	12	42,50	0,0036	0,00103	0,70	0,67
LT.12	11	39,00	0,0049	0,00141	0,70	0,74
LT.11	10	35,50	0,0062	0,00176	0,70	0,80
LT.10	9	32,00	0,0073	0,00208	0,70	0,85
LT.9	8	28,50	0,0083	0,00236	0,70	0,88
LT.8	7	25,00	0,0088	0,00252	0,70	0,94
LT.7	6	21,50	0,0095	0,00272	0,70	0,93
LT.6	5	18,00	0,0101	0,00289	0,70	0,94
LT.5	4	14,50	0,0105	0,00300	0,70	0,96
LT.4	3	11,00	0,0105	0,00299	0,70	1,00
LT.3	2	7,50	0,0094	0,00269	0,70	1,11
LT.2	1	4,00	0,0059	0,00147	0,70	1,83
LT.1	0	0	0	0	0,70	0

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.19 (Lanjutan) - Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a Arah-y

Tingkat i	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{xe} (m)	Story Drift Ratio Rata2 3 LT Atas	80% Story Drift Ratio	Ratio
Dag Atap	13	46,00	0,0024	0,0006	0,80	0,41
LT.13	12	42,50	0,0036	0,0006	0,80	0,41
LT.12	11	39,00	0,0049	0,0006	0,80	0,41
LT.11	10	35,50	0,0062	0,0010	0,80	0,59
LT.10	9	32,00	0,0073	0,0014	0,80	0,67
LT.9	8	28,50	0,0083	0,0017	0,80	0,74
LT.8	7	25,00	0,0088	0,0021	0,80	0,82
LT.7	6	21,50	0,0095	0,0023	0,80	0,85
LT.6	5	18,00	0,0101	0,0025	0,80	0,88
LT.5	4	14,50	0,0105	0,0027	0,80	0,90
LT.4	3	11,00	0,0105	0,0029	0,80	0,96
LT.3	2	7,50	0,0094	0,0030	0,80	1,10
LT.2	1	4,00	0,0059	0,0029	0,80	1,97
LT.1	0	0	0	0	0,8	0

Sumber : Hasil Analisis

– Irregularitas Vertikal Tipe 1b

Berdasarkan hasil dari pemeriksaan diatas ketidakberaturan bahwa didapatkan 1a 70% arah X diatas pada lantai 12,13,Dag Atap dan 1a 80% arah X pada lantai 7,8,9,10,11,12,13,dag atap, 1a arah Y 70% pada lantai 13,dag atap dan 1a 80% arah Y pada lantai 9,10,11 12, 13,dag atap, 1a 80% didapatkan bahwa tidak memenuhi persyaratan tipe 1a.

1. Lateral story stiffness < 60% dari tingkat diatasnya, yaitu jika :

$$60\%(\delta_{1e}/h_1) > (\delta_{2e} - \delta_{1e})/h_2$$

2. Lateral story stiffness < 70% dari kekakuan rata-rata tiga tingkat diatasnya,

yaitu jika :

$$70\%(\delta_{1e}/h_1) > 1/3 \left[\frac{(\delta_{2e} - \delta_{1e})}{h_2} + \frac{(\delta_{3e} - \delta_{2e})}{h_3} + \frac{(\delta_{4e} - \delta_{3e})}{h_4} \right]$$

Ketidakberaturan vertikal Tipe 1b pada arah X dan arah Y merupakan salah satu kondisi kritis dalam perencanaan struktur tahan gempa. Fenomena ini terjadi ketika suatu lantai, biasanya lantai dasar, memiliki kekakuan lateral yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan lantai di atasnya secara spesifik pada arah X dan arah Y. Menurut ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.3, kondisi ini terpenuhi ketika kekakuan lateral suatu lantai kurang dari 70% kekakuan lantai di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga lantai di atasnya pada arah tersebut. Kasus seperti ini sering dijumpai pada bangunan dengan lantai dasar yang dirancang lebih tinggi untuk keperluan komersial atau arsitektural, dimana kolom-kolom menjadi lebih langsing dan kurang kaku, atau ketika terjadi pengurangan elemen penahan gaya lateral seperti dinding geser secara tiba-tiba pada lantai dasar di arah X dan arah Y. Hasil analisis pemeriksaan ketidakberaturan dapat dilihat pada table 4.20 dan 4.21.

Tabel 4.20 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b Arah-x

Tingkat	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{ye} (m)	Story Drift Ratio δ_{ye}/h_i	60% Story Drift Ratio	Ratio
Dag Atap	13	46,00	0,0016	0,00046	0,60	0,68
LT.13	12	42,50	0,0027	0,00078	0,60	0,68
LT.12	11	39,00	0,0040	0,00114	0,60	0,68
LT.11	10	35,50	0,0052	0,00149	0,60	0,76
LT.10	9	32,00	0,0064	0,00182	0,60	0,82
LT.9	8	28,50	0,0074	0,00212	0,60	0,86
LT.8	7	25,00	0,0081	0,00232	0,60	0,91
LT.7	6	21,50	0,0089	0,00254	0,60	0,91
LT.6	5	18,00	0,0096	0,00274	0,60	0,93
LT.5	4	14,50	0,0101	0,00287	0,60	0,95
LT.4	3	11,00	0,0101	0,00288	0,60	1,00
LT.3	2	7,50	0,0091	0,00260	0,60	1,11
LT.2	1	4,00	0,0057	0,00142	0,60	1,84
LT.1	0	0	0	0	0,60	0

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.20 (Lanjutan) - Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b**Arah-x**

Tingkat	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{ye} (m)	Story Drift Ratio δ_{ye}/h_i	70% Story Drift Ratio	Ratio
Dag Atap	13	46,00	0,0016	0,0004	0,70	0,36
LT.13	12	42,50	0,0027	0,0004	0,70	0,36
LT.12	11	39,00	0,0040	0,00044	0,70	0,36
LT.11	10	35,50	0,0052	0,0008	0,70	0,53
LT.10	9	32,00	0,0064	0,0011	0,70	0,63
LT.9	8	28,50	0,0074	0,0015	0,70	0,70
LT.8	7	25,00	0,0081	0,0018	0,70	0,78
LT.7	6	21,50	0,0089	0,0021	0,70	0,82
LT.6	5	18,00	0,0096	0,0023	0,70	0,85
LT.5	4	14,50	0,0101	0,0025	0,70	0,88
LT.4	3	11,00	0,0101	0,0027	0,70	0,94
LT.3	2	7,50	0,0091	0,0028	0,70	1,09
LT.2	1	4,00	0,0057	0,0028	0,70	1,97
LT.1	0	0	0	0	0,70	0

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.21 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b Arah-y

Tingkat	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{ye} (m)	Story Drift Ratio δ_{ye}/h_i	60% Story Drift Ratio	Ratio
Dag Atap	13	46,00	0,0024	0,00070	0,60	0,74
LT.13	12	42,50	0,0036	0,00103	0,60	0,74
LT.12	11	39,00	0,0049	0,00141	0,60	0,74
LT.11	10	35,50	0,0062	0,00176	0,60	0,80
LT.10	9	32,00	0,0073	0,00208	0,60	0,85
LT.9	8	28,50	0,0083	0,00236	0,60	0,88
LT.8	7	25,00	0,0088	0,00252	0,60	0,94
LT.7	6	21,50	0,0095	0,00272	0,60	0,93
LT.6	5	18,00	0,0101	0,00289	0,60	0,94
LT.5	4	14,50	0,0105	0,00300	0,60	0,96
LT.4	3	11,00	0,0105	0,00299	0,60	1,00
LT.3	2	7,50	0,0094	0,00269	0,60	1,11
LT.2	1	4,00	0,0059	0,00147	0,60	1,83
LT.1	0	0	0,0000	0	0,60	0

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.21 (Lanjutan) - Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b Arah-y

Tingkat	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{ye} (m)	Story Drift Ratio δ_{ye}/h_i	70% Story Drift Ratio	Ratio
Dag Atap	13	46,00	0,0024	0,0006	0,70	0,41
LT.13	12	42,50	0,0036	0,0006	0,70	0,58
LT.12	11	39,00	0,0049	0,0006	0,70	0,41
LT.11	10	35,50	0,0062	0,0010	0,70	0,59
LT.10	9	32,00	0,0073	0,0014	0,70	0,67
LT.9	8	28,50	0,0083	0,0017	0,70	0,74
LT.8	7	25,00	0,0088	0,0021	0,70	0,82
LT.7	6	21,50	0,0095	0,0023	0,70	0,85
LT.6	5	18,00	0,0101	0,0025	0,70	0,88
LT.5	4	14,50	0,0105	0,0027	0,70	0,90
LT.4	3	11,00	0,0105	0,0029	0,70	0,96
LT.3	2	7,50	0,0094	0,0030	0,70	1,10
LT.2	1	4,00	0,0059	0,0029	0,70	1,97
LT.1	0	0,00	0,0000	0	0,70	0

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan pemeriksaan struktur diatas, diketahui bahwa struktur menunjukkan ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b. Ketidakberaturan tipe 1a merujuk pada *soft story* atau tingkat lemah secara lateral, di mana kekakuan lateral suatu lantai kurang dari 70% kekakuan rata-rata dari tiga lantai di atasnya, atau kurang dari 80% kekakuan lantai di atasnya secara langsung. Sementara itu, ketidakberaturan tipe 1b berkaitan dengan perbedaan kekuatan lateral antar tingkat, di mana kekuatan suatu tingkat lebih kecil dari 80% kekuatan tingkat di atasnya. Namun demikian, SNI 1726:2019 memberikan pengecualian terhadap klasifikasi ketidakberaturan vertikal ini melalui Pasal 7.3.2.2. Pengecualian tersebut menyatakan bahwa ketidakberaturan tipe 1a dan 1b tidak dianggap berlaku jika terdapat rasio simpangan antar tingkat yang nilainya melebihi 130% dari rasio simpangan antar tingkat yang berada tepat di atasnya. Artinya, meskipun secara geometris atau kekakuan struktur terlihat memenuhi kriteria ketidakberaturan, namun jika perilaku dinamis struktur menunjukkan bahwa simpangan relatif antar tingkat lebih besar secara progresif ke bawah dalam batas yang ditentukan maka struktur dianggap memiliki perilaku deformasi yang wajar dan terkendali.

Pemeriksaan *story drift ratio* pada arah X merupakan aspek fundamental dalam evaluasi kinerja seismik struktur yang memerlukan pendekatan komprehensif, terutama ketika menghadapi kasus-kasus khusus yang membutuhkan pengecualian dari ketentuan standar. Dalam konteks ini, *story drift ratio* tidak hanya berfungsi sebagai indikator kinerja struktur terhadap beban gempa, tetapi juga menjadi parameter kritis yang mencerminkan distribusi deformasi inelastis yang terjadi pada sistem struktur. SNI 1726:2019 memang menetapkan batas maksimum 2% sebagai nilai ambang untuk mencegah kerusakan elemen non-struktural dan memastikan stabilitas keseluruhan bangunan, namun dalam praktiknya terdapat beberapa kondisi khusus dimana batasan ini dapat ditinjau ulang melalui analisis yang lebih mendalam. Hasil analisis pemeriksaan *story drift ratio* (pengecualian) dapat dilihat pada table 4.22 dan 4.23.

Tabel 4.22 Pemeriksaan Story Drift Ratio (Pengecualian) Arah-x

Tingkat	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{xe} (m)	Story Drift Ratio δ_{xe}/h_i	Rasio 130%	Rasio
Dag Atap	13	46,00	0,0016	0,000463	1,30	1,46
LT.13	12	42,50	0,0027	0,000778	1,30	1,46
LT.12	11	39,00	0,0040	0,001138	1,30	1,46
LT.11	10	35,50	0,0052	0,001488	1,30	1,31
LT.10	9	32,00	0,0064	0,001815	1,30	1,22
LT.9	8	28,50	0,0074	0,002120	1,30	1,17
LT.8	7	25,00	0,0081	0,002319	1,30	1,09
LT.7	6	21,50	0,0089	0,002541	1,30	1,10
LT.6	5	18,00	0,0096	0,002736	1,30	1,08
LT.5	4	14,50	0,0101	0,002872	1,30	1,05
LT.4	3	11,00	0,0101	0,002883	1,30	1,00
LT.3	2	7,50	0,0091	0,002601	1,30	0,90
LT.2	1	4,00	0,0057	0,001417	1,30	0,54
LT.1	0	0	0	0	1,30	0

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.23 Pemeriksaan Story Drift Ratio (Pengecualian) Arah-y

Tingkat	Story	Tinggi Lantai (m)	Story Drift δ_{xe} (m)	Story Drift Ratio δ_{xe}/h_i	Rasio 130%	Rasio
Dag Atap	13	46,00	0,0024	0,000698	1,30	1,36
LT.13	12	42,50	0,0036	0,001034	1,30	1,36
LT.12	11	39,00	0,0049	0,001407	1,30	1,36
LT.11	10	35,50	0,0062	0,001759	1,30	1,25
LT.10	9	32,00	0,0073	0,002079	1,30	1,18
LT.9	8	28,50	0,0083	0,002362	1,30	1,14
LT.8	7	25,00	0,0088	0,002525	1,30	1,07
LT.7	6	21,50	0,0095	0,002719	1,30	1,08
LT.6	5	18,00	0,0101	0,002889	1,30	1,06
LT.5	4	14,50	0,0105	0,003002	1,30	1,04
LT.4	3	11,00	0,0105	0,002990	1,30	1,00
LT.3	2	7,50	0,0094	0,002690	1,30	0,90
LT.2	1	4,00	0,0059	0,001472	1,30	0,55
LT.1	0	0	0	0	1,30	0

Sumber : Hasil Analisis

2. Ketidakberaturan Struktur Horizontal (Horizontal Irregularity)

Ketidakberaturan horizontal dalam struktur bangunan tahan gempa merujuk pada ketidakseimbangan distribusi massa, kekakuan, atau kekuatan lateral yang dapat mengakibatkan perilaku dinamis yang tidak diinginkan saat terjadi gempa. Ketika elemen-elemen struktural tidak terdistribusi secara merata, hal ini dapat menyebabkan konsentrasi tegangan di titik-titik tertentu, yang berpotensi memicu kerusakan struktural. Selain itu, respon torsional yang tidak terduga dapat terjadi, di mana bangunan berputar atau bergetar secara tidak simetris, meningkatkan risiko kerusakan. Amplifikasi gaya gempa di area tertentu juga dapat terjadi, yang mengakibatkan beban yang lebih besar pada elemen struktural, sehingga menurunkan kinerja seismik keseluruhan bangunan. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan ketidakberaturan horizontal dalam desain dan analisis struktur untuk memastikan keamanan dan ketahanan bangunan terhadap gempa. Kondisi ini dapat menyebabkan konsentrasi tegangan, respon torsional yang tidak terduga, dan amplifikasi gaya gempa pada area

tertentu, sehingga mengurangi kinerja seismik struktur secara keseluruhan.

Faktor pembesaran bisa dapat dilihat pada tabel 4.24.

Tabel 4.24 Faktor pembesaran Torsi Tidak Terduga

Tingkat	Drift δ_A (mm)	Drift δ_B (mm)	Story Drift $\delta_{A,i}$ (mm)	Story Drift $\delta_{B,i}$ (mm)	Rata-rata δ_{AVG} (mm)	$\delta_{max}/\delta_{avg}$
Gempa Arah-X						
Dag Atap	88,35	86,74	1,61	1,57	1,59	1,01
LT.13	86,75	85,17	2,71	3,01	2,86	1,05
LT.12	84,04	82,16	3,96	3,53	3,74	1,06
LT.11	80,08	78,63	5,18	5,08	5,13	1,01
LT.10	74,89	73,55	6,32	6,20	6,26	1,01
LT.9	68,57	67,35	7,38	7,21	7,30	1,01
LT.8	61,19	60,14	8,07	7,95	8,01	1,01
LT.7	53,12	52,20	8,85	8,68	8,76	1,01
LT.6	44,27	43,52	9,53	9,34	9,44	1,01
LT.5	34,75	34,18	10,00	9,82	9,91	1,01
LT.4	24,75	24,36	10,04	9,87	9,96	1,01
LT.3	14,70	14,49	9,06	8,92	8,99	1,01
LT.2	5,65	5,58	5,65	5,58	5,61	1,01
LT.1	0	0	0	0	0	0
Gempa Arah-Y						
Dag Atap	97,43	95,96	2,44	2,40	2,42	1,01
LT.13	94,99	93,57	3,62	3,55	3,58	1,01
LT.12	91,37	90,02	4,92	4,83	4,88	1,01
LT.11	86,44	85,19	6,16	6,05	6,10	1,01
LT.10	80,28	79,14	7,28	7,16	7,22	1,01
LT.9	73,01	71,98	8,27	8,14	8,20	1,01
LT.8	64,74	63,84	8,84	8,71	8,77	1,01
LT.7	55,90	55,13	9,52	8,38	8,95	1,06
LT.6	46,39	46,75	10,11	10,97	10,54	1,04
LT.5	36,27	35,78	10,51	10,36	10,43	1,01
LT.4	25,77	25,42	10,47	10,32	10,39	1,01
LT.3	15,30	15,10	9,42	9,29	9,35	1,01
LT.2	5,89	5,81	5,89	5,81	5,85	1,01
LT.1	0	0	0,00	0	0	0

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.3.2.1 ketidak beraturan horizontal 1a akan terjadi apabila simpangan maksimal berbanding simpangan rerata lebih besar dari 1,20 dan ketidak beraturan horixontal 1b akan terjadi apabila simpangan maksimal berbanding simpangan rerata lebih besar dari 1,40.

- a) Ketidak beraturan horizontal 1a akan terjadi apabila:

$$\frac{\delta_{max}}{\delta_{avg}} > 1,20$$

- b) Ketidak beraturan horizontal 1b akan terjadi apabila:

$$\frac{\delta_{max}}{\delta_{avg}} > 1,40$$

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.4.3 mengenai pembesaran momen torsi tak terduga. Faktor pembesaran torsi tidak boleh lebih kecil dari 1 dan lebih besar dari 3.

4.4 Kombinasi Beban

Berdasarkan SNI 1726-2019, Pasal 7.4.2, sebelum melanjutkan ke tahap selanjutnya, yaitu perancangan komponen struktur atas. Data-data beban yang diperoleh dari hasil Analisa linear dikombinasikan dengan kombinasi beban sebagai berikut:

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L
3. (1,2+0,2.S_{DS})D + 1,0L ± (E_x ± 0,3 E_y)
4. (0,9-0,2.S_{DS})D ± (E_x ± 0,3 E_y)

Dimana nilai SDS adalah 0,343229 maka kombinasi 3 dan 4 menjadi:

- A. 1,29D + 1,0L ± (E_x ± 0,3 E_y)
- B. 0,81D ± (E_x ± 0,3 E_y)

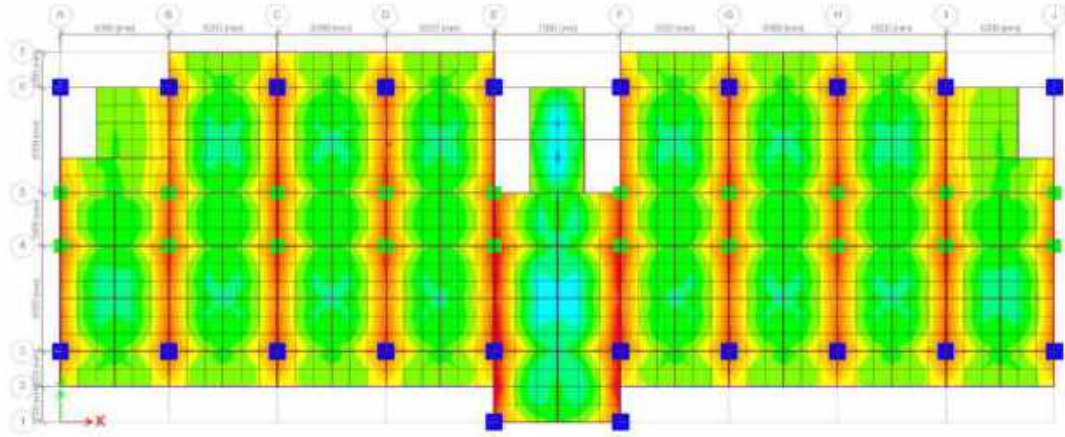
4.5 Desain Struktur Atas

4.5.1 Respon Struktur

- Diagram Momen Pelat Lantai arah X

$$M_{tp} = 15,4 \text{ kN/m}$$

$$M_{lp} = 10,3 \text{ kN/m}$$

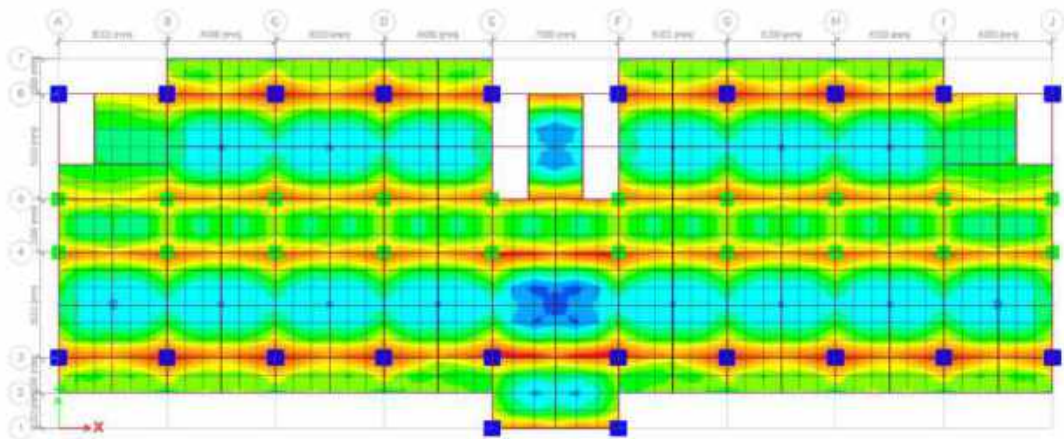


Gambar 4.23 Diagram Momen Pelat Lantai Arah-x
Sumber : Hasil Analisis

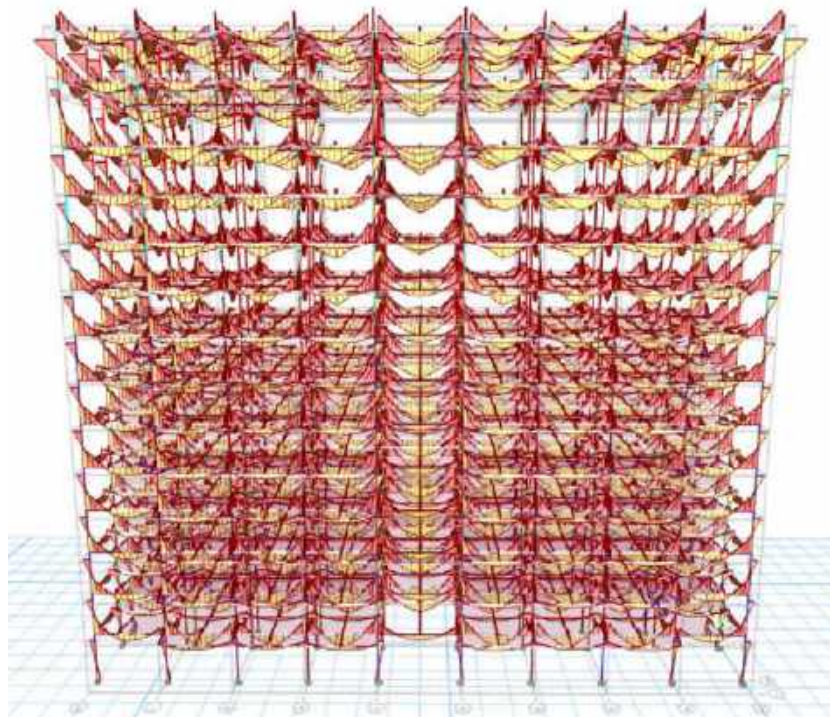
– Diagram Momen Pelat Lantai arah Y

$$M_{tp} = 14,5 \text{ kN/m}$$

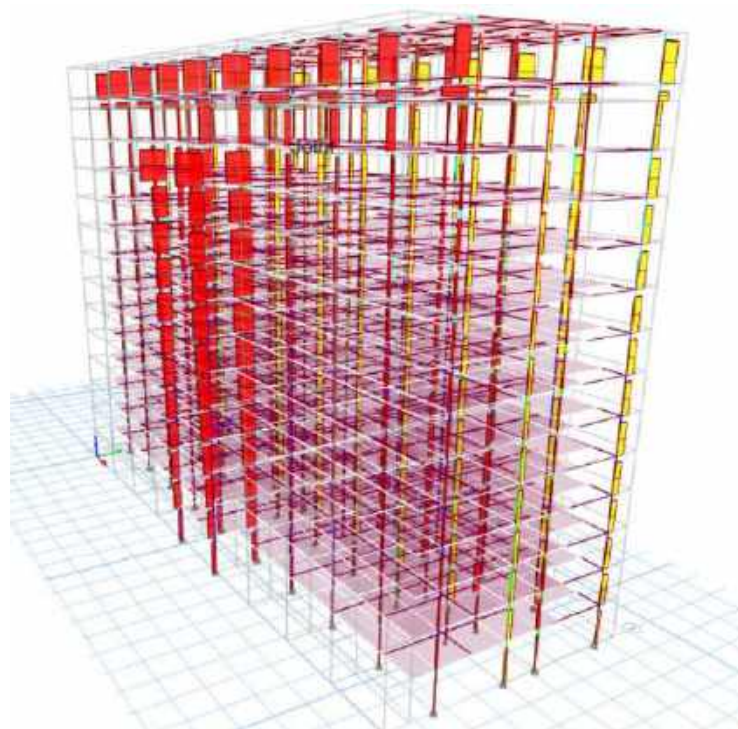
$$M_{lp} = 8,9 \text{ kN/m}$$



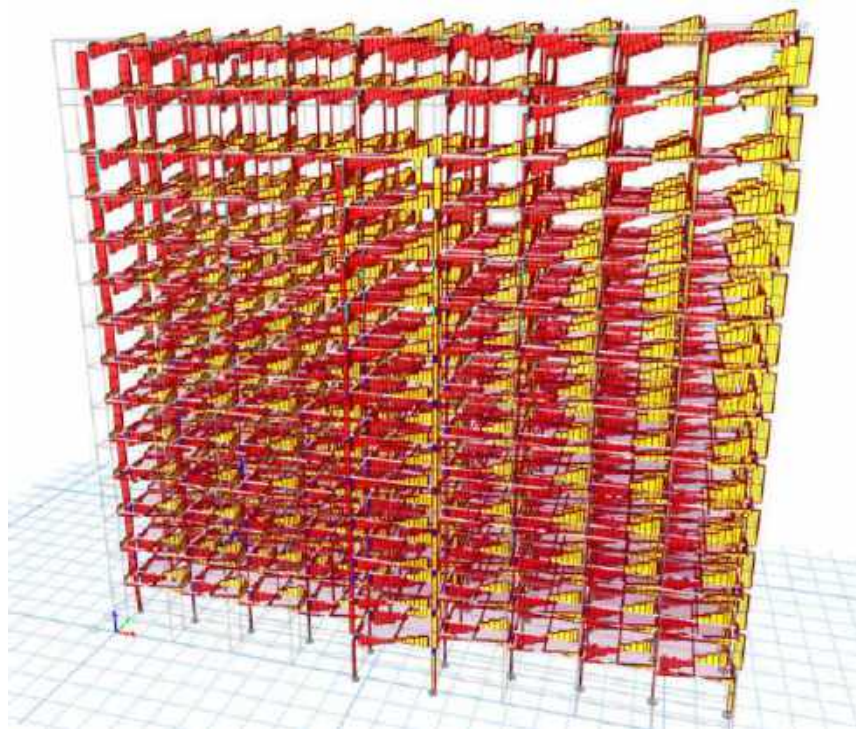
Gambar 4.24 Diagram Momen Pelat Lantai Arah-y
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.25 Diagram Momen Balok dan Kolom
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.26 Diagram Aksial Balok dan Kolom
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.27 Diagram Geser Balok dan Kolom
Sumber : Hasil Analisis

Gambar-gambar tersebut menampilkan serangkaian diagram hasil analisis struktur yang menggambarkan distribusi gaya internal pada balok dan kolom. Gambar 4.25 menunjukkan Diagram Momen yang mengilustrasikan variasi momen lentur sepanjang elemen struktur, dimana titik-titik momen maksimum teridentifikasi pada lokasi kritis seperti ujung balok atau pertemuan dengan kolom. Gambar 4.26 mempresentasikan Diagram Aksial yang mengungkapkan distribusi gaya aksial (tarik/tekan) pada elemen struktur, dengan nilai-nilai kritis yang umumnya terjadi pada kolom sebagai elemen pemikul beban vertikal utama. Sedangkan Gambar 4.27 menampilkan Diagram Geser yang memperlihatkan variasi gaya geser sepanjang elemen, dengan titik-titik geser maksimum biasanya terletak di daerah sendi plastis atau pertemuan antara balok dan kolom. Ketiga diagram ini secara bersama-sama membentuk gambaran komprehensif tentang perilaku struktur terhadap pembebanan, dimana pola distribusi yang ditunjukkan dapat mengidentifikasi lokasi-lokasi kritis yang memerlukan penulangan khusus atau penguatan tambahan. Hasil analisis ini menjadi dasar penting dalam proses

verifikasi desain untuk memastikan bahwa elemen-elemen struktur memenuhi persyaratan kekuatan dan layanan sesuai standar yang berlaku, sekaligus menjadi acuan dalam optimasi desain struktur yang efisien dan aman.

4.5.2 Desain Pelat Lantai

A. Data Material

- Data Material

Beton:

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$E_c = 25.743 \text{ MPa}$$

Baja Tulangan:

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

- Penulangan

$$b = 1000 \text{ mm} \quad \beta_1 = 0,84$$

$$h = 120 \text{ mm} \quad \phi = 0,9$$

$$d' = 25 \text{ mm} \quad \rho_b = 0,02394$$

$$S = 20 \text{ mm} \quad A_{S\text{Min}} = 171 \text{ mm}^2$$

$$ds = 10 \text{ mm} \quad A_{S\text{Max}} = 1705,73 \text{ mm}^2$$

$$d = 95 \text{ mm}$$

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$F_y = 420 \text{ MPa}$$

Penulangan Tumpuan

$$M_u = 15,39 \text{ kN.m}$$

$$M_n = 17.104.444 \text{ N.mm}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f'_c \cdot b}} = 7,44$$

$$A_{S\text{perlu}} = \frac{M_n}{f_y \cdot (d - \frac{a}{2})} = 382,22 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$171,00 < 382,22 < 1705,73 \quad \textbf{Memenuhi}$$

Diameter Tulangan yang dipakai:

$$A_{s1} = 78,54 \text{ mm}^2$$

Dipakai Tulangan D10-150

$$A_s = 523,60 \text{ mm}^2$$

$$\phi M_n = 23,43 \text{ kN.m} > M_u = 15,39 \text{ kN.m} \quad \textbf{Memenuhi}$$

Penulangan Lapangan

$$M_u = 10,33 \text{ kN.m}$$

$$M_n = 11.473.333 \text{ N.mm}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}} = 7,34 \text{ mm}$$

$$A_{sperlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot (d - \frac{a}{2})} = 256,38 \text{ mm}^2$$

Kontrol:

$$171,00 < 256,38 < 1705,73 \quad \textbf{Memenuhi}$$

Diameter Tulangan yang dipakai:

$$A_{s1} = 78,54 \text{ mm}^2$$

Dipakai Tulangan D10-150

$$A_s = 523,60 \text{ mm}^2$$

$$\phi M_n = 23,43 \text{ kN.m} > M_u = 10,33 \text{ kN.m} \quad \textbf{Memenuhi}$$

4.5.3 Desain Balok

A. Data Material

- Beton :

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 25743 \text{ Mpa}$$

- Baja Tulangan :

$$F_y = 420 \text{ Mpa}$$

B. Properties Penampang

- Selimut Beton (s) = 40 mm
- Sengkang (d_{sk}) = 13 mm
- Tu.Long = 19 mm

C. Syarat Geometri

- **B1 (uk. 400 mm x 600 mm)**

$$d' = 62,5 \text{ mm}$$

$$s = 40 \text{ mm}$$

$$d_{sk} = 13 \text{ mm}$$

$$d = 538 \text{ mm}$$

$$\ell_n = 5150 \text{ mm}$$

$$\ell_n/d = 9,57$$

- **B2 (uk. 250 mm x 400 mm)**

$$d' = 62,5 \text{ mm}$$

$$s = 40 \text{ mm}$$

$$d_{sk} = 13 \text{ mm}$$

$$d = 538 \text{ mm}$$

$$\ell_n = 5150 \text{ mm}$$

$$\ell_n/d = 9,57$$

D. Syarat Kapasitas Tekan

- **B1 (uk. 400 mm x 600 mm)**

$$0,1A_g \cdot f_c' = 0,1 \cdot \frac{400 \times 600 \cdot 30}{1000} = 720 \text{ kN}$$

- **B2 (uk. 250 mm x 400 mm)**

$$0,1A_g \cdot f_c' = 0,1 \cdot \frac{250 \times 400 \cdot 30}{1000} = 300 \text{ kN}$$

E. Parameter Penulangan

$$\text{nilai } f' = 30 \text{ maka } \beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (f'c - 28)}{7}$$

$$B_1 = 0,85 - \frac{0,05 (30 - 28)}{7} = 0,849$$

$$P_{min} = \frac{\sqrt{f'c'}}{4 f_y} = 0,0048$$

Tidak boleh kurang dari:

$$P_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0033$$

$$P_b = \beta_1 \frac{0,085 f'c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,0034$$

Tidak boleh lebih dari:

$$\rho_{max} = 0,0025$$

G. Kapasitas Lentur B1**- Penulangan Tumpuan :**

b	= 400 mm	f_c	= 30 Mpa
h	= 600 mm	f_y	= 420 Mpa
d'	= 62,5 mm	M_u	= 268,7256 kN/m
s	= 40 mm	ϕ	= 0,9
d_{sk}	= 13 mm	M_n	= 298.584.000 N/m
dt	= 19 mm	β_1	= 0,84
d	= 538 mm	ρ_{bal}	= 0,02985

$$a \text{ perlu} = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 M_n}{0,85 f \cdot b}}$$

$$a \text{ perlu} = 538 - \sqrt{538^2 - \frac{2 \cdot 298.584.000}{0,85 \cdot 30 \cdot 400}} = 57,5 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{298.584.000}{420 \cdot \left(538 - \frac{57,5}{2} \right)} = 1.397,431 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4f_y} \text{ atau } \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ dan } \rho \text{ dan } \rho_{\min} \geq \frac{4}{3} \rho \text{ perlu}$$

$$0,0033 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,0086662$$

$$A_{s\min} = 0,003 \times 538 \times 400 = 716,67 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\max} = 0,75 \times 538 \times 538 = 4812,82 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan:

$$716,67 < 1397,43 < 4812,82 \text{ Ok Telah Memenuhi Kecukupan}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$A_{s1} = 3,14.$$

$$= 283,53 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan ada = 6 buah

$$A_s = A_{s1} \times 6$$

$$= 283,53 \times 6$$

$$= 1701,17 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan:

$$716,67 < 1701,17 < 4812,82 \text{ Ok Telah Memenuhi Kecukupan}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 1701,17 \times 420 \times$$

$$= 323,11 \text{ kN/m}$$

$$\phi M_n = 323,11 \text{ kN/m} > M_u = 268,7256 \text{ kN/m} \quad \text{Ok Memenuhi}$$

– **Penulangan Lapangan :**

b	= 400 mm	f _c	= 30 Mpa
h	= 600 mm	f _y	= 420 Mpa
d'	= 62,5 mm	M _u	= 201,4907 kN/m
s	= 40 mm	φ	= 0,9 (SNI 2847:2013)
d _{sk}	= 13 mm	M _n	= 223.878,556 N/m
dt	= 19 mm	β ₁	= 0,84
d	= 538 mm	ρ _{bal}	= 0,02985

$$a \text{ perlu} = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 M_n}{0,85 f_y b}}$$

$$a \text{ perlu} = 538 - \sqrt{538^2 - \frac{2.298.584.000}{0,85.30.400}} = 57,5 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot (d - \frac{a}{2})}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{223.878,556}{420 \cdot (538 - \frac{57,5}{2})} = 1.047,795 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 f_y} \text{ atau } \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ dan } \rho \text{ dan } \rho_{\min} \geq \rho_{\text{perlu}}$$

$$0,0033 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,008662$$

$$A_{s\min} = 716,67 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\max} = 4812,82 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan:

$$716,67 < 1.047,80 < 48,82 \text{ **Ok Telah Memenuhi Kecukupan**}$$

tulangan di pakai = 19 mm

$$A_{s1} = 3,14.$$

$$= 283,53 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan ada = 5 buah

$$A_s = A_{s1} \times 5$$

$$= 283,53 \times 5$$

$$= 1.417,644 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$716,67 < 1.417,644 < 4812,82 \text{ Ok}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 1701,17 \times 420 \times$$

$$= 272,39 \text{ kN/m}$$

$$\phi M_n = 272,39 \text{ kN/m} > M_u = 201,49 \text{ kN/m} \text{ **Ok Telah Memenuhi Kecukupan**}$$

H. Kapasitas Geser B1 (uk. 40x60)

– Penulangan Geser

$$M_u = 268,7256 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 179,29 \text{ kN}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{V_u}{\phi \cdot 1000} \\ &= \frac{179,29}{0,75 \cdot 1000} = 239.047,60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_w &= \frac{A_s}{b \cdot d} \\ &= \frac{1701,172}{400 \cdot 538} \\ &= 0,008 \end{aligned}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$S = 100 \text{ mm}$$

$$d_{sk} = 13 \text{ mm}$$

$$d = 538 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \pi \times d_{sk}^2 / 4 \\ &= 2 \times 3,14 \times 13^2 / 4 \\ &= 265 \text{ mm}^2 \text{ (2 kaki)} \end{aligned}$$

Hitung V_c :

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \cdot \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right] \cdot \frac{b \cdot d}{7} \\ \phi V_c &= 0,75 \left(\sqrt{30} + 120 \cdot 0,008 \cdot \frac{179,29 \cdot 538}{268,7256} \cdot 1000 \right) \cdot \frac{400 \cdot 538}{7} \\ &= 134.015,27 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,3 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= 0,3 \cdot \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 538 \\ &= 353.609,68 \text{ N} \end{aligned}$$

$$134.015,27 \text{ N} < 353.609,68 \text{ N} \text{ Ok Telah Memenuhi.}$$

Hitung V_s :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$V_s = \frac{265 \cdot 420 \cdot 538}{100}$$

$$= 599.286 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times V_s$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 599.286$$

$$= 449.465 \text{ N}$$

Kontrol kecukupan tulangan Sengkang :

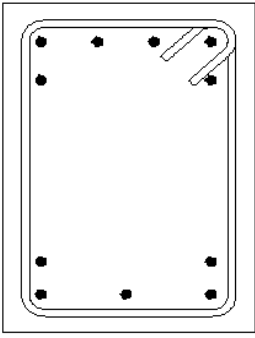
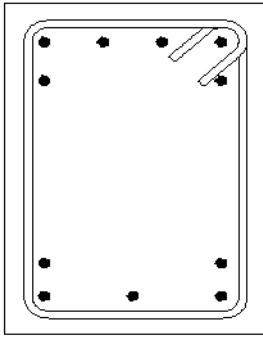
$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$\phi V_n = 134.015,27 + 449.465 / 1000$$

$$= 583,48027 \text{ kN}$$

$$V_n = 583,48027 > V_u \text{ Ok Telah Memenuhi Kecukupan}$$

Tabel 4.25 Dimensi Balok 1

UKURAN BALOK		
400 x 600	Tumpuan	Lapangan
Balok 1		
Tul. Utama	6 D 19	5 D 19
Tul.Sengkang	D 13 – 100 mm	D 13-150 mm
Selimut Beton	40 mm	40 mm

Sumber : Hasil Analisis

I. Kapasitas Lentur B2 (uk. 25 x 40)

- Penulangan Tumpuan :

b	= 250 mm	f _c	= 30 Mpa
h	= 400 mm	f _y	= 420 Mpa
d'	= 61 mm	M _u	= 50,889 kN/m
s	= 40 mm	φ	= 0,9
d _{sk}	= 13 mm	M _n	= 56.554.444 N/m
dt	= 19 mm	β ₁	= 0,84
d	= 339 mm	ρ _{bal}	= 0,02985

$$a_{\text{perlu}} = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}}$$

$$a_{\text{perlu}} = 339 - \sqrt{339^2 - \frac{2 \cdot 56.554.444}{0,85 \cdot 30 \cdot 250}} = 27,3 \text{ mm}$$

$$A_{s\text{perlu}} = \frac{M_n}{f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_{s\text{perlu}} = \frac{56.554.444}{420 \cdot \left(339 - \frac{27,3}{2}\right)} = 413,851 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4 \cdot f_y} \text{ atau } \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ dan } \rho \text{ dan } \rho_{\min} \geq \rho_{\text{perlu}}$$

$$0,0033 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,00651092$$

$$A_{s\min} = 282,50 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\max} = 1897,15 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

$$282,50 < 413,85 < 1897,15 \text{ Ok Telah Memenuhi Kecukupan}$$

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$A_{s1} = 3,14 \cdot \frac{19^2}{4}$$

$$= 201,06 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan ada = 6 buah

$$\begin{aligned}
 A_s &= A_{s1} \times 6 \\
 &= 201,06 \times 6 \\
 &= 1206,372 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan :

$$282,50 < x \ 1206,37 < 1897,15 \text{ Ok}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times 1206,37 \times 420 \times \\
 &= 323,11 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 136,47 \text{ kN/m} > M_u = 50,90 \text{ kN/m} \text{ **Ok Telah Memenuhi Kecukupan**}$$

Penulangan Lapangan :

b = 250 mm	$f_c = 30 \text{ Mpa}$
h = 400 mm	$f_y = 420 \text{ Mpa}$
d' = 59,5 mm	$M_u = 25,45 \text{ kN/m}$
s = 40 mm	$\phi = 0,9$
d _{sk} = 13 mm	$M_n = 28.277.222 \text{ N/m}$
dt = 19 mm	$\beta_1 = 0,84$
d = 339 mm	$\rho_{bal} = 0,02985$

$$a \text{ perlu} = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_n}{0,85f_c' \cdot b}}$$

$$a \text{ perlu} = 339 - \sqrt{339^2 - \frac{2 \cdot 28.277.222}{0,85 \cdot 30 \cdot 250}} = 13,3 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_n}{f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{28.277.222}{420 \cdot \left(339 - \frac{13,3}{2}\right)} = 201,663 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4 \cdot f_y} \text{ atau } \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ dan } \rho \text{ dan } \rho_{\min} \geq \frac{4}{3} \cdot \rho_{\text{perlu}}$$

$$0,0033 \text{ atau } 0,033 \text{ dan } 0,0031305$$

$$A_{s\min} = 268,88 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\max} = 1905,54 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

268,88 < 201,66 **Ok Telah Memenuhi Kecukupan**

Diameter tulangan di pakai = 19 mm

$$A_{s1} = 3,14 \cdot \frac{19^2}{4}$$

$$= 283,53 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan ada = 5 buah

$$A_s = A_{s1} \times 5$$

$$= 283,53 \times 5$$

$$= 1417,644 \text{ mm}^2$$

Kontrol kecukupan :

282,50 < x 1206,37 < 1897,15 Ok

$$\phi M_n = 0,9 \times 1206,37 \times 420 \times \frac{\left(538 - \left(\frac{1417,644 \cdot 420}{0,85 \cdot 250 \cdot 400}\right)\right)}{2} : 1.000.000$$

$$= 155,38 \text{ kN/m}$$

$\phi M_n = 155,38 \text{ kN/m} > M_u = 25,45 \text{ kN/m}$ **Ok Telah Memenuhi Kecukupan**

H. Kapasitas Geser B2 (uk. 20x40)

– Penulangan Geser

$$M_u = 50,90 \text{ kN/m}$$

$$V_u = 30,61 \text{ kN}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\rho_w = A_s / b \cdot d$$

$$= 1701,172 / 250 \times 339 = 0,014$$

$$b = 2500 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$S = 100 \text{ mm (Jarak Sengkang)}$$

$$d_{sk} = 13 \text{ mm}$$

$$d = 339 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \cdot \pi \cdot d_{sk}^2 / 4 \\
 &= 2 \cdot 3.14 \cdot 13^2 / 4 = 265 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Hitung V_c :

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi \cdot \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right] \cdot \frac{b d}{7} \\
 \phi V_c &= 0,75 \left(\sqrt{30} + 120 \cdot 0,014 \cdot \frac{30,61}{50,90} \cdot 1000 \right) \cdot \frac{250 \cdot 339}{7} \\
 &= 52.897,327 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,3 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d &= 0,3 \cdot \sqrt{30} \cdot 250 \cdot 339 \\
 &= 13925,84602 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$52.897,327 \text{ N} < 13925,84602 \text{ N} \quad \textbf{Ok Telah Memenuhi}$$

Hitung V_s :

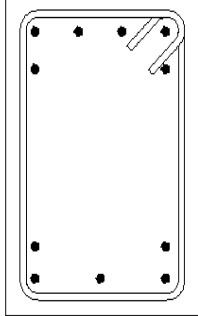
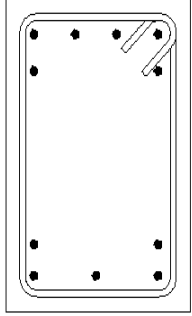
$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \\
 V_s &= \frac{265 \cdot 420 \cdot 339}{100} = 377.968 \text{ N} \\
 \phi V_s &= 0,75 \times V_s \\
 \phi V_s &= 0,75 \times 377.968 \\
 &= 283.476 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol kecukupan tulangan Sengkang :

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= V_c + V_s \\
 \phi V_n &= 52.897,327 + 377.968 \\
 &= 336,37 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_n = 336,37 > V_u = 30,61 \quad \textbf{Ok Telah Memenuhi Kecukupan}$$

Tabel 4. 26 Dimensi Baok 2

UKURAN BALOK		
250 x 400	Tumpuan	Lapangan
Balok 2		
Tul. Utama	6 D 19	5 D 19
Tul.Sengkang	D 13 – 100 mm	D 13-150 mm
Selimut Beton	40 mm	40 mm

Sumber : Hasil Analisis

I. Desain Kolom

A. Data material :

Beton :

$$f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 25743 \text{ Mpa}$$

Baja Tulangan:

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

B. Properties Penampang :

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Sengkang (d}_{sk}) = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan Panjang} = 22 \text{ mm}$$

Material Properties :

$$f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 25743 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0,836$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

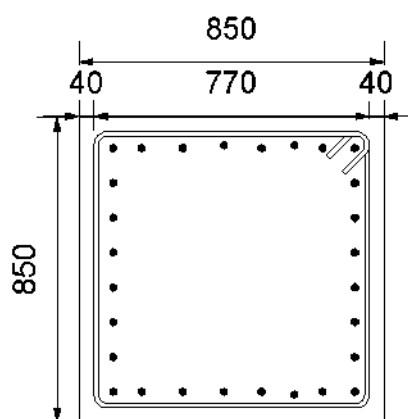
$$E_s = 200.000 \text{ Mpa}$$

Reduksi Kekuatan :

a = 0,80 (Tekan Sengkan)

b = 0,90 (Tarik Lnetur)

c = 0,65 (Tekan)

– **Kolom 1****Gambar 4.28 Detail Kolom 1****Sumber : Hasil Analisis**

b = 850 mm

h = 850 mm

Selimut Beton (s) = 40 mm

Sengkan (d_{sk}) = 13 mm

Tulangan (dt) = 22 mm

 Σ Tulangan Arah-x = 8 buah Σ Tulangan Arah-y = 8 buah

$$\begin{aligned}
 d' &= \frac{s + d_{sk} + dt}{2} \\
 &= 40 + 13 + \frac{22}{2} \\
 &= 64 \text{ mm} \\
 dx &= h - d' \\
 &= 850 - 64 \\
 &= 786 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= h - d' \\ &= 850 - 64 = 786 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan Arah-x} &= \frac{b - 2 \cdot d'}{(\sum \text{Tulangan Arah-X})} \\ &= \frac{850 - 2 \cdot 64}{8 - 1} \\ &= 103 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 103 - 22 = 81,14 \text{ **Ok Telah Memenuhi.**}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan Arah-y} &= \frac{b - 2 \cdot d'}{(\sum \text{Tulangan Arah-y})} \\ &= \frac{850 - 2 \cdot 64}{8 - 1} \\ &= 103 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 103 - 22 = 81,14 \text{ **Ok Telah Memenuhi.**}$$

$$\begin{aligned} \sum \text{Tulangan} &= 2 \cdot ((\sum \text{Tulangan Arah-y} - 2) + (\sum \text{Tulangan Arah-x} - 2)) + 4 \\ &= 2 ((8 - 2) + (8 - 2)) + 4 \\ &= 28 \text{ Buah} \end{aligned}$$

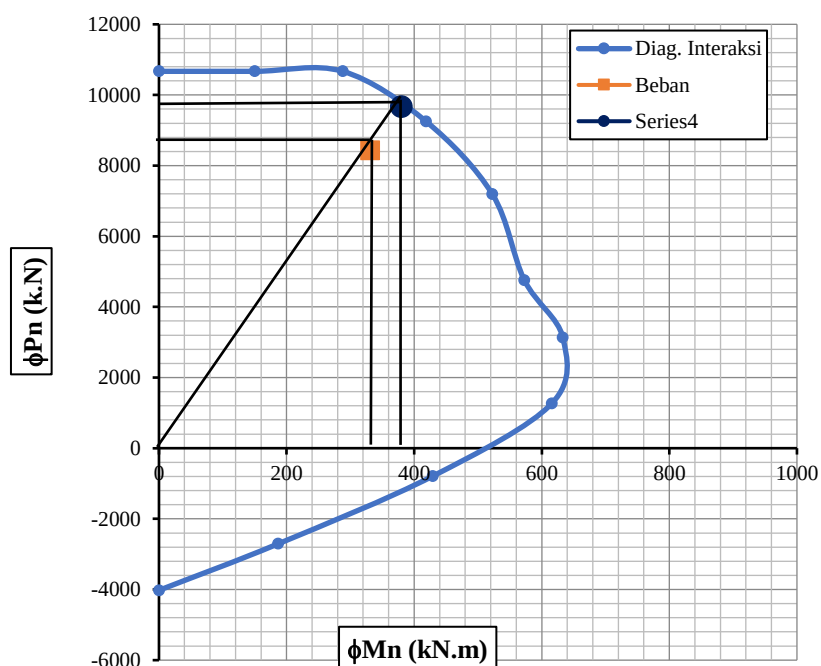
$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{\sum \text{Tulangan} \cdot \pi \cdot dt^2}{4} \\ &= \frac{28 \cdot 3,14 \cdot 22^2}{4} \\ &= 10.643,7 \text{ mm}^2 \\ &= \left(\frac{10.643,7}{850 \cdot 850} \right) \% = 1,5 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,1 \cdot A_g \cdot f_c &= \frac{0,1 \times 850 \times 8500 \times 30}{1.000} \\ &= 2167,5 \text{ kN} < P_u \end{aligned}$$

Tabel 4.27 Diagram Interaksi Kolom 1 Arah-x

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M3 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	10670	0	330,99	8435,08	9673	380	0,872
2	10670	150,1					
3	10670	288,1					
4	9251	418,7					
5	7192	522,6					
6	4758	572,7					
7	3132	633					
8	1269	615,8					
9	-789	429,2					
10	-2707	186,8					
11	-4023	0					

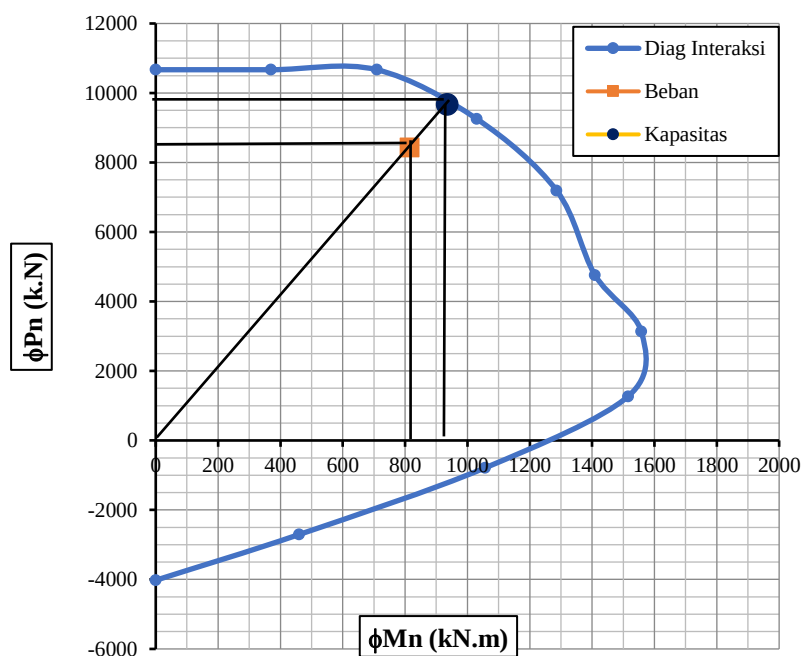
Sumber : Hasil Analisis

**Gambar 4.29 Diagram Interaksi Kolom 1 Arah-x**
Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.28 Diagram Interaksi Kolom 1 Arah-y

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M2 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	10670	0	814,56	8435,08	9673	934	0,872
2	10670	369,3					
3	10670	709,1					
4	9251	1030					
5	7192	1286					
6	4758	1409					
7	3132	1558					
8	1269	1516					
9	-789	1056					
10	-2707	459,7					
11	-4023	0					

Sumber : Hasil Analisis

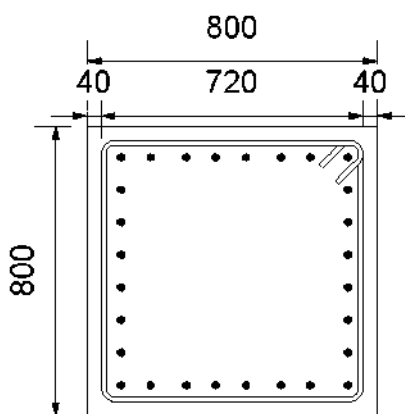


Gambar 4.30 Diagram Interaksi Kolom 1 Arah-y

Sumber : Hasil Analisis

Diagram interaksi kolom 1 Arah-x dan Arah-y pada gambar tersebut merupakan representasi grafis dari hubungan antara kapasitas aksial (ϕP_n) dan kapasitas momen (ϕM_n) yang menjadi dasar evaluasi kinerja elemen struktur terhadap kombinasi beban aksial dan lentur. Kolom persegi 850 mm $\times$ 850 mm dengan mutu beton 30 MPa dan tulangan 420 MPa ini dirancang untuk memikul beban aksial tinggi sekaligus momen lentur. Kurva cekung khas pada diagram mengindikasikan batas aman kombinasi P-M, di mana setiap titik (P_u , M_u) yang berada dalam area kurva menunjukkan kondisi aman. Parameter kritis seperti rasio beban ($\phi P_n/P_u$ dan $\phi M_n/M_u$) perlu diverifikasi untuk memastikan kecukupan kapasitas, khususnya terhadap pembebanan gempa yang memerlukan pemeriksaan tambahan untuk daktilitas dan detail penulangan confinement. Hasil analisis ini menjadi dasar pertimbangan untuk optimasi desain, terutama jika ditemukan rasio beban melebihi 1 atau diperlukan peningkatan kinerja terhadap pembebanan dinamis. Visualisasi grafik dengan sumbu vertikal ϕP_n dan horizontal ϕM_n secara jelas menampilkan karakteristik performa kolom yang khas untuk elemen beton bertulang, dengan puncak kurva pada zona balance point.

– **Kolom 2**



Gambar 4.31 Detail Kolom 2
Sumber : Hasil Analisis

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Senggang (d}_{sk}) = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan (dt)} = 22 \text{ mm}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-x} = 8 \text{ buah}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-y} = 8 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} d' &= \frac{s + d_{sk} + dt}{2} \\ &= 40 + 13 + \frac{22}{2} \\ &= 64 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= h - d' \\ &= 800 - 64 \\ &= 736 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= h - d' \\ &= 800 - 64 \\ &= 736 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan Arah-x} &= \frac{b - 2 \cdot d'}{(\sum \text{Tulangan Arah-x})} \\ &= \frac{800 - 2 \cdot 64}{8 - 1} \\ &= 96 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 96 - 22 = 74 \text{ **Ok Telaah Memenuhi.**}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan Arah-y} &= \frac{b - 2 \cdot d'}{(\sum \text{Tulangan Arah-y})} \\ &= \frac{800 - 2 \cdot 64}{8 - 1} \\ &= 96 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 96 - 22 = 74 \text{ **Ok Telah Memenuhi.**}$$

$$\begin{aligned} \sum \text{Tulangan} &= 2 \cdot ((\sum \text{Tulangan Arah-x} - 2) + (\sum \text{Tulangan Arah-y} - 2)) + 4 \\ &= 2 ((8 - 2) + (8 - 2)) + 4 \\ &= 28 \text{ Buah} \end{aligned}$$

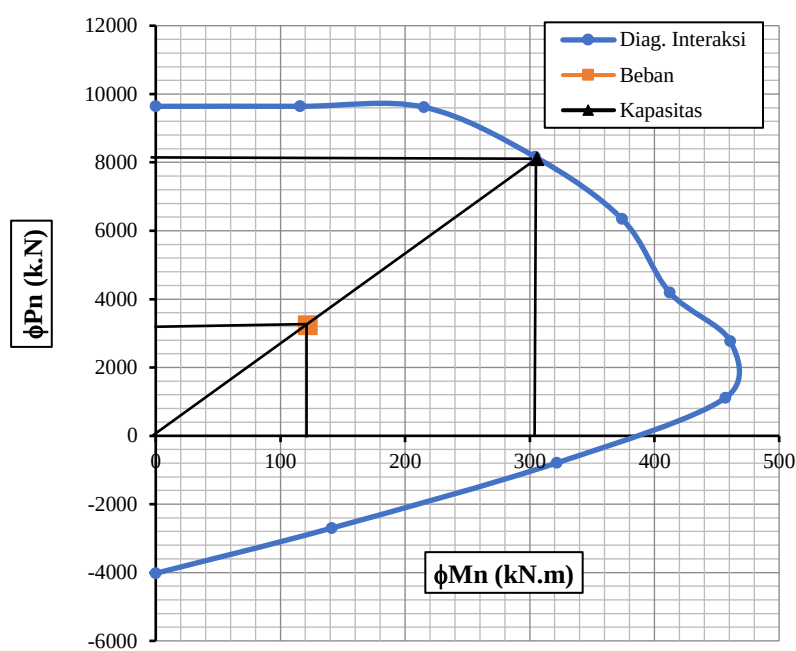
$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{\sum \text{Tulangan} \cdot \pi \cdot dt^2}{4} \\
 &= \frac{28 \cdot 3,14 \cdot 22^2}{4} \\
 &= 10.643,7 \text{ mm}^2 \\
 &= \left(\frac{10.643,7}{800.800} \right) \% \\
 &= 1,66 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,1 \cdot A_g \cdot f_c &= \frac{0,1 \times 800 \times 800 \times 30}{1.000} \\
 &= 1920 \text{ kN} < P_u
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 29 Diagram Interaksi Kolom 2 Arah-x

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M3 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	9642	0	122,04	3233,69	8104	306	0,399
2	9642	115,7					
3	9615	215,2					
4	8166	304,1					
5	6342	374,1					
6	4193	412,2					
7	2766	460,8					
8	1110	456,9					
9	-792	321,6					
10	-2700	141,1					
11	-4023	0					

Sumber : Hasil Analisis

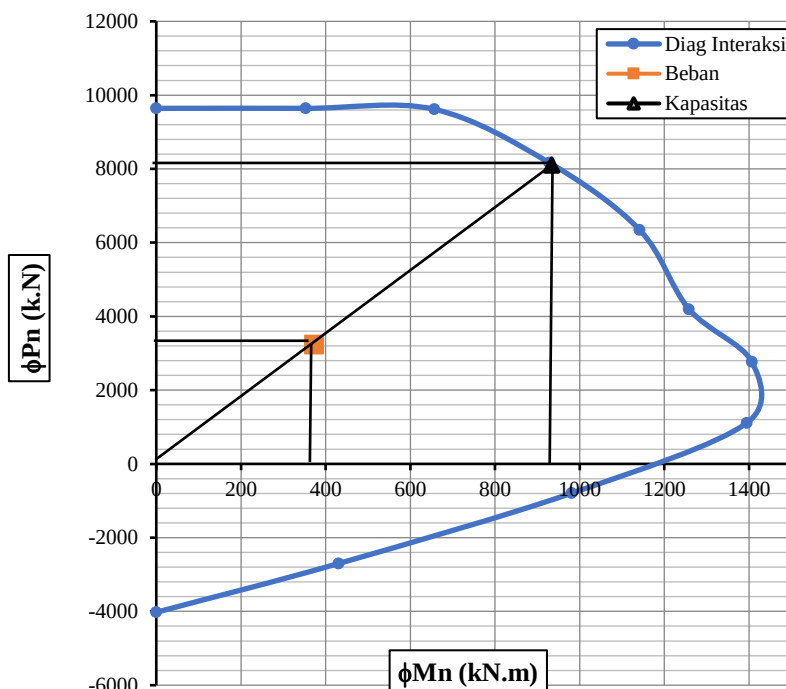


Gambar 4.32 Diagram Interaksi Kolom Arah-x
Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4. 30 Diagram Interaksi Kolom 2 Arah-y

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M2 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	9642	0	372,51	3233,69	8104	934	0,399
2	9642	353,2					
3	9615	657					
4	8166	928,3					
5	6342	1142					
6	4193	1258					
7	2766	1407					
8	1110	1395					
9	-792	981,6					
10	-2700	430,7					
11	-4023	0					

Sumber : Hasil Analisis



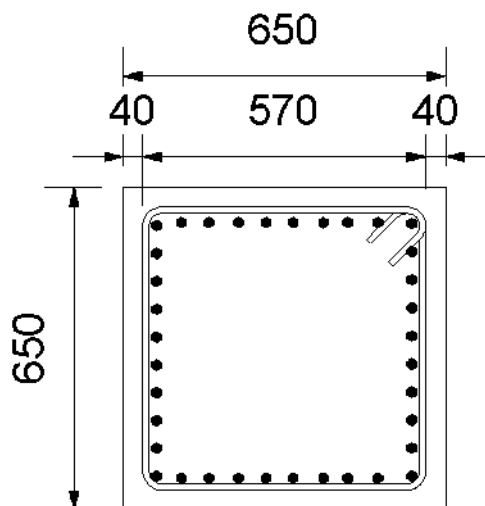
Gambar 4.33 Diagram Interaksi Kolom Arah-y

Sumber : Hasil Analisis

Diagram interaksi kolom 1 Arah-x dan Arah-y pada gambar tersebut merupakan representasi grafis dari hubungan antara kapasitas aksial (ϕP_n) dan kapasitas momen (ϕM_n) yang menjadi dasar evaluasi kinerja elemen struktur terhadap kombinasi beban aksial dan lentur. Kolom persegi 800 mm $\times$ 800 mm dengan mutu beton 30 MPa dan tulangan 420 MPa ini dirancang untuk memikul beban aksial tinggi sekaligus momen lentur. Kurva cekung khas pada diagram mengindikasikan batas aman kombinasi P-M, di mana setiap titik (P_u , M_u) yang berada dalam area kurva menunjukkan kondisi aman. Parameter kritis seperti rasio beban ($\phi P_n/P_u$ dan $\phi M_n/M_u$) perlu diverifikasi untuk memastikan kecukupan kapasitas, khususnya terhadap pembebanan gempa yang memerlukan pemeriksaan tambahan untuk daktilitas dan detail penulangan confinement. Hasil analisis ini menjadi dasar pertimbangan untuk optimasi desain, terutama jika ditemukan rasio beban melebihi 1 atau diperlukan peningkatan kinerja terhadap pembebanan dinamis. Visualisasi grafik dengan sumbu vertikal ϕP_n dan horizontal ϕM_n secara

jelas menampilkan karakteristik performa kolom yang khas untuk elemen beton bertulang, dengan puncak kurva pada zona balance point.

– **Kolom 3**



Gambar 4.34 Detail Kolom 3

Sumber : Hasil Analisis

$$b = 650 \text{ mm}$$

$$h = 650 \text{ mm}$$

$$P_u = 7454,74 \text{ kN}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Sengkang (d}_{sk}) = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan (dt)} = 22 \text{ mm}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-x} = 10 \text{ buah}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-y} = 10 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} d' &= \frac{s + d_{sk} + dt}{2} \\ &= 40 + 13 + \frac{22}{2} \\ &= 64 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= h - d' \\ &= 650 - 64 \\ &= 586 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dy &= h - d' \\
 &= 650 - 64 \\
 &= 586 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi Tulangan Arah-x} &= \frac{b - 2 \cdot d'}{(\sum \text{Tulangan Arah-y})} \\
 &= \frac{650 - 2 \cdot 64}{8 - 1} \\
 &= 58
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Min Spasi} &= 58 - 22 \\
 &= 36 \text{ **Ok Telah Memenuhi**}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi Tulangan Arah-y} &= \frac{b - 2 \cdot d'}{(\sum \text{Tulangan Arah-y})} \\
 &= \frac{650 - 2 \cdot 64}{8 - 1} \\
 &= 58
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Min Spasi} &= 58 - 22 \\
 &= 36 \text{ **Ok Telah Memenuhi**}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum \text{Tulangan} &= 2 \cdot ((\sum \text{Tulangan Arah-y} - 2) + (\sum \text{Tulangan Arah-y} - 2)) + 4 \\
 &= 2 \cdot ((10 - 2) + (10 - 2)) + 4 \\
 &= 36 \text{ Buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{\sum \text{Tulangan} \cdot \pi \cdot dt^2}{4} \\
 &= \frac{36 \cdot 3,14 \cdot 22^2}{4} \\
 &= 13.684,8 \text{ mm}^2 \\
 &= \left(\frac{13.684,8}{650 \cdot 650} \right) \% \\
 &= 3,24 \%
 \end{aligned}$$

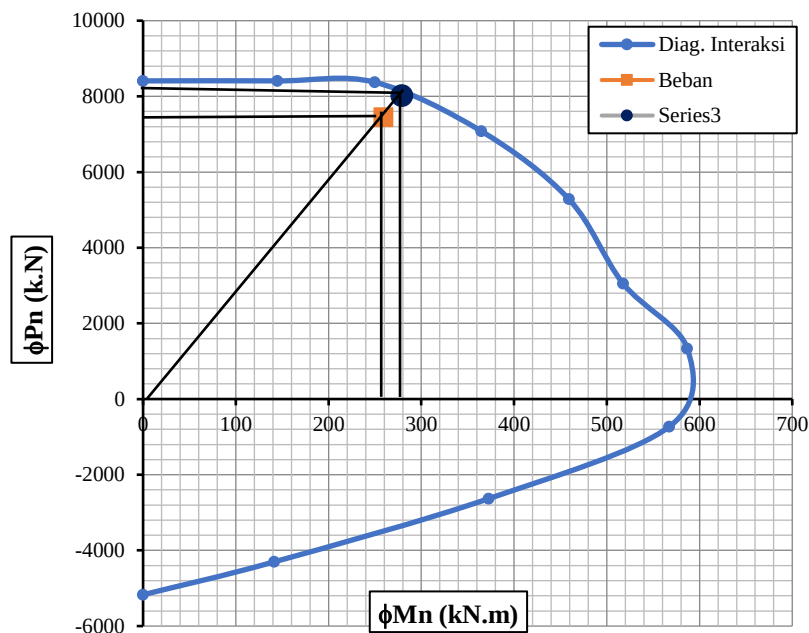
$$0,1.A_g.f_c = \frac{0,1 \times 650 \times 650 \times 30}{1.000}$$

$$= 1267,5 \text{ kN} < P_u$$

Tabel 4. 31 Diagram Interaksi Kolom 3 Arah-x

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M3 kN.m	P_u kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	8409	0	258,98	7454,74	8024	279	0,929
2	8409	144,8					
3	8373	249,9					
4	7081	364,7					
5	5283	459,1					
6	3053	517,6					
7	1337	586,8					
8	-730	567,4					
9	-2631	372,8					
10	-4302	141,4					
11	-5172	0					

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 35 Diagram Interaksi Kolom 3 Arah-x

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.27 Diagram Interaksi Kolom 3 Arah-y

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M2 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	8409	0	435,67	7454,74	8024	469	0,929
2	8409	243,6					
3	8373	420,4					
4	7081	613,5					
5	5283	772,4					
6	3053	870,7					
7	1337	987,1					
8	-730	954,4					
9	-2631	627,1					
10	-4302	237,9					
11	-5172	0					

Sumber : Hasil Analiss

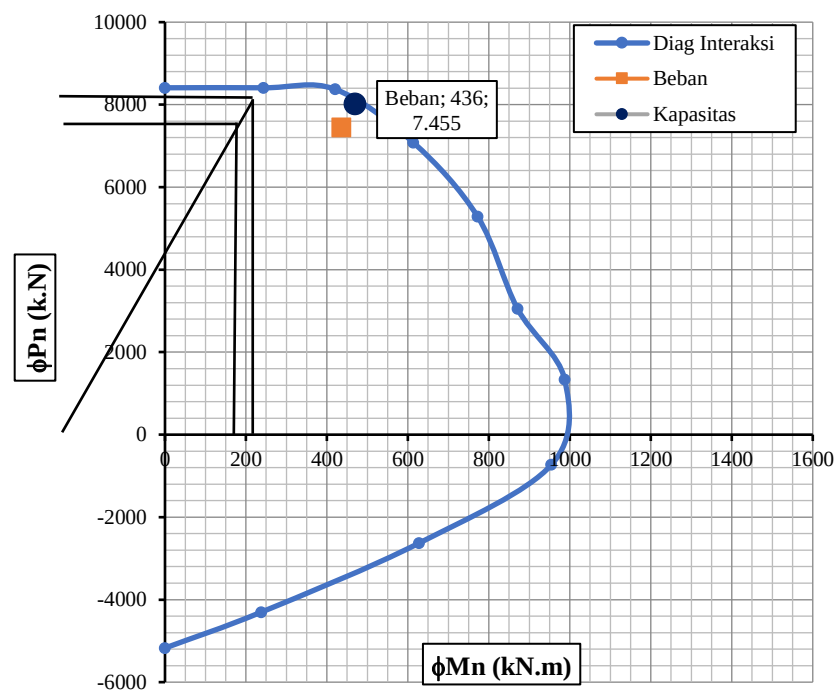
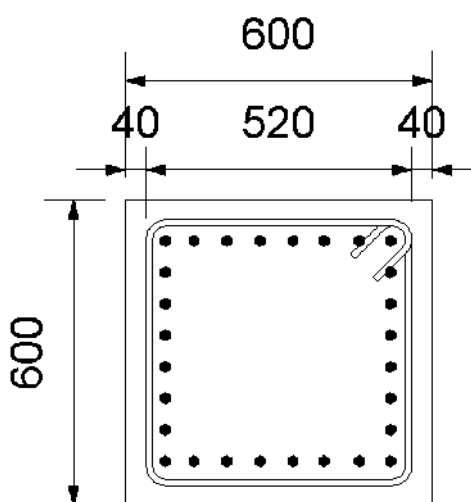
**Gambar 4. 36 Diagram Interaksi Kolom 3 Arah-y**
Sumber : Hasil Analisis

Diagram interaksi kolom 1 Arah-x dan Arah-y pada gambar tersebut merupakan representasi grafis dari hubungan antara kapasitas aksial (ϕP_n) dan kapasitas momen (ϕM_n) yang menjadi dasar evaluasi kinerja elemen struktur terhadap kombinasi beban aksial dan lentur. Kolom persegi 650 mm $\times$ 650 mm dengan mutu beton 30 MPa dan tulangan 420 MPa ini dirancang untuk memikul beban aksial tinggi sekaligus momen lentur. Kurva cekung khas pada diagram mengindikasikan batas aman kombinasi P-M, di mana setiap titik (P_u , M_u) yang berada dalam area kurva menunjukkan kondisi aman. Parameter kritis seperti rasio beban ($\phi P_n/P_u$ dan $\phi M_n/M_u$) perlu diverifikasi untuk memastikan kecukupan kapasitas, khususnya terhadap pembebanan gempa yang memerlukan pemeriksaan tambahan untuk daktilitas dan detail penulangan confinement. Hasil analisis ini menjadi dasar pertimbangan untuk optimasi desain, terutama jika ditemukan rasio beban melebihi 1 atau diperlukan peningkatan kinerja terhadap pembebanan dinamis. Visualisasi grafik dengan sumbu vertikal ϕP_n dan horizontal ϕM_n secara jelas menampilkan karakteristik performa kolom yang khas untuk elemen beton bertulang, dengan puncak kurva pada zona balance point.

– **Kolom 4**



Gambar 4. 37 Detail Kolom 4

Sumber: Hasil Analisis

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$P_u = 7454,74 \text{ kN}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Sengkang (d}_{sk}) = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan (dt)} = 22 \text{ mm}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-x} = 8 \text{ buah}$$

$$\sum \text{Tulangan Arah-y} = 8 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} d' &= \frac{s + d_{sk} + dt}{2} \\ &= 40 + 13 + \frac{22}{2} \\ &= 64 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= h - d' \\ &= 600 - 64 \\ &= 536 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= h - d' \\ &= 600 - 64 \\ &= 536 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan Arah-x} &= \frac{b - 2 \cdot d'}{(\sum \text{Tulangan Arah-y})} \\ &= \frac{600 - 2 \cdot 64}{8 - 1} \\ &= 67 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 67 - 22 = 45 \text{ Ok Telah Memenuhi}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Tulangan Arah-y} &= \frac{b - 2 \cdot d'}{(\sum \text{Tulangan Arah-x})} \\ &= \frac{600 - 2 \cdot 64}{8 - 1} \\ &= 67 \end{aligned}$$

$$\text{Min Spasi} = 67 - 22 = 45 \text{ Ok Telah Memenuhi}$$

$$\begin{aligned}
 \sum \text{Tulangan} &= 2 \cdot ((\sum \text{Tulangan Arah-y} - 2) + (\sum \text{Tulangan Arah-y} - 2)) + 4 \\
 &= 2 ((8 - 2) + (8 - 2)) + 4 \\
 &= 28 \text{ Buah}
 \end{aligned}$$

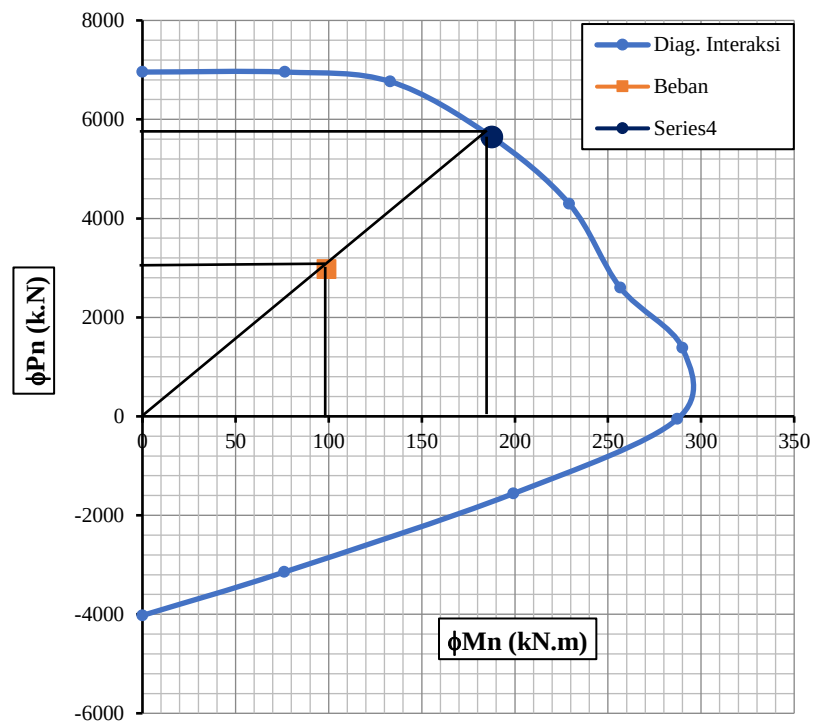
$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{\sum \text{Tulangan} \cdot \pi \cdot dt^2}{4} \\
 &= \frac{28 \cdot 3,14 \cdot 22^2}{4} \\
 &= 10.643,7 \text{ mm}^2 \\
 &= \left(\frac{10.643,7}{600 \cdot 600} \right) \% \\
 &= 2,96 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,1 \cdot A_g \cdot f_c &= \frac{0,1 \times 600 \times 600 \times 30}{1.000} \\
 &= 1080 \text{ kN} < P_u
 \end{aligned}$$

Tabel 4.32 Diagram Interaksi Kolom 4 Arah-x

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M3 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	6957	0	98,87	2974,40	5644	188	0,527
2	6957	76,52					
3	6764	133,1					
4	5682	186,2					
5	4294	229,2					
6	2599	256,6					
7	1381	289,9					
8	-54,1	287,3					
9	-1561	199,2					
10	-3146	76,2					
11	-4023	0					

Sumber : Hasil Analisis

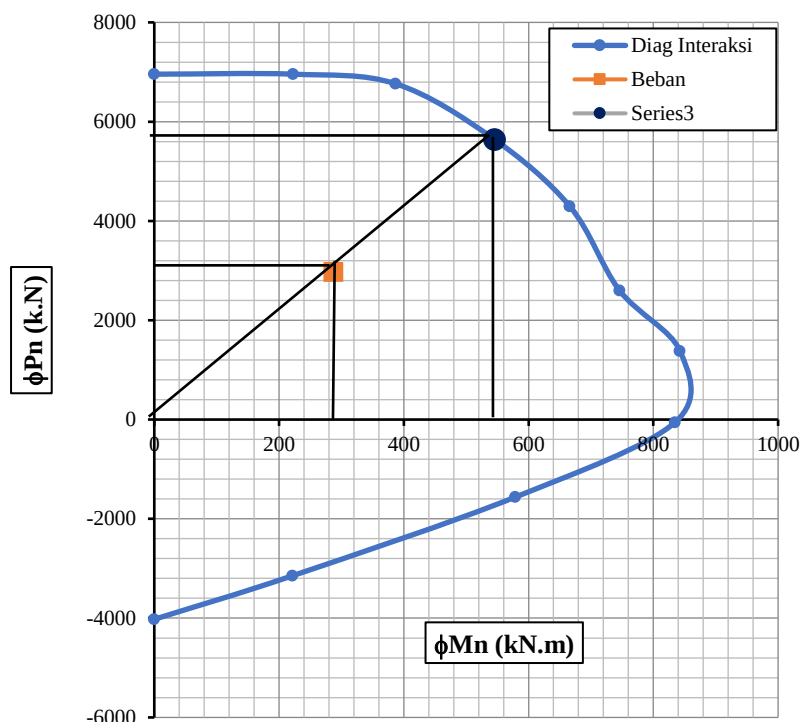


Gambar 4.38 Diagram Interaksi Kolom 4 Arah-x
Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4. 33 Diagram Interaksi Kolom 4 Arah-y

Point	Diagram Interaksi		Beban Terfaktor		Kapasitas		
	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	M2 kN.m	Pu kN	ϕP_n kN	ϕM_n kN.m	Rasio
1	6957	0	287,34	2974,40	5644	545	0,527
2	6957	222,4					
3	6764	386,9					
4	5682	541,1					
5	4294	666,2					
6	2599	745,8					
7	1381	842,7					
8	-54,1	834,9					
9	-1561	578,8					
10	-3146	221,5					
11	-4023	0					

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.39 Diagram Interaksi Kolom 4 Arah-y

Sumber : Hasil Analisis

Diagram interaksi kolom 1 Arah-x dan Arah-y pada gambar tersebut merupakan representasi grafis dari hubungan antara kapasitas aksial (ϕP_n) dan kapasitas momen (ϕM_n) yang menjadi dasar evaluasi kinerja elemen struktur terhadap kombinasi beban aksial dan lentur. Kolom persegi 600 mm $\times$ 600 mm dengan mutu beton 30 MPa dan tulangan 420 MPa ini dirancang untuk memikul beban aksial tinggi sekaligus momen lentur. Kurva cekung khas pada diagram mengindikasikan batas aman kombinasi P-M, di mana setiap titik (P_u , M_u) yang berada dalam area kurva menunjukkan kondisi aman. Parameter kritis seperti rasio beban ($\phi P_n/P_u$ dan $\phi M_n/M_u$) perlu diverifikasi untuk memastikan kecukupan kapasitas, khususnya terhadap pembebanan gempa yang memerlukan pemeriksaan tambahan untuk daktilitas dan detail penulangan confinement. Hasil analisis ini menjadi dasar pertimbangan untuk optimasi desain, terutama jika ditemukan rasio beban melebihi 1 atau diperlukan peningkatan kinerja terhadap pembebanan dinamis. Visualisasi grafik dengan sumbu vertikal ϕP_n dan horizontal ϕM_n secara

jelas menampilkan karakteristik performa kolom yang khas untuk elemen beton bertulang, dengan puncak kurva pada zona balance point.

C. Kapasitas Geser Kolom

– Kolom 1

$$f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

$$b = 850 \text{ mm}$$

$$h = 850 \text{ mm}$$

$$d_x = 786 \text{ mm}$$

$$d_y = 786 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Kolom (Ag)} &= b \times h \\ &= 850 \times 850 \\ &= 722500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan Sengkang} = 13 \text{ mm}$$

$$P_u = 8.435,08 \text{ kN}$$

$$V_{u-x} = 143,34 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_{u-y} &= 189,97 \text{ kN} \\ &= 0,75 \end{aligned}$$

– Geser Arah X

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{P_u}{14.A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c^{0,5}}}{6} \cdot b \cdot d_x$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{8.435,08}{14.72225000} \right) \cdot \frac{\sqrt{30^{0,5}}}{6} \cdot 850 \cdot 786 : 1.000 \\ &= 457,80 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung ϕV_s :

$$\text{Tulangan Geser Terpasang} = 5D13 - 100$$

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi .dsk^2}{4} \\
 &= \frac{5.3,14.13^2}{4} \\
 &= 663,66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_s &= \phi . \frac{A_v.f_y.dx}{s} \\
 &= 0,75 . \frac{663,66 .420.786}{100} : 1000 \\
 &= 1564,91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 457,80 + 1564,91 \\
 &= 2.022,71 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_n = 2.022,71 \text{ kN} > V_u - x \quad \text{Ok Telah Memenuhi}$$

– Geser Arah Y

Hitung ϕV_c :

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{P_u}{14.A_g} \right) . \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} . b . dx \\
 \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{8.435,08}{14.72225000} \right) . \frac{\sqrt{30}^{0,5}}{6} . 850.786 : 1.000 \\
 &= 457,80 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 5D13 – 100

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi .dsk^2}{4} \\
 &= \frac{5.3,14.13^2}{4} \\
 &= 663,66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_s &= \phi . \frac{A_v.f_y.dx}{s} \\
 &= 0,75 . \frac{663,66 .420.786}{100} : 1.000 \\
 &= 1.643,16 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 457,80 + 1.643,16 \\ &= 2.100,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_n = 2.100,96 \text{ kN} > V_{u-y} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}$$

– **Pengekangan Kolom (Confinement)**

$$\begin{aligned} \text{Lebar Inti (} b_c \text{)} &= b - (2 \cdot s + ds) \\ &= 850 - (2 \cdot 40 + 13) \\ &= 757 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Inti (} h_c \text{)} &= h - (2 \cdot s + ds) \\ &= 850 - (2 \cdot 40 + 13) \\ &= 757 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Inti (} A_{ch} \text{)} &= 757 \times 757 \\ &= 573049 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan Sengkang Arah-x (arah lebar kolom):

$$\begin{aligned} A_{sh1}/s_x &= 0,3 \cdot \left(\frac{h_c \cdot f_c}{f_{yh}} \right) \cdot \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \cdot \left(\frac{757 \cdot 30}{420} \right) \cdot \left(\frac{722500}{573049} - 1 \right) \\ &= 4,23 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh2}/s_x &= 0,09 \cdot \left(\frac{h_c \cdot f_c}{f_{yh}} \right) \\ &= 0,09 \cdot \left(\frac{757 \cdot 30}{420} \right) \\ &= 3,87 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Tulangan Geser = 4 D13 – 100 mm

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_v/s_x &= \text{Tul. Geser} : 100 \\ &= 4 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 13^2}{4} \right) : 100 \\ &= 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,58 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \text{Tul. Geser. } \pi \cdot \frac{dsk^2}{4} \cdot f_{yh} \left(\frac{d}{100} \right): 1.000 \\
 &= (4 \times 3,14 \times \left(\frac{12^2}{4} \right) \times 420 \times \left(\frac{837}{100} \right): 1.000 \\
 &= 1.306,72 \text{ kN} < V_{\text{maks}} = 1.390,85 \text{ kN} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}
 \end{aligned}$$

Tulangan Sengkang Arah-y (arah tinggi kolom) :

$$\begin{aligned}
 A_{sh1}/s_x &= 0,3 \cdot \left(\frac{hc \cdot fc}{f_{yh}} \right) \cdot \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right). \\
 &= 0,3 \cdot \left(\frac{757 \cdot 30}{420} \right) \cdot \left(\frac{722500}{573049} - 1 \right). \\
 &= 4,23 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

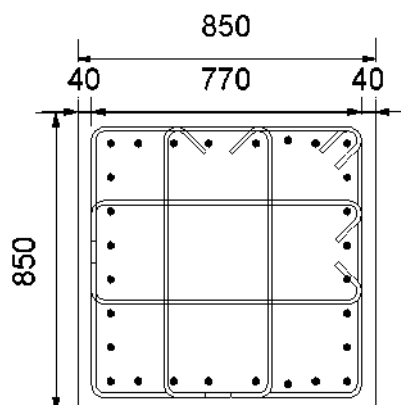
$$\begin{aligned}
 A_{sh2}/s_x &= 0,09 \cdot \left(\frac{hc \cdot fc}{f_{yh}} \right) \\
 &= 0,09 \cdot \left(\frac{757 \cdot 30}{420} \right) \\
 &= 4,87 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan Geser = 4 D13 – 100 mm

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_v/s_x &= \text{Tul. Geser} \cdot \left(\frac{\pi \cdot dsk^2}{4} \right): 100 \\
 &= 4 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 13^2}{4} \right): 100 \\
 &= 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 4,87 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \text{Tul. Geser. } \pi \cdot \frac{dsk^2}{4} \cdot f_{yh} \left(\frac{d}{100} \right): 1.000 \\
 &= (4 \times 3,14 \times \left(\frac{13^2}{4} \right) \times 420 \times \left(\frac{837}{100} \right): 1.000 \\
 &= 1.752,70 \text{ kN} < V_{\text{maks}} = 2439,56 \text{ kN} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.40 Confinement K1
Sumber : Hasil Analisis

– **Kolom 2**

$$f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$dx = 736 \text{ mm}$$

$$dy = 736 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Kolom (A}_g\text{)} &= b \times h \\ &= 800 \times 800 \\ &= 640000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan Sengkang} = 13 \text{ mm}$$

$$P_u = 3233,69 \text{ kN}$$

$$V_{u-x} = 185,68 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_{u-y} &= 287,79 \text{ kN} \\ &= 0,75 \end{aligned}$$

– **Geser Arah X**

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{Pu}{14.Ag} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c^{0,5}}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{3233,69}{14.640000} \right) \cdot \frac{\sqrt{30^{0,5}}}{6} \cdot 800.736 : 1.000 \\ &= 403,27 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung ϕV_s :

Tulangan Geser Terpasang = 5D13 – 100

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi .d_{sk}^2}{4} \\ &= \frac{5 .3,14 .13^2}{4} \\ &= 663,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v.f_y.d_x}{s} \\ &= 0,75 \cdot \frac{663,66 .420.736}{100} : 1000 \\ &= 1465,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi V_n &= V_c + V_s \\ &= 403,27 + 1465,36 \\ &= 1.868,63 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 1.868,63 \text{ kN} > V_{u-x} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}$$

– **Geser Arah Y**

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{Pu}{14.Ag} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c^{0,5}}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{3233,69}{14.640000} \right) \cdot \frac{\sqrt{30^{0,5}}}{6} \cdot 800.736 : 1.000 \\ &= 403,27 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 5D13 – 100

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi .d_{sk}^2}{4} \\
 &= \frac{5.3,14.13^2}{4} \\
 &= 663,66 \text{ mm}^2 \\
 \phi V_s &= \phi . \frac{A_v.f_y.d_x}{s} \\
 &= 0,75. \frac{663,66.420.736}{100} : 1.000 = 1.465,36 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= V_c + V_s \\
 &= 403,27 + 1.465,36 \\
 &= 1.868,63 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$\phi V_n = 1.868,63 \text{ kN} > V_{u-y}$ **Ok Telah Memenuhi**

– **Pengekangan Kolom (Confinement)**

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar Inti (} b_c \text{)} &= b - (2 \cdot s + d_s) \\
 &= 800 - (2 \cdot 40 + 13) \\
 &= 707 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi Inti (} h_c \text{)} &= h - (2 \cdot s + d_s) \\
 &= 800 - (2 \cdot 40 + 13) \\
 &= 707 \text{ mm} \\
 \text{Luas Inti (} A_{ch} \text{)} &= 707 \times 707 \\
 &= 499849 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan Sengkang Arah-x (arah lebar kolom) :

$$\begin{aligned}
 A_{sh1}/s_x &= 0,3. \left(\frac{h_c.f_c}{f_y h} \right). \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\
 &= 0,3. \left(\frac{707.30}{420} \right). \left(\frac{640000}{499849} - 1 \right) \\
 &= 4,25 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh2}/s_x &= 0,09 \cdot \left(\frac{h_c \cdot f_c}{f_{yh}} \right) \\
 &= 0,09 \cdot \left(\frac{707 \cdot 30}{420} \right) \\
 &= 4,55 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan Geser = 4 D13 – 100 mm

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 A_v/s_x &= \text{Tul. Geser} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d s k^2}{4} \right) : 100 \\
 &= 4 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 13^2}{4} \right) : 100 \\
 &= 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 4,77 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \text{Tul. Geser} \cdot \pi \cdot \frac{d s k^2}{4} \cdot f_{yh} \left(\frac{d}{100} \right) : 1.000 \\
 &= (4 \times 3,14 \times \left(\frac{13^2}{4} \right) \times 420 \times \left(\frac{736}{100} \right)) : 1.000 \\
 &= 1,641,21 \text{ kN} < V_{maks} = 2.149,99 \text{ kN} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}
 \end{aligned}$$

Tulangan Sengkan Arah-y (arah tinggi kolom) :

$$\begin{aligned}
 A_{sh1}/s_x &= 0,3 \cdot \left(\frac{h_c \cdot f_c}{f_{yh}} \right) \cdot \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\
 &= 0,3 \cdot \left(\frac{707 \cdot 30}{420} \right) \cdot \left(\frac{640000}{499849} - 1 \right) \\
 &= 4,25 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

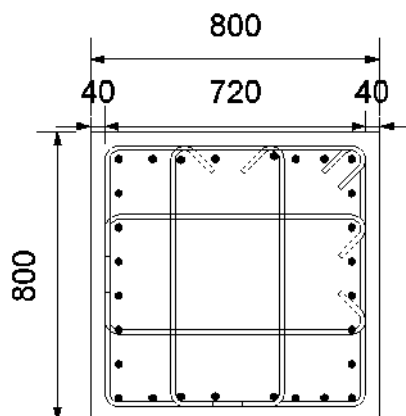
$$\begin{aligned}
 A_{sh2}/s_x &= 0,09 \cdot \left(\frac{h_c \cdot f_c}{f_{yh}} \right) \\
 &= 0,09 \cdot \left(\frac{707 \cdot 30}{420} \right) \\
 &= 4,55 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan Geser = 4 D13 – 100 mm

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 A_v/s_x &= \text{Tul. Geser} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d s k^2}{4} \right) : 100 \\
 &= 4 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 13^2}{4} \right) : 100 \\
 &= 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 4,55 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \text{Tul. Geser. } \pi \cdot \frac{d s k^2}{4} \cdot f_{yh} \left(\frac{d}{100} \right) : 1.000 \\
 &= (4 \times 3,14 \times \left(\frac{12^2}{4} \right) \times 420 \times \left(\frac{736}{100} \right) : 1.000 \\
 &= 1.641,21 \text{ kN} < V_{\text{maks}} = 2.149,99 \text{ kN} \text{ Ok Telah Memenuhi}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.41 Confinement K2
Sumber : Hasil Analisis

– **Kolom 3**

$$f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

$$b = 650 \text{ mm}$$

$$h = 650 \text{ mm}$$

$$dx = 586 \text{ mm}$$

$$dy = 586 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Luas Kolom (Ag)} = b \times h$$

$$= 650 \times 650 = 422500 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan Sengkang} = 13 \text{ mm}$$

$$P_u = 7.454,74 \text{ kN}$$

$$V_{u-x} = 159,31 \text{ kN}$$

$$V_{u-y} = 182,21 \text{ kN}$$

$$= 0,75$$

– **Geser Arah X**

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{Pu}{14.Ag} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{7454,74}{14.422500} \right) \cdot \frac{\sqrt{30}^{0,5}}{6} \cdot 650.586 : 1.000 \\ &= 261,11 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 5D13 – 100

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{Tul.Geser \cdot \pi \cdot d_{sk}^2}{4} \\ &= \frac{5 \cdot 3,14 \cdot 13^2}{4} \\ &= 663,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot dx}{s} \\ &= 0,75 \cdot \frac{663,66 \cdot 420.586}{100} : 1000 \\ &= 1.166,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \phi V_n &= V_c + V_s \\ &= 261,11 + 1.166,72 \\ &= 1.427,83 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 1.427,83 \text{ kN} > V_{u-x} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}$$

– **Geser Arah Y**

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{Pu}{14.Ag} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{7454,74}{14.422500} \right) \cdot \frac{\sqrt{30}^{0,5}}{6} \cdot 650.586 : 1.000 \\ &= 261,11 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 5D13 – 100

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi .d_{sk}^2}{4} \\ &= \frac{5 .3,14 .13^2}{4} \\ &= 663,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_s &= \phi . \frac{A_v . f_y . d_x}{s} \\ &= 0,75 . \frac{663,66 . 420 . 586}{100} : 1.000 \\ &= 1.166,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi V_n &= V_c + V_s \\ &= 261,11 + 1.166,72 \\ &= 1.427,83 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 1.427,83 \text{ kN} > V_{u-y} \text{ Ok Telah Memenuhi}$$

– **Pengekangan Kolom (Confinement)**

$$\begin{aligned} \text{Lebar Inti (} b_c \text{)} &= b - (2 . s + d_s) \\ &= 650 - (2 . 40 + 13) \\ &= 557 \text{ mm} \\ \text{Tinggi Inti (} h_c \text{)} &= h - (2 . s + d_s) \\ &= 650 - (2 . 40 + 13) \\ &= 557 \text{ mm} \\ \text{Luas Inti (} A_{ch} \text{)} &= 557 \times 557 \\ &= 310249 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan Sengkang Arah-x (arah lebar kolom) :

$$\begin{aligned} A_{sh1}/s_x &= 0,3 \cdot \left(\frac{h_c \cdot f_c}{f_{yh}} \right) \cdot \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \cdot \left(\frac{557 \cdot 30}{420} \right) \cdot \left(\frac{422500}{310249} - 1 \right) \\ &= 4,32 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh2}/s_x &= 0,09 \cdot \left(\frac{h_c \cdot f_c}{f_{yh}} \right) \\ &= 0,09 \cdot \left(\frac{557 \cdot 30}{420} \right) \\ &= 3,58 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Tulangan Geser = 4 D13 – 100 mm

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_v/s_x &= \text{Tul. Geser} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d s k^2}{4} \right) : 150 \\ &= 4 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 13^2}{4} \right) : 150 \\ &= 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,58 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ **Ok Telah Memenuhi**} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \text{Tul. Geser} \cdot \pi \cdot \frac{d s k^2}{4} \cdot f_{yh} \left(\frac{d}{100} \right) : 1.000 \\ &= (4 \times 3,14 \times \left(\frac{13^2}{4} \right) \times 420 \times \left(\frac{586}{100} \right) : 1.000 \\ &= 1.306,72 \text{ kN} < V_{maks} = 1.390,85 \text{ kN} \text{ **Ok Telah Memenuhi**} \end{aligned}$$

Tulangan Sengkang Arah-y (arah tinggi kolom) :

$$\begin{aligned} A_{sh1}/s_x &= \text{Tul. Geser} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d s k^2}{4} \right) : 150 \\ &= 4 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 13^2}{4} \right) : 150 \\ &= 4,32 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

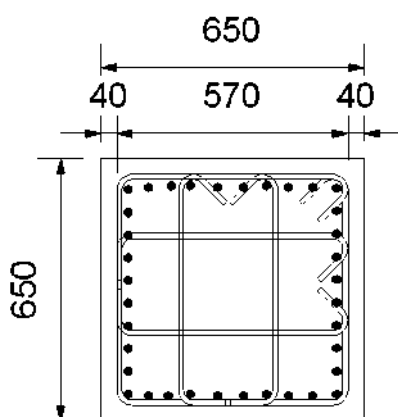
$$\begin{aligned} A_{sh2}/s_x &= 0,09 \cdot \left(\frac{h_c \cdot f_c}{f_{yh}} \right) \\ &= 0,09 \cdot \left(\frac{557 \cdot 30}{420} \right) \\ &= 3,58 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Tulangan Geser = 4 D13 – 100 mm

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_v/s_x &= \text{Tul. Geser} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d s k^2}{4} \right): 150 \\
 &= 4 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 13^2}{4} \right): 150 \\
 &= 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,58 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \text{Tul. Geser} \cdot \pi \cdot \frac{d s k^2}{4} \cdot f_{yh} \left(\frac{d}{100} \right): 1.000 \\
 &= (4 \times 3,14 \times \left(\frac{13^2}{4} \right) \times 420 \times \left(\frac{586}{100} \right): 1.000 \\
 &= 1.306,72 \text{ kN} < V_{\text{maks}} = 1390,85 \text{ kN} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.42 Confinement K3
Sumber : Hasil Analisis

– **Kolom 4**

$$f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_{yh} = 420 \text{ Mpa}$$

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$dx = 536 \text{ mm}$$

$$dy = 536 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton (s)} = 40 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Kolom (Ag)} &= b \times h \\
 &= 600 \times 600 \\
 &= 360000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan Sengkang} = 13 \text{ mm}$$

$$P_u = 2.974,40 \text{ kN}$$

$$V_{u-x} = 171,78 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_{u-y} &= 198,73 \text{ kN} \\
 &= 0,75
 \end{aligned}$$

– **Geser Arah X**

Hitung ϕV_c :

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{P_u}{14.A_g} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}^{0,5}}{6} \cdot b \cdot dx \\
 \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{7454,74}{14.422500} \right) \cdot \frac{\sqrt{30}^{0,5}}{6} \cdot 600.536 : 1.000 \\
 &= 220,31 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 5D13 – 100

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{Tul.Geser.\pi.d_{sk}^2}{4} \\
 &= \frac{5.3,14.13^2}{4} \\
 &= 663,66 \text{ mm}^2 \\
 \phi V_s &= \phi \cdot \frac{A_v.f_y.d_x}{s} \\
 &= 0,75 \cdot \frac{663,66.400.536}{100} : 1000 \\
 &= 1.067,17 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= V_c + V_s \\
 &= 220,31 + 1.067,17 \\
 &= 1.287,48 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 1.287,48 \text{ kN} > V_{u-x} \text{ OK Telah Memenuhi}$$

– **Geser Arah Y**

Hitung ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{Pu}{14.Ag} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_c^{0,5}}}{6} \cdot b \cdot dx$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \left(1 + \frac{7454,74}{14.422500} \right) \cdot \frac{\sqrt{30^{0,5}}}{6} \cdot 600.536 : 1.000 \\ &= 220,31 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitung V_s :

Tulangan Geser Terpasang = 5D13 – 100

$$A_v = \frac{Tul.Geser \cdot \pi \cdot d_{sk}^2}{4}$$

$$= \frac{5 \cdot 3,14 \cdot 13^2}{4}$$

$$= 663,66 \text{ mm}^2$$

$$\phi V_s = \phi \cdot \frac{A_v \cdot f_y \cdot dx}{s}$$

$$= 0,75 \cdot \frac{663,66 \cdot 420.536}{100} : 1.000$$

$$= 1.067,17 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

$$= 220,31 + 1.067,17$$

$$= 1.287,48 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 1.287,48 \text{ kN} > V_{u-y} \text{ Ok Telah Memenuhi}$$

– **Pengekangan Kolom (Confinement)**

$$\text{Lebar Inti (b}_c\text{)} = b - (2 \cdot s + d_s)$$

$$= 650 - (2 \cdot 40 + 13)$$

$$= 557 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi Inti (h}_c\text{)} &= h - (2 \cdot s + d_s) \\
 &= 650 - (2 \cdot 40 + 13) \\
 &= 507 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Inti (A}_{ch}\text{)} &= 507 \times 507 \\
 &= 257049 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan Sengkang Arah-x (arah lebar kolom) :

$$\begin{aligned}
 A_{sh1}/s_x &= 0,3 \cdot \left(\frac{h_c \cdot f_c}{f_{yh}} \right) \cdot \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\
 &= 0,3 \cdot \left(\frac{507 \cdot 30}{420} \right) \cdot \left(\frac{360000}{257049} - 1 \right) \\
 &= 4,35 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh2}/s_x &= 0,09 \cdot \left(\frac{h_c \cdot f_c}{f_{yh}} \right) \\
 &= 0,09 \cdot \left(\frac{507 \cdot 30}{420} \right) \\
 &= 3,26 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan Geser = 4 D13 – 150 mm

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_v/s_x &= \text{Tul. Geser} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_s k^2}{4} \right) : 150 \\
 &= 4 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 13^2}{4} \right) : 150 \\
 &= 3,54 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,26 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \text{Tul. Geser} \cdot \pi \cdot \frac{d_s k^2}{4} \cdot f_{yh} \cdot \left(\frac{d}{100} \right) : 1.000 \\
 &= (4 \times 3,14 \times \left(\frac{13^2}{4} \right) \times 400 \times \left(\frac{536}{100} \right) : 1.000 \\
 &= 796,82 \text{ kN} < V_{maks} = 1.174,32 \text{ kN} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}
 \end{aligned}$$

Tulangan Sengkang Arah-y (arah tinggi kolom) :

$$A_{sh1}/S_x = \text{Tul. Geser} \cdot \left(\frac{\pi \cdot dsk^2}{4} \right) : 150$$

$$= 4 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 13^2}{4} \right) : 150$$

$$= 4,35 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2}/S_x = 0,09 \cdot \left(\frac{hc \cdot f_c}{f_{yh}} \right)$$

$$= 0,09 \cdot \left(\frac{507 \cdot 30}{420} \right)$$

$$= 3,26 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Tulangan Geser = 4 D13 – 150 mm

Kontrol :

$$A_v/S_x = \text{Tul. Geser} \cdot \left(\frac{\pi \cdot dsk^2}{4} \right) : 100$$

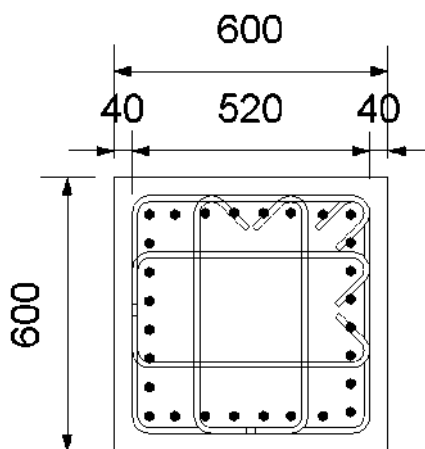
$$= 4 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 13^2}{4} \right) : 100$$

$$= 3,54 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,26 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}$$

$$V_s = \text{Tul. Geser} \cdot \pi \cdot \frac{dsk^2}{4} \cdot f_{yh} \cdot \left(\frac{d}{100} \right) : 1.000$$

$$= (4 \times 3,14 \times \left(\frac{13^2}{4} \right) \times 420 \times \left(\frac{536}{100} \right) : 1.000$$

$$= 796,82 \text{ kN} < V_{maks} = 1.174,32 \text{ kN} \text{ **Ok Telah Memenuhi**}$$



Gambar 4.43 Confinement K4
Sumber : Hasil Analisis

4.6 Pembahasan

Pada bab ini dibahas hasil analisis dan perancangan komponen struktur beton bertulang sesuai dengan ketentuan dari SNI 2847:2019 untuk beton bertulang dan SNI 1726:2019 untuk perencanaan struktur tahan gempa. Pembahasan mencakup analisis pembebanan, distribusi gaya, dimensi elemen struktural, serta verifikasi terhadap kapasitas kekuatan dan stabilitas bangunan.

1. Analisis Pembebanan

- Dari hasil analisis terhadap kombinasi pembebanan yang meliputi beban mati (*dead load*) sebesar 97.438,24 kN, beban hidup (*live load*) sebesar 31.793,64 kN, dan beban tambahan (SIDL) 71.692,24. Beban mati dihitung berdasarkan berat jenis material struktural dan non-struktural, sementara beban hidup mengacu pada fungsi ruang bangunan sesuai SNI 1727:2020.
- Dari hasil analisis terhadap beban gempa diperoleh dengan periode ragam getar dan frekuensi $T_{cx} = 2,77 \text{ second}$ dan $T_{cy} = 2.81 \text{ second}$ nilai maksimum $C_u.T_a$ yang didapat yaitu 2,046 dan memakai $T = 1,91$ dan $T = 1,99$. Pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.2 untuk waktu alami getar struktur (T) tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas periode yang dihitung. Berdasarkan hasil analisis yang didapat telah memenuhi persyaratan.

2. Rasio Model Partisipasi Massa

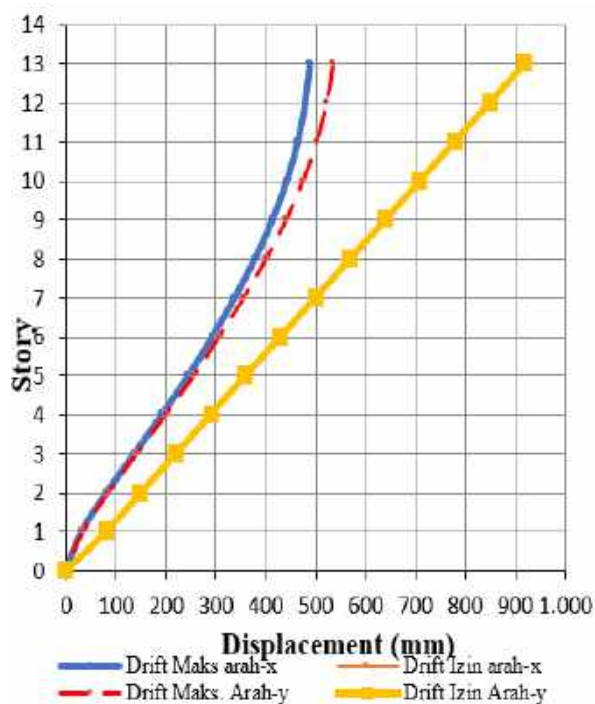
Dari hasil analisis menunjukkan bahwa pada mode ke-11 nilai partisipasi massa $\geq 90 \%$. Dengan arah pergerakan modal respon spektrum 1 arah sumbu-y, modal respon spektrum 2 arah-x, dan modal respon spektrum 3 arah-z. Pada SNI 1726:2019 pasal 7.9.4.1 analisa harus myertakan ragam terkombinasi sebesar 100%, pengecualin, Analisa diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk menncapai massa ragam terkombinasi, paling sedikit 90% dari massa actual dari masing-masing arah horizontal orthogonal yang ditinjau. Berdasarkan hasil analisis yang didapat telah memenuhi persyaratan.

3. Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

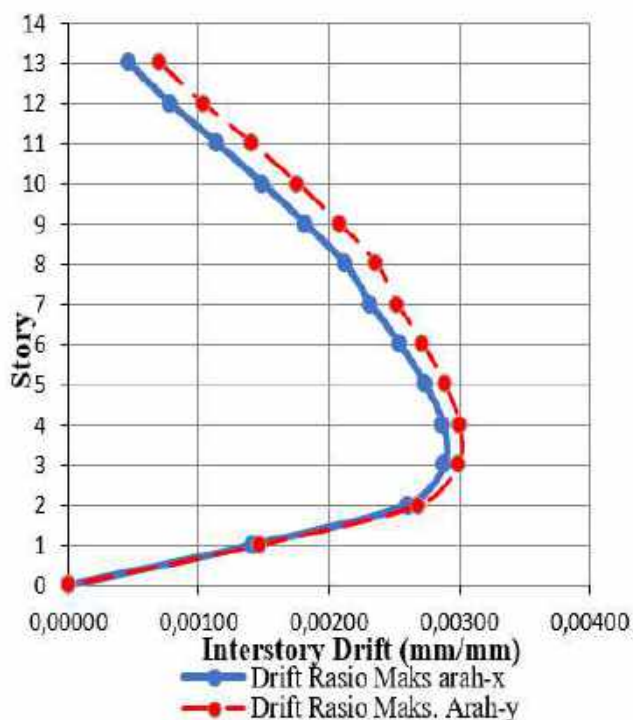
Dari hasil analisis *base shear* sesudah terkoreksi yang didapat pada V_{ny} sebesar 100% dan V_{nx} 100%. Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.4.1 bila digunakan $\geq 100\% V_n$ untuk arah x dan y. Berdasarkan periode yang didapat berarti peninjauan ragam getar memenuhi persyaratan.

4. *Story Drift*

Dari hasil analisis menunjukkan bahwa nilai simpangan antar tingkat pada sumbu arah-y dan arah-x masih di bawah batas izin menurut sni 1726 sehingga struktur dinyatakan aman terhadap simpangan story drift arah sumbu-y dan sumbu-x yang dapat dilihat pada gambar 4.44 dan 4.45.



Gambar 4.44 Grafik Displacement (mm)
Sumber : Hasil Analisis

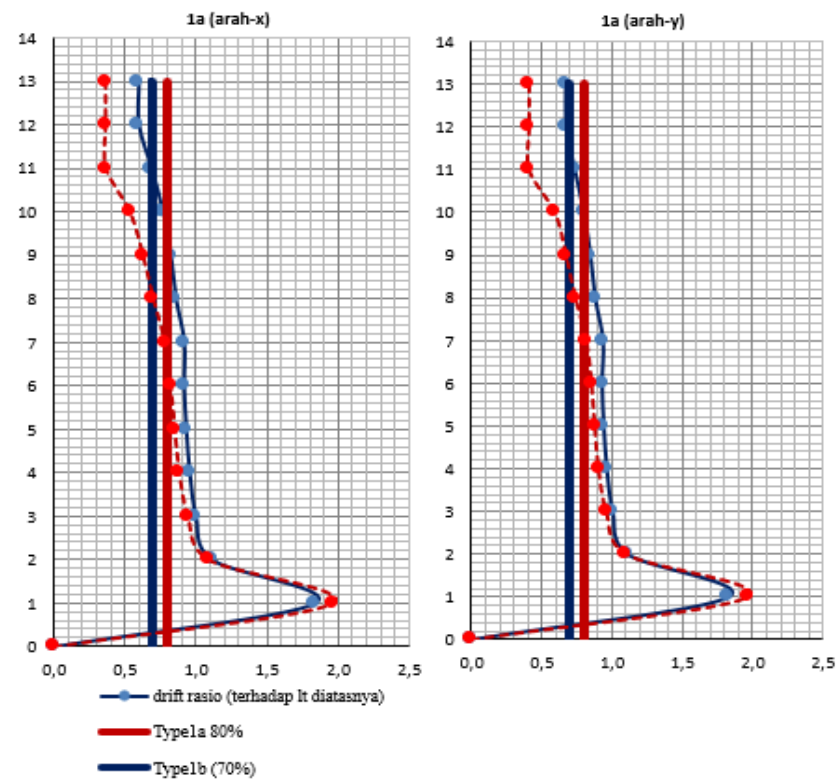


Gambar 4.45 Grafik Interstory Drift

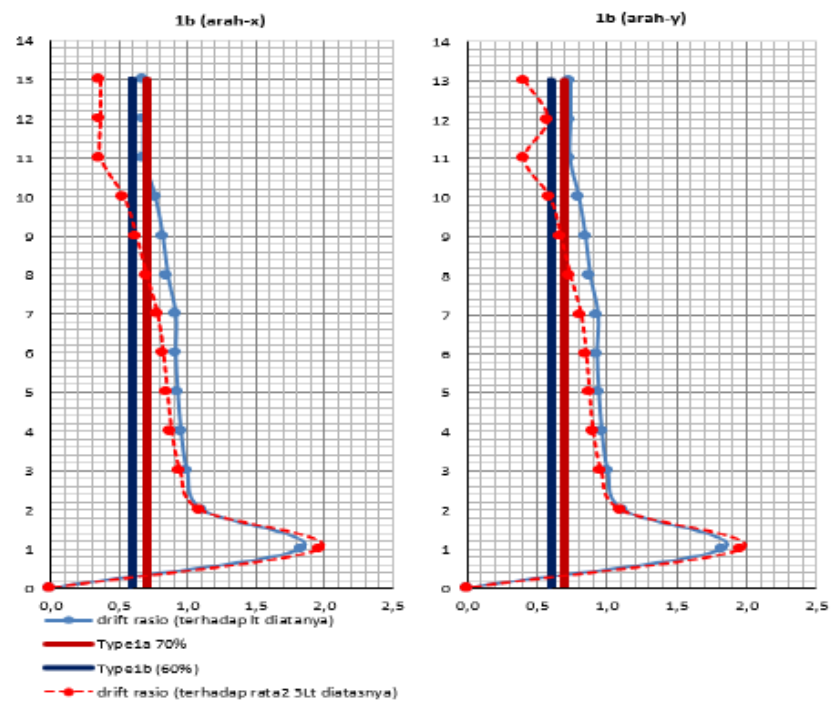
Sumber : Hasil Analisis

5. Ketidakberaturan Struktur Vertikal

Dari hasil analisis dari pemeriksaan ketidakberaturan tipe 1a merujuk pada soft story atau tingkat lemah secara lateral, di mana kekakuan lateral beberapa lantai kurang dari 70% kekakuan rata-rata dari tiga lantai di atasnya, atau kurang dari 80% kekakuan lantai di atasnya secara langsung. Sementara itu, ketidakberaturan tipe 1b berkaitan dengan perbedaan kekuatan lateral antar tingkat, di mana kekuatan suatu tingkat lebih kecil dari 80% kekuatan tingkat di atasnya. Namun demikian, SNI 1726:2019 memberikan pengecualian terhadap klasifikasi ketidakberaturan vertikal ini melalui Pasal 7.3.2.2. Pengecualian tersebut menyatakan bahwa ketidakberaturan tipe 1a dan 1b tidak dianggap berlaku jika terdapat rasio simpangan antar tingkat yang nilainya melebihi 130% dari rasio simpangan antar tingkat yang berada tepat di atasnya.



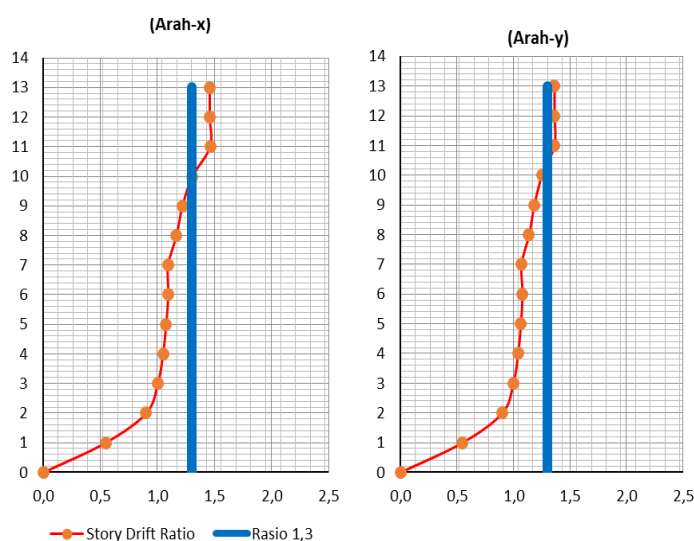
Gambar 4.46 Grafik Analisis Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4.47 Grafik Analisis Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b
Sumber : Hasil Analisis

6. Pemeriksaan Irregularitas Tipe Pengecualian

Dari hasil pemeriksaan *type 1a* dan *type 1b* yang menunjukkan bahwa struktur mengalami ketidak beraturan vertikal. Berdasarkan SNI 1726:2019 Ps 7.3.2 Tabel 16 ketidakberaturan vertikal didefinisikan jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sembarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.



Gambar 4.48 Grafik Analisis Vertical Exception
Sumber : Hasil Analisis

7. Ketidakberaturan Struktur Horizontal

Hasil analisis yang dapat dilihat bahwa hasil dari ketidak beraturan horizontal arah x maksimal adalah 1,00 dan arah y maksimal adalah 1,00. Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.3.2.1 ketidak beraturan horizontal 1a akan terjadi apabila simpangan maksimal berbanding simpangan rerata lebih besar dari 1,20 dan ketidak beraturan horizontal 1b akan terjadi apabila simpangan maksimal berbanding simpangan rerata lebih besar dari 1,40.

8. Hasil Desain Komponen Struktur

Berdasarkan hasil analisis desain komponen struktur yang mengacu pada ketentuan SNI 2847-2019. Hasil dari desain dapat dilihat pada tabel-tabel sebagai berikut :

Tabel 4.34 Hasil Analisis Struktur Plat Lantai

Keterangan	Hasil Analisis	Hasil Output ETABS	Syarat
	(kN.m)	Mu (kN.m)	$\phi M_n \geq M_u$
Tumpuan	23,43	15,39	Ok Memenuhi
Lapangan	23,43	10,33	Ok Memenuhi

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.35 Hasil Analisis Struktur Lentur Balok

Keterangan	Hasil Analisis	Hasil Output ETABS	Syarat
Kapasitas Lentur	(kN.m)	Mu (kN.m)	$\phi M_n \geq M_u$
B1 (40 x 60)			
Tumpuan	323,11	268,7256	Ok Memenuhi
Lapangan	272,39	201,49	Ok Memenuhi
B2 (25 x 40)			
Tumpuan	136,47	50,90	Ok Memenuhi
Lapangan	272,39	201,49	Ok Memenuhi
Kapasitas Geser	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
B1 (40 x 60)			
Nilai	583,48027	179,29	Ok Memenuhi
B2 (25 x 40)			
Nilai	336,37	30,61	Ok Memenuhi

Sumber : Hasil Analisis

Dari hasil analisis diatas, didapat bahwa nilai $M_n > M_u$, yang menandakan bahwa berarti balok tersebut telah memenuhi kapasitas lentur yang cukup untuk menahan momen akibat beban rencana. Untuk kapasitas geser yang didapat bahwa nilai $V_n > V_u$, yang menyatakan bahwa kapasitas geser penampang telah memenuhi persyaratan keamanan struktural sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019.

Tabel 4.36 Hasil Analisis Komponen Struktur Lentur Aksial K1 (uk. 85x85)

Keterangan	Hasil Analisis	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
	2.167,5	8.435,058	Ok Memenuhi
Kapasitas Geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
x	2.022,71	143,34	Ok Memenuhi
y	2.100,96	189,97	Ok Memenuhi
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
x	1.306,71	1.390,85	Ok Memenuhi
y	1.752,70	2.439,56	Ok Memenuhi

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.37 Hasil Analisis Komponen Struktur Lentur Aksial K2 (80x80)

Keterangan	Hasil Analisis	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
	1.920	3.233,69	Ok Memenuhi
Kapasitas Geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
x	1.868,63	185,68	Ok Memenuhi
y	1.868,63	287,79	Ok Memenuhi
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
x	1.641,21	2.149,99	Ok Memenuhi
y	1.641,21	2.149,99	Ok Memenuhi

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.38 Hasil Analisis Komponen Struktur Lentur Aksial K3 (65 x 65)

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
	1.267,5	7.454,74	Ok Memenuhi
Kapasitas Geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
x	1.427,83	159,31	Ok Memenuhi
y	1.427,83	182,21	Ok Memenuhi
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
x	1.306,72	1.390,85	Ok Memenuhi
y	1.306,72	1.390,85	Ok Memenuhi

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.39 Hasil Analisis Komponen Struktur Lentur Aksial K4 (60 x 60)

Keterangan	Hasil Analisa	Hasil output ETABS	Syarat
Penulangan Kolom			
	$0,1x A_g x f'_c$ (kN)	Pu (kN)	$0,1x A_g x f'_c < P_u$
	1.080	2.974,40	Ok Memenuhi
Kapasitas Geser			
Arah	ϕV_n (kN)	V_u (kN)	$\phi V_n > V_u$
x	1.287,48	171,78	Ok Memenuhi
y	1.287,48	198, 73	Ok Memenuhi
Confinement			
Arah	V_s (kN)	V_{maks} (kN)	$V_s < V_{maks}$
x	796,82	1.174,32	Ok Memenuhi
y	796,82	1.174,32	Ok Memenuhi

Sumber : Hasil Analisis

Dari hasil analisis kolom 1,2,3, dan 4 diatas, yang didapatkan bahwa nilai $0,1x A_g x f'_c < P_u$ dan untuk kapasitas geser kolom $V_n > V_u$, dari hasil analisis desain *confinement* nilai $V_s < V_{maks}$ yang sudah sesuai dengan persyaratan desain kolom pada SNI 2847:2019.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan terhadap hasil perancangan struktur beton bertulang bangunan hotel 13 lantai tahan gempa di Kepulauan Riau Kota Batam, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Permodelan struktur beton bertulang bangunan hotel 13 lantai telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019
2. Desain struktur beton bertulang telah memenuhi persyaratan SNI 2847:2019

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis struktur perancangan struktur beton bertulang bangunan hotel 13 lantai di Kepulauan Riau Kota Batam, berikut beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut :

1. Untuk melakukan analisis dinamik nonlinier (*pushover analysis* atau *time history analysis*) guna untuk mengevaluasi lebih detail kinerja struktur di luar batas elastis, terutama dalam skenario gempa kuat.
2. Dapat dilakukan studi lebih lanjut dengan menggunakan material baja berkekuatan lebih tinggi (*high-performance steel*) guna mengurangi dimensi elemen struktur tanpa mengorbankan kekuatan.
3. Penelitian lanjutan dapat menguji kombinasi SRPMK dengan sistem lain, seperti *shear wall* atau *bracing*, untuk meningkatkan kinerja struktur.
4. Selain gempa, disarankan untuk mempertimbangkan analisis risiko lain seperti angin atau banjir dalam perencanaan struktur.

Saran-saran di atas diharapkan untuk dapat menyempurnakan penelitian ini serta menjadi referensi bagi pengembangan bangunan tinggi tahan gempa lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
- Budiarty, I., Budiman, E., & Haryanto, B. (2022). Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Sipil MENGGUNAKAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (Studi Kasus: Hotel Fox Harris Lite di Jln . S . Parman, Kota Samarinda, Kalimantan Timur) Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Sipil. Universitas Mulawarman.
- Dan, P., Infrastruktur, P., & Gempa, T. (2010). PETA HAZARD GEMPA INDONESIA 2010 KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM Didukung oleh: Didukung oleh.
- Farlianti, S. (2012). Respon spektra gempa desain berdasarkan SNI 03-1726-2012 untuk wilayah kota Palembang.
- Irawan, H. (2015). ANALISIS STRUKTUR GEDUNG 10 LANTAI HOTEL BATIKA PALEMBANG TERHADAP BEBAN GEMPA BERDASARKAN SNI 03-1726-2019.
- Naldo, I. F. (2022). Perencanaan Struktur Atas Gedung Hotel Hidayah Padang Panjang.
- Penetapan Standar Nasional Indonesia 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur. Badan Standardisasi Nasional 1727:2020.
- Pradipta, R., Bahrudin, M., & Purwanto. (2017). Perencanaan Struktur Hotel Grandhika Semarang. Jurnal Karya Teknik Sipil.
- Raihan Daffa Hukama, & Erizal. (2023). Analisis Kekuatan Struktur Pada Bangunan 8 Lantai Berdasarkan Respon Spektrum SNI 03-1726-2019 Menggunakan SAP2000. Jurnal Teknik Sipil Dan
- Sapta. (2012). Perancangan berbasis kinerja pada struktur bangunan gedung beton bertulang akibat beban gempa.
- Sapta, S., & Farlianti, S. (2022). Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tahan Gempa Pada Tanah Sedang Dan Tanah Lunak Di Kota Palembang. TEKNIKA: Jurnal Teknik.
- Statistik, P. B. (2023). XXXXX Dalam Angka 2022 A. Badan Pusat Statistik Kabupaten Batu Bara.