

TESIS

**EVALUASI KINERJA DESAIN STRUKTUR GEDUNG
ICU, PICU DAN NICU RSUD SURADADI
KABUPATEN TEGAL**

**Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Magister Teknik (MT)**



Oleh :

**FATKHUROZAK
NIM : 20201900048**

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

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

**EVALUASI KINERJA DESAIN STRUKTUR GEDUNG
ICU, PICU DAN NICU RSUD SURADADI
KABUPATEN TEGAL**

Disusun oleh :

FATKHUROZAK

NIM : 20201900048

Telah disetujui oleh :

Tanggal, 11-8-2023

Tanggal,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

Dr. Ir. Sumirin, MS

NIK. 210202033

NIK. 220288009

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

EVALUASI KINERJA DESAIN STRUKTUR GEDUNG ICU, PICU DAN NICU RSUD SURADADI KABUPATEN TEGAL

Disusun oleh :

FATKHUROZAK
NIM : 20201900048

Dipertahankan di Depan Penguji Tanggal :
(11 Agustus 2023)

Tim Penguji :

1. Ketua



(Prof. Dr. Ir. Antonius, MT)

2. Anggota



(Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., Ph.D)

3. Anggota



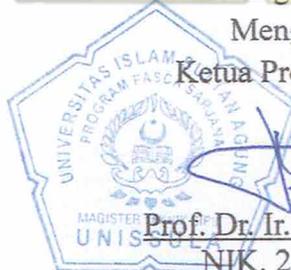
(Dr. Abdul Rochim, ST., MT)

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik (MT)

Semarang,

Mengetahui,

Ketua Program Studi




Prof. Dr. Ir. Antonius, MT
NIK. 210202033

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik




Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., Ph.D
NIK. 210293018

MOTTO

قَالَ لَهُ مُوسَى هَلْ اتَّبَعْتَ عَلَىٰ أَنْ تُعَلِّمَن مِمَّا عُلِّمْتَ رُشْدًا

Musa berkata kepadanya, “Bolehkah aku mengikutimu agar engkau mengajarkan kepadaku (ilmu yang benar) yang telah diajarkan kepadamu (untuk menjadi) petunjuk?” (QS. Al Kahfi : 66)

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ ءَامَنُوا إِذَا قِيلَ لَكُمْ تَفَسَّحُوا فِي الْمَجَالِسِ فَأَفْسَحُوا يَفْسَحِ اللَّهُ لَكُمْ وَإِذَا قِيلَ فَانشُرُوا فَانشُرُوا يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ ءَامَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

Artinya: “Hai orang-orang beriman apabila dikatakan kepadamu: “Berlapang-lapanglah dalam majelis”, maka lapangkanlah niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan: “Berdirilah kamu”, maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.” (QS. Surat Al-Mujadalah ayat: 11)

فَتَعَالَى اللَّهُ الْمَلِكُ الْحَقُّ وَلَا تَعْجَلْ بِالْقُرْآنِ مِنْ قَبْلِ أَنْ يُقْضَىٰ إِلَيْكَ وَحْيُهُ وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا

Artinya: Maka Maha Tinggi Allah Raja Yang sebenar-benarnya, dan janganlah kamu tergesa-gesa membaca Al quran sebelum disempurnakan mewahyukannya kepadamu, dan katakanlah: “Ya Tuhanku, tambahkanlah kepadaku ilmu pengetahuan”. (QS Thaha : 114)

هُوَ الَّذِي أَنْزَلَ عَلَيْكَ الْكِتَابَ مِنْهُ آيَاتٌ مُحْكَمَاتٌ هُنَّ أُمُّ الْكِتَابِ وَأُخَرُ مُتَشَابِهَاتٌ فَأَمَّا الَّذِينَ فِي قُلُوبِهِمْ زَيْغٌ فَيَتَّبِعُونَ مَا تَشَابَهَ مِنْهُ ابْتِغَاءَ الْفِتْنَةِ وَابْتِغَاءَ تَأْوِيلِهِ وَمَا يَعْلَمُ تَأْوِيلَهُ إِلَّا اللَّهُ وَالرَّاسِخُونَ فِي الْعِلْمِ يَقُولُونَ آمَنَّا بِهِ كُلٌّ مِنْ عِنْدِ رَبِّنَا وَمَا يَذَّكَّرُ إِلَّا أُولُو الْأَلْبَابِ

Artinya: Dialah yang menurunkan Al Kitab (Al Quran) kepada kamu. Di antara (isi)nya ada ayat-ayat yang muhkamaat, itulah pokok-pokok isi Al qur'an dan yang lain (ayat-ayat) mutasyaabihaat. Adapun orang-orang yang dalam hatinya condong kepada kesesatan, maka mereka mengikuti sebahagian ayat-ayat yang mutasyaabihaat daripadanya untuk menimbulkan fitnah untuk mencari-cari ta'wilnya, padahal tidak ada yang mengetahui ta'wilnya melainkan Allah. Dan orang-orang yang mendalam ilmunya berkata: “Kami beriman kepada ayat-ayat yang mutasyaabihaat, semuanya itu dari sisi Tuhan kami”. Dan tidak dapat mengambil pelajaran (daripadanya) melainkan orang-orang yang berakal. (QS. Ali Imran ayat 7).

HALAMAN PERSEMBAHAN

- Allah SWT, alhamdulillah atas segala rahmat dan hidayah-MU, Draft Tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.
- Ayah dan Ibu tercinta, atas kasih sayang dan kesabarannya dalam mendidik anaknya yang terus sabar meski anaknya belum benar, yang selalu mengajarkan untuk selalu menerima ketentuan dan ketetapan-NYA, dan mengajarkan keseimbangan antara usaha dan doa.
- Keluarga tercinta, istri dan anak-anak yang aku sayangi terima kasih atas semua doa restunya, semoga Allah SWT selalu menjaga keharmonisan keluarga ini.
- Seluruh teman-teman angkatan Magister teknik sipil Unissula.
- Rekan – rekan DPUPR yang saling bantu - membantu.
- Kepala DPUPR, Kepala bidang PBLTARU, Koordinator 1 , 2 dan 3 atas segala ijin dan kebijakannya..



ABSTRAK

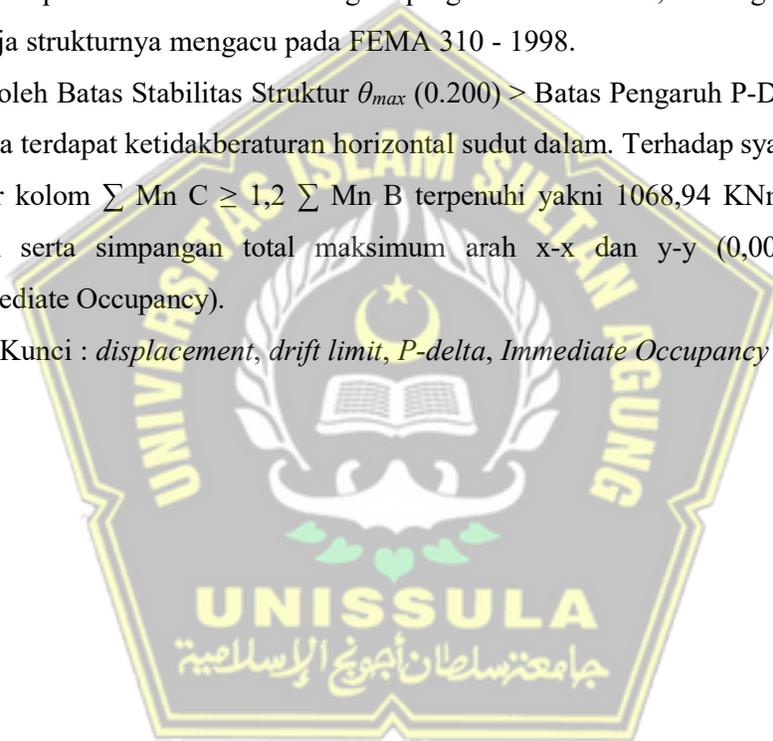
Gedung ICU, PICU, dan NICU RSUD Suradadi Kabupaten Tegal merupakan objek penelitian kami dalam mengevaluasi kinerja desain struktur.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan keamanan gedung dilihat dari nilai *Inelastic Drift*, kestabilan gedung terhadap batas pengaruh *P-delta*, ketidakberaturan struktur, keterpenuhan syarat minimum rasio M_c/M_b , serta penentuan level kinerja struktur.

Penelitian dilakukan dengan metode *analisis numeric static non linier pushover* melalui pemodelan struktur dengan program SAP 2000, sedangkan evaluasi kinerja strukturnya mengacu pada FEMA 310 - 1998.

diperoleh Batas Stabilitas Struktur θ_{max} (0.200) > Batas Pengaruh P-Delta (0.100). Hanya terdapat ketidakberaturan horizontal sudut dalam. Terhadap syarat kekuatan lentur kolom $\sum M_n C \geq 1,2 \sum M_n B$ terpenuhi yakni 1068,94 KNm > 926,781 KNm serta simpangan total maksimum arah x-x dan y-y (0,0037) < 0,01 (immediate Occupancy).

Kata Kunci : *displacement, drift limit, P-delta, Immediate Occupancy*



ABSTRACT

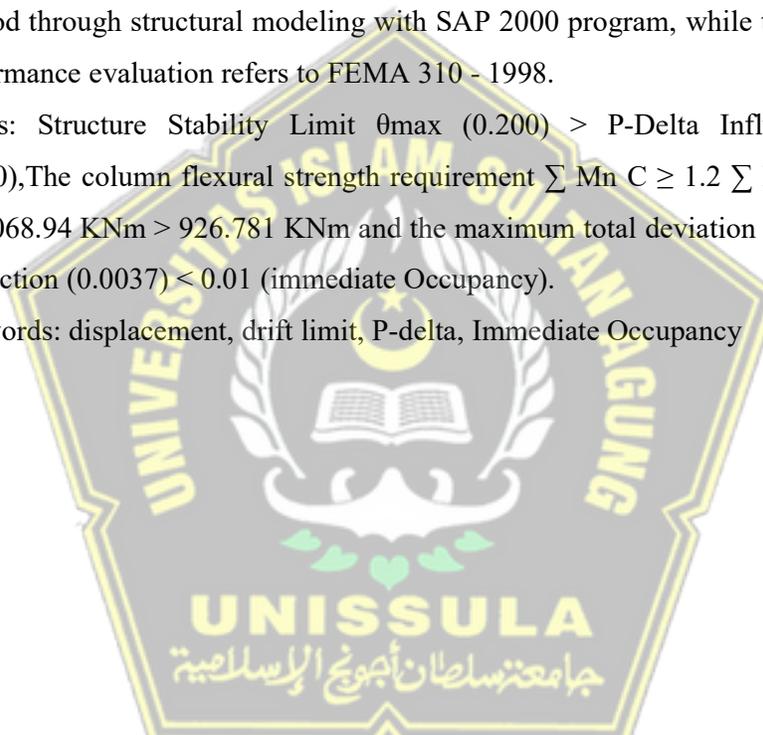
ICU, PICU, and NICU buildings of Suradadi Hospital Tegal Regency are the object of our research in evaluating structural design performance.

This research aims to determine the safety of the building as seen from the Inelastic Drift value, the stability of the building against the P-delta influence limit, structural irregularity, the fulfillment of the minimum requirement for the M_c/M_b ratio, and the determination of the structural performance level.

The research was conducted using numeric static non-linear pushover analysis method through structural modeling with SAP 2000 program, while the structural performance evaluation refers to FEMA 310 - 1998.

results: Structure Stability Limit θ_{max} (0.200) > P-Delta Influence Limit (0.100), The column flexural strength requirement $\sum M_n C \geq 1.2 \sum M_n B$ is met i.e. 1068.94 KNm > 926.781 KNm and the maximum total deviation in x-x and y-y direction (0.0037) < 0.01 (immediate Occupancy).

Keywords: displacement, drift limit, P-delta, Immediate Occupancy



KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum wr.wb

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan hidayah, dan rahmatNYA sehingga kesempatan, kenikmatan serta kemudahan terutama dalam menjalankan amanah dalam menyusun tesis yang berjudul **“Evaluasi Kinerja Desain Struktur Gedung RSUD Suradadi Kabupaten Tegal”** dapat diselesaikan. Shalawat dan salam kita haturkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, untuk keluarganya, sahabat dan para pengikutnya.

Tesis Ini merupakan syarat untuk mencapai jenjang strata dua (S2), Fakultas Teknik, Studi Program Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Tentunya masih banyak keterbatasan dalam penelitian dan penulisan tesis ini, oleh karena itu penulis mohon maaf dan semoga ada pengembangan penelitian yang lebih baik.

Proses penyusunan tesis ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dukungan serta pengarahan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini perkenankanlah penulis untuk mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada :

1. Orang tua juga keluarga yang telah mendukung dan mendoakan kami.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT selaku ketua Program studi Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Ir. M.Faiqun Ni'am, MT., Ph.D selaku sekretaris program studi Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT selaku dosen pembimbing I Penyusunan Tesis.
5. Bapak Dr. Ir. Sumirin, MT selaku Dosen Pembimbing II Penyusunan Tesis.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, karena kesempurnaan sesungguhnya milik Allah SWT semata. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat kepada penulis dan umumnya bagi para pembaca.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Semarang, Agustus 2023



Fatkhurozak

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : FATKHUROZAK
NIM : 20201900048

Dengan ini saya nyatakan bahwa Tesis yang berjudul:

EVALUASI KINERJA DESAIN STRUKTUR GEDUNG RSUD SURADADI KABUPATEN TEGAL

Adalah benar hasil karya saya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Semarang, Agustus 2023



FATKHUROZAK

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Persetujuan Seminar Hasil.....	ii
Motto	iii
Halaman Persembahan	iv
Abstrak	v
Abstract.....	vi
Surat Pernyataan Keaslian	vii
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi	ix
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xv
Arti Simbol dan Singkatan.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Ruang Lingkup	6
2.1.1 Kinerja Struktur	6
2.1.2 Analisis Statik Beban Dorong (Static Pushover Analysis)	6
2.1.3 Kurva Kapasitas (Kurva Pushover)	7
2.1.4 Kinerja Bangunan Berdasarkan (FEMA 356 - 2000)	10
2.1.5 Beban Statis	10
2.1.6 Beban Hidup.....	11
2.1.7 Beban Mati	12
2.1.8 Analisis Dinamik Linier (Time History).....	12
2.1.9 Respon Dinamik Struktur.....	13
2.1.9.1 Gempa Rencana	13
2.1.10 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Resiko Struktur Bangunan	14

2.1.11	Klasifikasi Situs	14
2.1.12	Parameter Respon Spektra Gempa Maksimum	14
2.1.13	Parameter Percepatan Spektral Desain	15
2.1.14	Spektrum Respons Desain.....	15
2.1.15	Kategori Desain Seismik.....	17
2.1.16	Bangunan Tidak Beraturan (Iregular Building).....	18
2.2	Hubungan Balok Kolom dengan SRPMK.....	22
2.2.1	Perencanaan Elemen Struktur Lentur (Balok)	22
2.2.2	Perencanaan Elemen Struktur Tekan (Kolom).....	25
2.2.3	Perencanaan Join (Hubungan Balok Kolom)	27
2.2.4	Analisis Statik Beban Dorong (Static Pushover Analysis)	27
2.2.5	Sendi Plastis	28
2.2.6	Hinges Properties Balok.....	28
2.2.7	Hinges Properties Kolom	29
2.2.8	Penentuan Letak Sendi Plastis	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1	Lokasi Penelitian	31
3.2	Prosedur Penelitian.....	32
3.3	Pengumpulan Data.....	32
3.4	Metode Penelitian.....	32
3.4.1	Penentuan Wilayah Kegempaan.....	32
3.4.2	Pemodelan struktur	33
3.4.3	Pembebanan Gempa.....	33
3.4.5	Analisis Linier Struktur Bangunan	33
3.4.6	Investigasi Komprehensif.....	35
3.5	Analisis Struktur.....	35
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		46
4.1	Data Bangunan Gedung Obyek Analisis	46
4.2	Data Koordinat Struktur Gedung	50
4.3	Kontrol Periode Natural (T) Bangunan	53

4.4	Kontrol Ketidakberaturan Struktur Gedung.....	61
4.4.1	Ketidakteraturan Horizontal	61
4.4.1.a	Ketidakteraturan torsi 1a dan 1b	63
4.4.1.b	Ketidakteraturan sudut dalam	62
4.4.1.c	Ketidakteraturan Diskontinuitas Diafragma	66
4.4.1.d	Ketidakteraturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang....	67
4.4.1.e	Ketidakteraturan Sistem Nonparalel	67
4.4.2	Ketidakteraturan Vertikal	68
4.4.2.a	Kontrol Ketidakteraturan 1a dan 1b (Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak)	71
4.4.2.b	Ketidakteraturan Berat Massa.....	72
4.4.2.c	Ketidakteraturan Geometri Vertikal.....	72
4.4.2.d	Diskontinuitas Arah Bidang Dalam Ketidakteraturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal	73
4.4.2.e	Diskontinuitas dalam ketidakteraturan kuat lateral tingkat ...	74
4.5	Analisis Penulangan Balok Kolom - SRPMK	76
4.5.1	Syarat Dimensi Penampang.....	76
4.5.2	Syarat Tulangan Lentur.....	77
4.5.3	Syarat Tulangan Transversal.....	79
4.6	Evaluasi Balok - Kolom.....	81
4.6.1	Balok B1 – 300 x 600	83
4.6.2	Balok B2 – 250 x 600	83
4.7	Evaluasi Kolom SRPMK.....	84
4.7.1	Evaluasi Kolom K1.....	84
4.7.2	Evaluasi Kolom K2.....	92
4.8	Analisis Statik Nonlinier (Pushover Analysis)	100
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		104
5.1	Kesimpulan	104
5.2	Saran	106
DAFTAR PUSTAKA.....		107
LAMPIRAN.....		110

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan Simpangan Level Kinerja Struktur	9
Tabel 2.2 Kategori Level Kinerja Struktur	10
Tabel 2.3 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum Lo dan Beban Hidup Terpusat Minimum	12
Tabel 2.4 Beban Hidup Rumah Sakit	15
Tabel 2.5 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung	15
Tabel 2.6 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa	18
Tabel 2.7 Faktor Kategori Resiko	19
Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode Pendek	22
Tabel 2.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode 1 detik	23
Tabel 2.10 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur	24
Tabel 2.11 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur	25
Tabel 4.1 Elevasi dan Ketinggian Struktur Gedung	46
Tabel 4.2 Koordinat Arah Z	50
Tabel 4.3 Koordinat Arah Y	46
Tabel 4.4 Koordinat Arah X	50
Tabel 4.5 Koefisien Situs Periode Pendek $T = 0,2$ detik S_1	51
Tabel 4.6 Koefisien Situs Periode Pendek $T = 1$ detik S_1	51
Tabel 4.7 Input Parameter Gempa (SNI 1726-2019 Pasal 6.2)	52
Tabel 4.8 Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726-2019 Pasal 4.1)	52
Tabel 4.9 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang dihitung (SNI 1726-2019 Pasal 7.8.2)	52
Tabel 4.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_1 dan X (SNI 1728-2019 Pasal 7.8.2)	53
Tabel 4.11 Simpangan Antar Tingkat Izin, Δa^{ab} (SNI 1726-2019 Pasal 7.12)	54
Tabel 4.12 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur	58
Tabel 4.13 Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan Horizontal	59

Tabel 4.13.a Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b	59
Tabel 4.13.b Ketidakberaturan Sudut Dalam.....	61
Tabel 4.13.c Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	62
Tabel 4.13.d Ketidakberaturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang....	62
Tabel 4.13.e Ketidakberaturan Sistem Nonparalel	62
Tabel 4.14 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur	65
Tabel 4.15 Prosedur Analisis yang Diizinkan	66
Tabel 4.16 Ketidakberaturan Berat (Massa).....	68
Tabel 4.17 Ketidakberaturan Geometri Vertikal	68
Tabel 4.18 Diskontinuitas Arah Bidang Dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal	69
Tabel 4.19 Diskontinuitas Dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat.	70
Tabel 4.20 Batas Simpangan Pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40 1996)	103

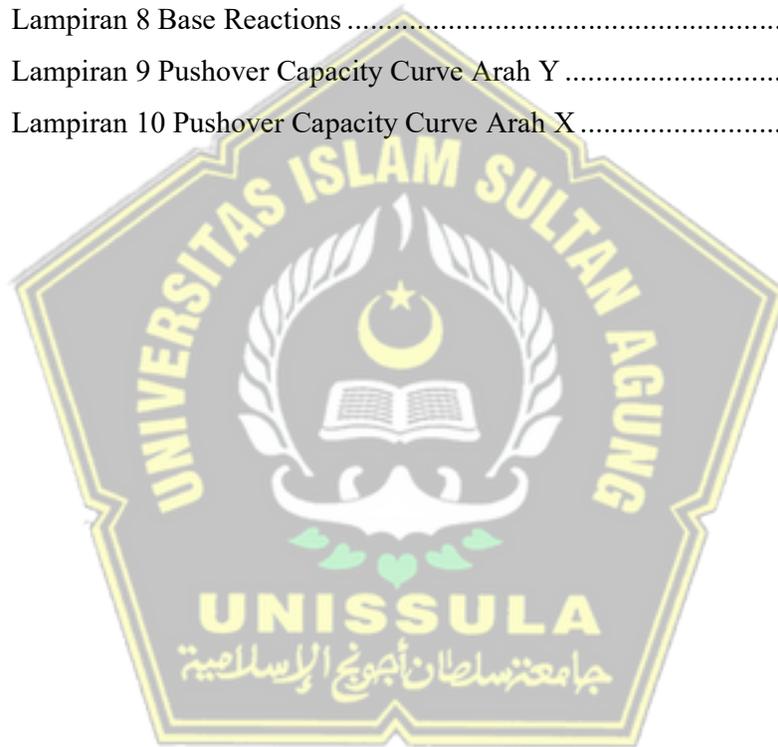


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Kapasitas	8
Gambar 2.2 Spektrum Respon Desain	22
Gambar 2.3 Bangunan Tidak Beraturan.....	24
Gambar 2.4 Konsep Perhitungan Momen Nominal Balok.....	27
Gambar 2.5 Diagram Interaksi Aksial Lentur Kolom.....	30
Gambar 2.6 Join Balok - Kolom	32
Gambar 2.7 Posisi Sumbu Lokal Balok Struktur Pada Program SAP2000	33
Gambar 2.8 Posisi Sumbu Lokal Kolom Struktur Pada Program SAP2000	34
Gambar 2.9 Posisi Sendi Plastis yang Terjadi Pada Balok dan Kolom	34
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.....	36
Gambar 3.2 Pemodelan Struktur Dengan Dengan Portal Open Frame 3D	44
Gambar 3.3 Diagram Alur Penelitian	45
Gambar 4.1 Denah Lantai 1 Gedung RSUD Suradadi.....	47
Gambar 4.2 Denah Lantai 2 Gedung RSUD Suradadi.....	47
Gambar 4.3 Denah Lantai 3 Gedung RSUD Suradadi.....	48
Gambar 4.4 Denah Dak Atap Gedung RSUD Suradadi.....	48
Gambar 4.5 Denah Atap Gedung RSUD Suradadi.....	49
Gambar 4.6 Pemodelan Struktur Dengan SAP2000 Versi 22	49
Gambar 4.7 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak.....	67
Gambar 4.8 Ketidakberaturan Berat (Massa)	68
Gambar 4.9 Ketidakberaturan Geometri Vertikal.....	69
Gambar 4.10 Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Vertikal.....	69
Gambar 4.11 Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat.....	70
Gambar 4.12 Syarat Dimensi Penampang Balok-Kolom.....	72
Gambar 4.13 Persyaratan Tulangan Lentur SRPMK.....	73
Gambar 4.14 Persyaratan Sambungan Lewatan	74
Gambar 4.15 Persyaratan Tulangan Transversal	75
Gambar 4.16 Gaya Geser Rencana Pada Komponen Struktur Lentur.....	76
Gambar 4.17 Spektrum Kapasitas Arah Y-Y pada Step 12	104
Gambar Struktur Review DED Gedung Pelayanan RSUD Suradadi	140

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Desain Spektra Suradadi	109
Lampiran 2 Perhitungan Pemenuhan syarat – syarat Balok	110
Lampiran 3 Join Koordinat.....	119
Lampiran 4 Respon Spektrum Model Information.....	120
Lampiran 5 Modal Periods and Frequencies	121
Lampiran 6 Modal Load Participation Ratios	115
Lampiran 7 Modal Participating Mass Ratios	123
Lampiran 8 Base Reactions	124
Lampiran 9 Pushover Capacity Curve Arah Y	125
Lampiran 10 Pushover Capacity Curve Arah X.....	126



ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN

- A_c = jumlah dari luas total penampang kolom pada lantai yang ditinjau
- A_g = luas total penampang kotor
- A_s = luas tulangan tarik
- A'_s = luas tulangan tekan
- A_{st} = luas total tulangan baja, yaitu $A_s + A'_s$
- A_v = luas tulangan geser yang berada dalam jarak s
- C = nilai faktor respons gempa yang didapat dari spektrum respons gempa rencana menurut Gambar 3.17 untuk waktu getar alami (T_1)
- CQC = *complete quadratic combination*
- C_0 = koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama (*first mode participation factor*) atau berdasarkan dari FEMA 356 - 2000
- C_1 = nilai faktor respons gempa yang didapat dari spektrum respon gempa rencana menurut Gambar 2 SNI 1726-2019 untuk waktu getar alami fundamental T
- C_1 = faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier,
- C_2 = koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA 356 - 2000
- C_3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P-delta
- C_C = gaya tekan pada beton
- C_m = faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 dari FEMA 356
- C_S = gaya tekan pada tulangan
- C_t = faktor modifikasi berdasarkan rekaman gempa yang sesuai dengan tipe bangunan
- DCR = *Demand Capacity Ratio*
- D = death load (beban mati)

- DR = *drift ratio* berdasarkan quick check FEMA 154
- d' = tebal selimut beton desak
- d = tinggi efektif balok
- d_y = perpindahan (*displacement*) pada titik leleh
- d_{pi} = perpindahan maksimum
- E = beban gempa ditetapkan berdasarkan SNI-1726-2019
- E_c = modulus elastisitas beton = $4700 \sqrt{f'c}$
- E_s = modulus elastisitas baja
- EX = *earthquake* X (beban gempa arah X)
- EY = *earthquake* Y (beban gempa arah Y)
- F_a = fungsi site class dan mapped short-period spectral acceleration
- F_i = nilai distribusi beban lateral yang terjadi pada lantai tingkat i
- F_v = fungsi site class dan mapped spectral acceleration pada periode 1 detik
- f = frekuensi
- $f'c$ = kuat tekan beton (MPa)
- f_y = tegangan leleh baja tulangan (MPa)
- g = percepatan gravitasi 9.81 m/det^2
- H = tinggi dari lantai dasar sampai atap (m)
- h = tinggi tingkat (m), halaman 46
- h_n = tinggi bangunan (m)
- h_b = tinggi balok dihitung dari tepi dasar sampai ke pusat tulangan tarik
- I = faktor keutamaan gedung menurut Tabel 1 SNI 1726-2019
- I = momen inersia (cm^4)
- I_l = Faktor keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung

- I_2 = Faktor keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut
 I_p = faktor keutamaan komponen yang nilainya antara 1.00 sampai 1.5
 j = jumlah tingkat yang ditinjau
 k = kekakuan
 k = faktor modifikasi redaman yang nilainya ditentukan sesuai dengan Tabel 8.1 ATC-40
 K_i = kekakuan awal bangunan pada arah yang ditinjau
 K_e = kekakuan lateral efektif bangunan
 k_b = I/l untuk balok yang ditinjau (m^3)
 k_c = I/h untuk kolom yang ditinjau (m^3)
 L = Beban Hidup sesuai beban desain minimum SNI 1727-2020
 IO = *immadiate occupancy*
 l = jarak pusat kolom ke pusat kolom (m)
 L = panjang bentang balok (cm)
 LS = *life safety*
 M_n = kapasitas momen nominal balok
 M_u = momen pada kondisi ultimate
 M_y = momen pada kondisi leleh
 M_{yf} = momen pada kondisi leleh pertama
 m = jumlah lapisan tanah yang ada di atas batuan dasar
 m = faktor modifikasi komponen, diambil nilai 2.0 untuk bangunan yang dievaluasi dengan target level kinerja life safety, dan 1.3 untuk bangunan dengan target level kinerja Immediate Occupancy
 N = masa layan bangunan
 N = jumlah lantai
 n = jumlah tingkat
 n = nomor lantai tingkat paling atas
 n_b = angka ekivalensi
 n_a = nomor lantai tingkat paling atas

- n_c = jumlah kolom
 n_f = jumlah rangka pada arah pembebanan
 N_i = nilai hasil test penetrasi standar lapisan tanah ke-i
 N = nilai hasil test penetrasi standar tanah rata-rata
 P_{F1} = modal participation untuk mode pertama
 P_n = beban aksial
 P_{nb} = beban aksial yang berkaitan dengan keruntuhan balance
 P_{nt} = kekuatan tarik nominal penampang
 P_o = resiko gempa
 P_{ot} = gaya aksial pada kolom
 q_c = nilai tahanan konus tanah (kg/cm^2)
 Q_{CE} = Kuat yang diharapkan pada setiap komponen
 Q_e = Gaya geser elastik struktur
 Q_s = Gaya geser pada saat terjadi pelelehan pertama
 Q_{UD} = Kuat perlu akibat beban grafitasi dan beban gempa
 Q_y = Gaya geser pada titik leleh
 R = faktor reduksi gempa menurut Tabel 3 SNI 1726-2019
 R = rasio “kuat elastik perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung”
 R_{aktual} = faktor reduksi gempa aktual
 R_e = rasio “kuat elastis perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung”
 R_p = faktor modifikasi respon komponen yang nilainya bervariasi antara 1.0 sampai 5.0
 R_μ = daktilitas struktur
 r = faktor bilinear positif
 S = final score (skor akhir dalam formulir RVS FEMA 154, 2003)
 $SRSS$ = square root of the cum of squares
 S_1 = percepatan respon spectra pada periode 1 detik
 S_a = spectral acceleration (g)

S_d = spektrum simpangan (g)
 S_{d1} = spektrum respon percepatan pada periode 1.0 detik pertama (g)
 S_{ds} = spektrum respon percepatan pada periode pendek 0.2 detik (g)
 S_s = percepatan respon periode pendek S_u
 S_{ui} = kuat geser niralir lapisan tanah ke-i (kPa)
 S_u = kuat geser niralir lapisan tanah rata-rata (kPa)
 T = periode fundamental (detik)
 T = Gaya tarik pada tulangan
 T = waktu getar alami efektif yang memperhitungkan kondisi inelastis
 T_e = waktu getar efektif (detik)
 T_i = periode alami awal elastis (detik) pada arah yang ditinjau
 T_R = periode ulang gempa
 T_s = waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respons spektrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan (detik)
 t_i = tebal lapisan tanah ke-i (m)
 V = gaya lateral (KN)
 V_l = gaya geser dasar nominal sebagai respon ragam yang pertama terhadap pengaruh gempa rencana
 V_{avg} = tegangan geser rata-rata pada kolom (kN)
 V_j = gaya geser pada tingkat ke-j (KN)
 V_c = gaya geser dalam kolom (kN)
 V_c = kuat geser yang disumbangkan oleh beton, halaman 61
 V_n = kekuatan geser nominal balok
 V_s = kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser
 V_x = gaya geser dasar akibat beban elastik statik ekuivalen untuk arah-X
 V_y = gaya geser pada saat leleh, dari idealisasi kurva pushovermenjadi bilinear
 V_y = gaya geser dasar akibat beban elastik statik ekuivalen untuk arah-Y
 v_s = kecepatan rambat gelombang geser tanah (m/det)
 v_{si} = kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke-i (m/det)

- W = berat total bangunan (KN)
 W_i = berat lantai tingkat ke-i, termasuk beban hidup yang sesuai
 W_j = jumlah berat pada semua lantai diatas tingkat ke-j(KN)
 W_t = berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai
 z = tinggi dalam struktur yang diukur dari pengikatan komponen
 Z_i = ketinggian lantai tingkat ke-i diukur dari taraf penjepitan lateral
 α = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastis efektif, dimana hubungan gaya-lendutan diidealisasikan sebagai kurva bilinier
 a_y = percepatan (acceleration) pada titik leleh
 a_{pi} = percepatan (acceleration) maksimum
 α_1 = modal mass coefficient untuk mode pertama
 β_{eff} = redaman viskous efektif
 β_{eq} = redaman viskous ekivalen
 β_0 = redaman histeristik yang direpresentasikan sebagai redaman viskous ekuivalen
 β = nilai redaman pada demanspektra
 Δ_{roof} = simpangan atap
 δ_u = perpindahan (displacement) lateral ultimit
 δ_y = perpindahan (displacement) pada saat leleh
 ϵ_c = regangan desak beton
 δ_T = target perpindahan



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.

Dikarenakan dibatasi oleh aturan kedinasan yang berhubungan dengan perkuliahan yakni ketentuan tentang tidak mengganggu jalannya pekerjaan, serta paket pekerjaan di dinas kami hanya di gedung RSUD Suradadi yang memiliki bangunan dengan lantai dan luasan paling banyak, maka kami mengambil lokasi tersebut sebagai lokasi penelitian dengan maksud mengevaluasi kinerja strukturnya.

Evaluasi kinerja bangunan (*seismic Evaluation*) bertujuan untuk mengetahui pendekatan perilaku bangunan saat menerima beban rencana (beban gravitasi dan beban gempa) sehingga dapat dilakukan perkuatan jika diperlukan. *The American society of civil engineers* (ASCE) bersama dengan *Federation Emergency Management Agency* (FEMA) menerbitkan FEMA 310 yang didalamnya terdapat panduan/tahapan evaluasi seismik pada bangunan eksisting yang memiliki level kinerja IO (*Immediate Occupancy*/kerusakan ringan) atau LS (*Life Safety*/kerusakan sedang)

Indonesia adalah Salah satu negara yang termasuk kedalam daerah rawan gempa di dunia, Indonesia menempati zona tektonik yang sangat aktif karena tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya saling bertemu di wilayah indonesia dan membentuk jalur-jalur pertemuan lempeng yang kompleks (Bird, 2003).

Mengingat beberapa tahun terakhir telah banyak gempa besar yang terjadi di Indone- sia. Sebagai contoh, gempa Aceh pada tahun 2004, gempa Jogja pada tahun 2006, gempa Padang dan Bengkulu pada tahun 2007. Dari gempa tersebut menyebabkan banyak terjadi kerusakan pada struktur bangunan. Setelah dilakukan kajian yang mendalam tentang hal ini, bah- wa gempa besar yang terjadi ternyata percepatan batuan dasar lebih besar daripada percepatan batuan dasar yang telah ditetapkan dalam peta gempa SNI 1726-2019. Berdasarkan penemuan tersebut menyebabkan peta gempa SNI 1726-2019 dinilai sudah tidak sesuai lagi diaplikasikan sebagai pedoman perencanaan struktur tahan gempa.

Berbagai upaya dalam menghalau terjadinya seismik supaya tak mengakibatkan konsekuensi besar yakni memanfaatkan pendekatan struktural ialah desain harus menjalankan regulasi konstruksi yang betul serta menginput parameter seismik untuk membangun gedung menyesuaikan standarisasi sebagaimana telah ditetapkan (Budiono dan Supriatna, 2011). Bersamaan telah dikeluarkannya pembaharuan Peta Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 mengikuti iklim saat ini, harus melakukan pengkajian perbedaan spectrum respon antara peta seismik SNI 2010 dan peta gempa 2017, desain struktural ketahanan sesimik perlu memperhitungkan dampak seismik yang sudah pernah terjadi pada struktural yang nantinya direncanakan. Untuk mengantisipasi hal ini diperlukan apabila kemudian berlangsung gempa yang sama, kerusakan struktural tidak terjadi terhadap struktur yang sudah direncanakan.

SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) adalah salah satu macam sistem struktur dari pembagian SRPM. SRPMK adalah sistem rangka beton bertulang yang didesain mempunyai kapasitas daktilitas struktur maksimal.

Desain kapasitas gedung tahan gempa adalah peningkatan daktilitas elemen-elemen struktur dan perlindungan elemen-elemen struktur lain yang diharapkan dapat berperilaku elastik. Salah satu konsep desain kapasitas gedung tahan gempa adalah dengan konsep *strong column weak beam* yang termasuk di dalam rangkaian metode SRPMK. Dengan adanya desain kapasitas struktur gedung tahan gempa memungkinkan gedung tetap bertahan saat terjadi gempa bumi sehingga dapat menambah angka keamanan bagi para pengguna gedung. Namun untuk setiap struktur bangunan gedung memiliki kriteria kinerja struktur yang berbeda-beda tergantung dari lokasi, bentuk dan fungsi struktur gedung tersebut.

Gedung RSUD SURODADI TEGAL saat penelitian belum selesai dibangun dan mendapatkan kesempatan penyelesaian pekerjaan melebihi tahun anggaran selama 50 hari kalender. Gedung tersebut Terdiri dari Gedung A 2 lantai yang akan ditambahkan 1 lantai dan dihubungkan dengan Gedung B 3 lantai yang terletak di Kabupaten Tegal Jawa Tengah. Struktur atas dimodelkan sebagai open frame yang dirancang sebagai sistem rangka pemikul momen. Sistem struktur ini pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap

dan beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur.

Penelitian dilakukan dengan metode analisis numeric melalui pemodelan struktur dengan program SAP 2000, sedangkan evaluasi kinerja strukturnya mengacu pada FEMA 310, yang terdiri dari 3 tahap evaluasi antara lain : *screening*, tahap evaluasi dan tahap evaluasi terperinci.

1.2. Perumusan Masalah

Berkaitan dengan latar belakang tersebut, maka dapat diuraikan perumusan masalah dalam tesis ini adalah sebagai berikut :

- a. Apakah keamanan gedung tersebut dilihat dari nilai Inelastic Drift terhadap arah sumbu x dan arah sumbu y terhadap drift limit sudah sesuai/memenuhi syarat SNI 1726-2019 pasal 7.12?
- b. Apakah kestabilan gedung dengan mengetahui batas stabilitas struktur terhadap batas pengaruh P-delta serta koefisien stabilitas arah x dan koefisien stabilitas arah y sudah sesuai/memenuhi syarat SNI 1847-2019 pasal 6.2.1?
- c. Adakah ketidakberaturan struktur gedung terhadap ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertical?
- d. Apakah terpenuhi syarat minimum rasio M_c/M_b ?
- e. Penentuan level kinerja struktur (*Performance Based Design*) RSUD Suradadi melalui hasil analisis *static non linier pushover*

1.3. Batasan Masalah

Penelitian tesis ini menggunakan beberapa batasan masalah anatara lain :

- 1) Tahapan evaluasi terdiri dari 3 tahap (FEMA 310 - 1998) :
 - a. Tahap screening
 - b. Tahap evaluasi
 - c. Tahap evaluasi lebih rinci
- 2) Pemodelan menggunakan program SAP 2000 versi 22, untuk analisis pushover.
- 3) Kelas situs tanah berdasarkan SNI 1726-2019 ditetapkan sebagai kelas situs dan tanah lunak (SE) dengan grafik respon spektrum diambil dari website <http://rsapuskim2019.litbang.pu.go.id/>
- 4) Menentukan nilai *Design Capacity Ratio* (DCR)

- 5) Menentukan nilai rasio simpangan antar lantai
- 6) Menentukan nilai target kinerja level IO (*Immediate Occupancy*)
- 7) Menentukan nilai percepatan maksimum di tingkat penjepitan struktur dari hasil analisis *pushover*.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian tesis ini bertujuan untuk :

- a. Menentukan keamanan gedung tersebut dilihat dari nilai Inelastic Drift terhadap arah sumbu x dan arah sumbu y terhadap drift limit.
- b. Menentukan kestabilan gedung dengan mengetahui batas stabilitas struktur terhadap batas pengaruh P-delta serta koefisien stabilitas arah x dan koefisien stabilitas arah y.
- c. Menentukan ketidakberaturan struktur gedung terhadap ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertical.
- d. Menentukan keterpenuhan syarat minimum rasio Mc/Mb.
- e. Penentuan level kinerja struktur (*Performance Based Design*) RSUD Suradadi melalui hasil analisis *static non linier pushover*.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian tesis ini dibagi dalam lima bab.

Bab I Diuraikan latar belakang masalah penelitian, perumahan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

Bab II Berisi tentang teori kinerja struktur, teori analisis beban statis dan Analisis dinamik linier, desain seismic struktur, keteraturan struktur, dan displacement sesuai standar yang berlaku. Bab ini juga berisi prosedur analisis beban statis dan linier, kolom dan join (hubungan balok – kolom) menggunakan SRPMK, rasio Mc/Mb terhadap distribusi letak sendi plastis dan rasio simpangan struktur (structural drift) melalui analisis *Pushover*.

Bab III Disajikan metodologi penelitian yang menjelaskan mengenai lokasi penelitian, prosedur penelitian, pengumpulan data, metode penelitian, analisis struktur dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 V22, serta jadwal penelitian. Dengan menggunakan pedoman – pedoman antara lain :

- a. SNI 1726 – 2019 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk struktur Gedung.
- b. SNI 2847 – 2020 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
- c. SNI 1727 – 2020 Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktursni
- d. ATC 40 – 1996, *Seismic Evaluation and Retrofit of concrete buildings*
- e. FEMA 306, 1998, *Evaluation of Eartquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings*, Federal Emergency Management Agency, USA.
- f. FEMA 310, 1998, *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, USA.
- g. FEMA 356, 2000, *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

Bab IV Dipresentasikan hasil – hasil dari penelitian dan pembahasan meliputi pengecekan (beban statis dan linier, *seismic* struktur desain, keteraturan struktur, pemenuhan syarat – syarat displacement, dimensi penulangan balok kolom menggunakan SRPMK terkait pengaruh rasio M_c/M_b terhadap distribusi letak sendi plastis, Rasio simpangan struktur/*structural drift*, dan kinerja struktur melalui analisis statis *nonlinier pushover*), sesuai dengan FEMA 310 - 1998.

Bab V Memuat ringkasan hasil – hasil analisis sebagai kesimpulan serta disampaikan rekomendasi berupa saran – saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ruang Lingkup

2.1.1. Kinerja Struktur

Dewobroto, Wiryanto. (2006) menjelaskan Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000 bahwa Perencanaan struktur tahan gempa berbasis kinerja (*performance-based seismic design*) adalah proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkutan bangunan yang sudah ada, dengan pemahaman realistic terhadap resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*), kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang, analisis yang dapat memperkirakan kondisi inelastis bangunan saat gempa perlu untuk mendapatkan jaminan bahwa kinerjanya memuaskan paska gempa. Analisis kinerja dapat dilakukan dengan analisis *pushover* yang *built-in* pada program SAP2000, sedangkan titik kinerja untuk evaluasi atau studi perilaku masih harus ditentukan tersendiri. Analisa *pushover* (beban dorong statik) adalah analisa statik non-linier perilaku keruntuhan struktur bangunan terhadap gempa, sedangkan titik kinerja adalah besarnya perpindahan / *displacement* maksimum struktur saat gempa rencana.

Wibowo, Purwanto, Edy. dan Yanto, Dwi. (2010), dalam Menentukan Level Kinerja Struktur Beton Bertulang Pasca Gempa. Saat ini arah metode perencanaan tahan gempa beralih dari pendekatan kekuatan (*force based*) menuju pendekatan kinerja (*performance based*) dimana struktur direncanakan terhadap beberapa tingkat kinerja. Untuk mengetahui kinerja struktur saat menerima beban gempa, maka dibutuhkan analisis nonlinier yang sederhana tetapi cukup akurat. Salah satu cara analisis nonlinear yang dapat digunakan adalah *Capacity Spectrum Method* yang memanfaatkan analisis beban dorong statis nonlinier (*nonlinear static pushover analysis*) yang menggunakan kinerja struktur sebagai sasaran perencanaan.

2.1.2 Analisis Statik Beban Dorong (*Static Pushover Analysis*)

Analisis beban dorong (*pushover*) merupakan salah satu komponen *Performance Based Seismic Design* (PBSD) yang menjadi sarana dalam

mencari kapasitas dari suatu struktur (*Applied Tecnology Council* (ATC 40 - 1996).

Sedangkan menurut SNI 1726 - 2019, analisis statik beban dorong (*pushover*) adalah suatu analisis statik *nonlinier*, yang dalam analisisnya pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statik pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur- angsur sampai melampaui pembebanan sehingga menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca - elastik yang besar sampai mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastik.

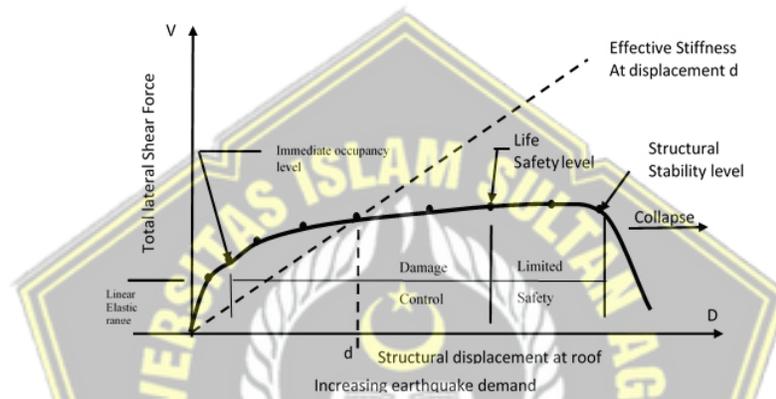
Febriana, dkk. (2015) dalam Analisis Pushover untuk Performance Based Design, struktur didorong sampai leleh dan berperilaku *nonlinear* atau plastis. Kurva kapasitas akan memperlihatkan kondisi elastis sampai kondisi plastis. Tujuan analisis beban dorong (*pushover*) adalah untuk memperkirakan gaya *deformasi* maksimum yang terjadi akibat pembebanan lateral hingga diperoleh titik kritisnya. Selanjutnya dilihat bagian – bagian yang terjadi kerusakan dan memerlukan perhatian khusus.

Metode analisis statik *pushover* merupakan metode dengan pendekatan *nonlinier* statik, yang dapat digunakan pada struktur bangunan gedung beraturan, dengan karakteristik dinamik mode tinggi yang tidak dominan. Salah satu hasil analisis yang mempunyai manfaat penting yaitu kurva kapasitas.

2.1.3 Kurva Kapasitas (Kurva *Pushover*)

Kurva kapasitas hasil dari analisis statik beban dorong menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan (*displacement*) atap akibat beban lateral yang diberikan pada struktur dengan pola pembebanan tertentu sampai pada kondisi ultimit atau target peralihan yang diharapkan. Kurva kapasitas bisa dilihat pada Gambar 2.4. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku *nonlinier*.

Perubahan perilaku struktur dari linier menjadi *nonlinier* berupa penurunan kekakuan yang diindikasikan dengan penurunan kemiringan kurva akibat terbentuknya sendi plastis pada balok dan kolom. Sendi plastis akibat momen lentur terjadi pada struktur jika beban yang bekerja melebihi kapasitas momen lentur yang ditinjau. Semakin banyak sendi plastis yang terjadi berarti kinerja struktur semakin bagus karena semakin banyak terjadi pemancaran energi melalui terbentuknya sendi plastis sebelum kapasitas struktur terlampaui (Pranata,2006 dalam Sumarwan,2010). Dalam Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Pushover Analysis



Gambar 2.1 Kurva Kapasitas (Sumber : ATC 40 - 1996)

Tujuan lain analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya geser maksimum dan perpindahan yang terjadi, serta untuk memperoleh informasi letak bagian struktur yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya.

Kinerja Bangunan Berdasarkan (ATC 40 - 1996) Dalam dokumen *Applied Tecnology Council* (ATC 40 - 1996) Tingkat kinerja sebuah bangunan menunjukkan kondisi bangunan setelah mengalami gempa. Kondisi ini dijelaskan melalui deskripsi kerusakan fisik yang dialami bangunan, tingkat bahaya akibat kerusakan yang terjadi terhadap pengguna bangunan, dan kemampuan layan bangunan pasca gempa. Tingkat kinerja bangunan diklasifikasikan menjadi beberapa kategori (ATC 40 - 1996) :

1. *Immediate Occupancy* : Bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya

vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.

2. *Damage Control* : Dalam kategori ini, pemodelan bangunan baru dengan beban gempa rencana dengan nilai beban gempa yang peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 10%.
3. *Life Safety* : Bila terjadi gempa, mulai muncul kerusakan yang cukup signifikan pada struktur, akan tetapi struktur masih dapat menahan gempa. Komponen-komponen struktur utama tidak runtuh. Bangunan dapat dipakai kembali jika sudah dilakukan perbaikan, walaupun kerusakan yang terjadi kadangkala membutuhkan biaya yang tidak sedikit.
4. *Limited Safety* : Pada kategori ini keamanan terbatas atau kondisi bangunan tidak sebaik level *life safety* dan tidak seburuk level structural stability.
5. *Structural Stability* : Level ini merupakan batas dimana struktur sudah mengalami kerusakan yang parah. Terjadi kerusakan pada struktur dan nonstruktur. Struktur tidak lagi mampu menahan gaya lateral karena penurunan.
6. *Not Considered* : Pada kategori ini, struktur sudah dalam kondisi runtuh, sehingga hanya dapat dilakukan evaluasi seismik dan tidak dapat dipakai lagi.

Batasan simpangan untuk berbagai level kinerja struktur (ATC 40 - 1996) ditampilkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Batasan simpangan level kinerja struktur

Batas simpangan Antar tingkat	Level Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01–0,02	0,02	0,33 (Vi/Pi)
Simpangan Inelastis maksimum	0,005	0,005-0,015	Tidak Dibatasi	Tidak dibatasi

(Sumber : ATC 40 - 1996)

2.1.4 Kinerja Bangunan Berdasarkan (FEMA 356 - 2000)

Menurut *Federal Emergency Management Agency* (FEMA 356 - 2000), Kinerja bangunan didapat dari kombinasi antara level kinerja struktur dan nonstruktur. Sasaran kinerja bangunan terdiri dari kejadian gempa rencana (*hazard*), dan taraf kerusakan yang diijinkan dari bangunan terhadap kejadian gempa tersebut. Kategori level kinerja struktur dijelaskan dalam Tabel 2.2

Tabel 2.2 Kategori Level Kinerja Struktur

S-1	<i>Immadiate Occupancy Level</i> (Ringan)	Bangunan menerima “tanda hijau” (aman untuk digunakan)
S-2	<i>Damage Control performance Range</i> (Aman Untuk Dihuni)	Kontrol kerusakan struktur berada diantara S-1 dan S-3 atau kategori bangunan aman untuk dihuni
S-3	<i>Life Safety Performance Level</i> (Sedang)	Struktur tetap stabil dan mempunyai kapasitas pelayanan cukup, kerusakan bagian nonstruktural masih terkontrol.
S-4	<i>Limited Safety Performance Range</i> (Keamanan Terbatas)	Kontrol kerusakan struktur berada diantara S-3 dan S-5 atau kategori bangunan dengan keamanannya terbatas.
S-5	<i>Collapse Prevention Level</i> (Berat)	Bangunan tetap berdiri, hampir runtuh, kerusakan atau kehilangan lain masih diperkenankan.

(Sumber : FEMA 356 - 2000)

2.1.5 Beban Statis

Beban yang bekerja pada suatu struktur ditimbulkan secara langsung oleh gaya-gaya alamiah dan manusia, dengan kata lain, terdapat dua sumber dasar beban bangunan: geofisik dan buatan manusia. Gaya-gaya geofisik yang dihasilkan oleh perubahan-perubahan yang senantiasa berlangsung di alam dapat dibagi menjadi gaya-gaya gravitasi, *meteorology*, dan *seismologi*. Karena gravitasi, maka berat bangunan itu sendiri akan

menghasilkan gaya struktur yang dinamakan beban mati, beban ini tetap sepanjang usia bangunan. Perubahan dalam penggunaan bangunan akan tunduk pada efek gravitasi sehingga akan menghasilkan perbedaan pembebanan sepanjang waktu tertentu. Beban *meteorology* berubah menurut waktu dan tempat serta tampil berwujud angin, suhu, kelembaban, hujan, salju, dan es. Gaya-gaya seismologi dihasilkan oleh gerak tanah yang tidak teratur, seperti gempa. Pembebanan yang sumbernya buatan manusia dapat berupa ragam kejutan yang ditimbulkan oleh kendaraan bermotor, *elevator (lift)*, mesin, dan sebagainya, atau dapat pula oleh pergerakan manusia dan barang, akibat ledakan dan benturan. Dalam melakukan analisis desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Hal penting yang mendasar adalah pemisahan antara beban-beban yang bersifat statis dan dinamis. Gaya statis adalah gaya yang bekerja secara perlahan-lahan pada struktur dan mempunyai karakter *steady-state*.

Deformasi resultan pada struktur yang di asosiasikan dengan gaya-gaya ini juga secara perlahan-lahan timbul dan juga mempunyai karakter *steady-state*. Deformasi ini akan mencapai puncaknya apabila gaya statis telah maksimum. Gaya dinamis adalah gaya yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya tidak bersifat *steady-state* dan mempunyai karakteristik besar dan lokasinya berubah dengan cepat. *Deformasi* pada struktur akibat beban ini juga berubah-ubah dengan cepat. Gaya dinamis dapat menyebabkan terjadinya osilasi pada struktur sehingga deformaasi puncak tidak terjadi bersamaan dengan terjadinya gaya terbesar. (<https://www.situstekniksipil.com> : 2017)

2.1.6 beban hidup

beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus merupakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan

gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam Tabel 2.3

2.1.7 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh elemen yang terpasang, termasuk atap, plafon, tangga, dinding, dinding partisi tetap, lantai, *finishing*, komponen arsitektural dan semua unsur yang tetap dan tidak bisa dipisahkan dengan bangunan tersebut. Berat sendiri komponen dan bahan bangunan gedung disajikan pada Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

Nama Material	Berat Isi	Satuan
Langit - langit / Plafond	0,2	KN/m ³
Pasir	14	KN/m ³
Penutup lantai (keramik) per cm tebal	0,24	KN/m ³
Penggantung langit-langit	0,07	KN/m ³
Instalasi <i>plumbing</i> dan ME	0,5	KN/m ³
Pelapis Kedap Air	0,14	KN/m ³

(Sumber : SNI 1727 - 2020)

2.1.8 Analisis dinamik linier / Analisis Riwayat Waktu Rekaman Gempa (Time History)

Analisis dinamik secara sederhana dapat didefinisikan sebagai perubahan waktu. Beban dinamik adalah setiap beban yang besarnya, arahnya atau posisinya berubah menurut waktu. Demikian juga, respons struktur terhadap beban dinamik, yaitu lendutan dan tegangan yang dihasilkan, juga perubahan waktu, atau sifat dinamik (Clough and Penzien, 1993) dalam *Dynamic of Structures*. Analisis dinamik riwayat waktu percepatan gempa (*time history*) adalah salah satu metode analisis dinamik yang digunakan dalam analisis struktur terhadap gempa. *Akeselerogram* gempa masukan yang ditinjau dalam analisis respons dinamik riwayat waktu harus diambil dari rekaman gerakan tanah akibat gempa yang didapat di suatu lokasi yang mirip kondisi *geologi*, *topografi* dan *seismotektoniknya*.

Dalam analisis dinamik linier riwayat waktu terhadap pengaruh gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal, percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan, sehingga spektrum responsnya secara rata-rata kira-kira dekat dengan level spektrum respons gempa batuan

pada rentang perioda yang signifikan dari respons struktur bangunan yang akan didesain. (Sumber : SNI 1726 – 2019).

2.1.9 Respon Dinamik Struktur

2.1.9.1 Gempa Rencana

SNI 1726 - 2019 menyatakan tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan nongedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Menurut SNI 1726 - 2019 Pasal 7.4.2 tentang pengaruh beban seismik bahwa pengaruh beban seismik terbagi dalam pengaruh beban seismik horizontal dan pengaruh beban seismik vertikal. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 dan 6, nilai E harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$E = E_h + E_v \quad (3.22)$$

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7, nilai E harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$E = E_h - E_v \quad (3.23)$$

1. Pengaruh beban seismik horizontal

Pengaruh beban seismik horizontal (E_h) harus ditentukan dengan persamaan berikut.

$$E_h = \rho Q E \quad (3.24)$$

2. Pengaruh beban seismik vertikal

Pengaruh beban seismik vertikal (E_v) harus ditentukan dengan persamaan berikut.

$$E_v = 0,2 \cdot S_{DS} \cdot D \quad (3.25)$$

dengan :

E = pengaruh beban seismik

E_h = pengaruh beban seismik horizontal

E_v = pengaruh beban seismik vertical

2.1.10 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

SNI 1726 - 2019 menyatakan untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung. Pengaruh gempa renca terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e , menurut SNI 1726 - 2019 Pasal 4.1.2 Tabel 2.6 tentang faktor keutamaan gempa. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa dapat dilihat dapat SNI 1726 - 2019 Pasal 4.1.2 Tabel 2.5 tentang kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa, serta faktor kategori resiko dapat dilihat pada table 2.7

2.1.11 Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs memberikan penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situstersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu.

Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 2.5 SNI 1726:2019 yang terbagi menjadi 6 bagian yaitu SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik).

2.1.12 Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum

Untuk penentuan respons spektrum percepatan gempa di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{ms}) dan periode 1 detik

(S_{m1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs maka ditentukan dengan persamaan 3.26 dan 3.27 sebagai berikut.

$$S_{ms} = F_a S_s \quad (\text{pasal 6.2 SNI 1726-2019 tabel 6}) \quad (3.26)$$

$$S_{m1} = F_v S_1 \quad (\text{pasal 6.2 SNI 1726-2019 tabel 7}) \quad (3.27)$$

dengan:

S_s = parameter respons spectral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek

S_1 = Parameter respons spectral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik

F_a = Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek

F_v = Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik

S_{ms} = Parameter respons spectral percepatan pada periode pendek

S_{m1} = Parameter respons spectral percepatan pada periode 1 detik

Nilai koefisien F_a dan F_v didapatkan melalui SNI 1726-2019 Pasal 6.2 Tabel 6 dan Tabel 7 tentang koefisien situs (F_a) dan koefisien situs (F_v)

2.1.13 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui persamaan 3.28 dan persamaan 3.29.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (\text{pasal 6.5 SNI 1726-2019 Tabel 2.7}) \quad (3.28)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{MS1} \quad (\text{pasal 6.5 SNI 1726-2019 Tabel 2.7}) \quad (3.29)$$

2.1.14 Spektrum Respons Desain

Spektrum respons desain harus dikembangkan sesuai dengan Gambar 3.6 sebagai berikut dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan S_{DS} , harus diambil dari persamaan berikut,

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \quad \text{pasal 6.5 SNI 1726-2019 Tabel 2.8} \quad (3.30)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan SDS ,
3. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan 3.31.

$$S_a = \frac{SD1}{T} \quad \text{Pasal 6.5 SNI 1726 – 2019 Tabel 2.8} \quad (3.31)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan 3.32

$$S_a = \frac{SD1.TL}{T^2} \quad \text{Pasal 6.5 SNI 1726 – 2019 Tabel 2.8} \quad (3.32)$$

SDS = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek,

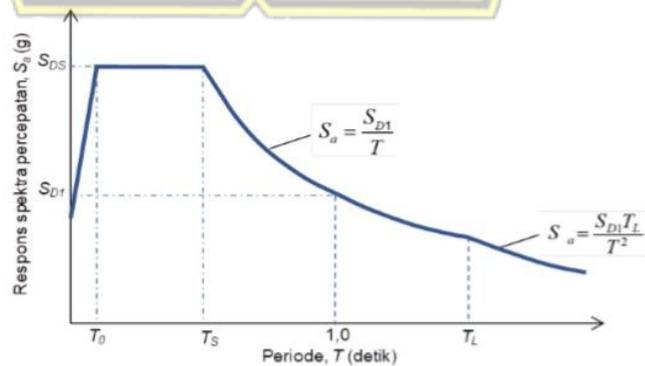
$SD1$ = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik,

T = periode getar fundamental struktur,

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS}$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS}$$

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 yang nilainya diambil Gambar 3.7.



Gambar 2.2 Spektrum respons desain (Sumber : SNI 1726-2019)

2.1.15 Kategori Desain Seismik

Struktur harus memiliki kategori desain seismik sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 6.5. Menurut SNI 1726:2019, struktur yang memiliki kategori risiko I, II, dan III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik (S_1) bernilai lebih besar atau sama dengan 0,75 maka ditetapkan sebagai struktur kategori desain seismik E dan struktur yang memiliki kategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral pada periode 1 detik bernilai (S_1) bernilai lebih besar atau sama dengan 0,75 maka ditetapkan sebagai struktur kategori desain seismik F. Bangunan struktur lainnya dapat ditentukan kategori seismiknya berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 6.5 Tabel 2.7 tentang kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek dan SNI 1726-2019 Pasal 6.5 Tabel 2.8 tentang kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.

Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

(Sumber : SNI 1726-2019)

Tabel 2. 9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

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

(Sumber : SNI 1726-2019)

Untuk menentukan periode suatu prinsip pendekatan (T_a) dalam satuan detik menurut (SNI 1726-2019) digunakan untuk menghitung

periode bangunan yang ketinggian bangunan tersebut tidak melebihi 12 tingkat, dengan N adalah jumlah tingkat bangunan, berikut ini adalah rumusnya:

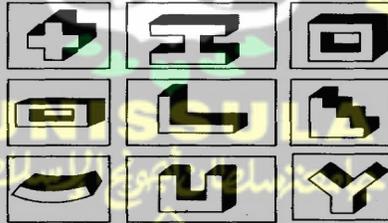
$$T_a = 0,1 N \text{ pasal 6.5 SNI 1726-2019 Tabel 2.8} \quad (2.8)$$

2.1.16 Bangunan Tidak Beraturan (*Irregular Building*)

Bangunan tidak beraturan adalah bangunan yang umumnya mempunyai lebih dari 1-massa/gatra/blok dengan denah tidak sederhana walaupun masih simetri baik simetri 2-arah maupun 1-arah (Pawirodikromo, 2012) dalam seismologi Teknik Rekayasa Kegempaan.

Walaupun denah bangunan sederhana dan simetri telah diketahui mempunyai perilaku yang baik akibat beban gempa, tetapi pada kenyataannya masih banyak bangunan tidak *regular* yang tetap dibangun. Hal ini terjadi karena beberapa alasan misalnya karena tempat (misalnya dipojok jalan), alasan arsitektural, ataupun karena alasan yang belum dimengerti. Bangunan-bangunan yang kompleks misalnya bangunan yang mempunyai denah huruf L, T, I, Z, H ataupun kombinasi dari diantaranya, berhubungan satu sama lain tanpa ada pemisah.

Contoh bangunan tidak beraturan adalah seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.3 Bangunan tidak beraturan (Pawirodikromo, 2012).

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.3.2 Ketidakberaturan struktur bangunan dapat dibedakan berdasarkan konfigurasi horizontal dan vertikal struktur bangunan tersebut seperti pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 2.10. Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

No	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan Struktur	Pasal Acuan	KDS
1a	Ketidakberaturan Torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum torsi yang dihitung termasuk tak terduga, disebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,20 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata dikedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13	D, E, F B, C, D, dan F, C, D, E, dan F, C, D, E, dan F D, E, F
1b	Ketidakberaturan Torsi Berlebih didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum torsi yang dihitung termasuk tak terduga, disebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,40 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata dikesua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13	E, F, D B, C, D C, D C, D
2	Ketidakberaturan Sudut Dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah dalam arah yang ditentukan.	7.3.3.4 Tabel 13	D, E, F D, E, F
3	Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif	7.3.3.4 Tabel 13	D, E, F D, E, F

	lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.		
4	Ketidakteraturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap elemen vertikal.	7.3.3.3. 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 13	B,C, D, E,dan F D, E, F B, C, D, E,dan F D, E, F
5	Ketidakteraturan Sisten Nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya seismik	7.5.3 7.7.3 Tabel 13	C, D, E, dan F B, C, D, E,dan FD, E, F

Sumber: SNI 1726-2019

Tabel 2.11 Ketidakteraturan Vertikal pada Struktur

No.	Tipe dan Penjelasan Ketidakteraturan Struktur	Pasal Acuan	KDS
1a	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateral kurang dari 70% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 13	D, E, F
1b	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebih didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 13	E, F D, E, F
2	Ketidakteraturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat didekatnya. Atap	Tabel 13	D, E, F

	yang lebih ringan dari lantai dibawahnya tidak perlu ditinjau.		
3	Ketidakteraturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa disemua tingkat lebih dari 130% dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.	Tabel 13	D, E, F
4	Ketidakteraturan Arah Bidang dalam Ketidakteraturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat dibawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 13	B,C,D, E,dan F D, E, F D, E, F E,dan F
5a	Diskontinuitas dalam Ketidakteraturan Kuat Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat diatasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel 13	E,F D, E, F
5b	Diskontinuitas dalam Ketidakteraturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat diatasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 13	D, E, F B,C D,E,F

Sumber: SNI 1726:2019

2.2 Hubungan Balok – Kolom dengan SRPMK

Prosedur untuk mendesain elemen struktur dalam perancangan bangunan gedung menurut Dewobroto, Wiryanto. (2005) adalah sebagai berikut :

2.2.1 Perencanaan Elemen Struktur Lentur (Balok)

Struktur beton untuk balok memerlukan tulangan baja pada sisi Tarik untuk mengantisipasi kelemahannya terhadap tegangan Tarik, tetapi pada umumnya penampang balok mempunyai tulangan baja pada sisi atas dan sisi bawah, bila terjadi momen akibat beban gravitasi maka tulangan baja sisi atas mengalami desak dan tulangan pada sisi bawah mengalami tarik. Pada balok juga diperlukan tulangan sengkang untuk menahan gaya geser.

1) Kuat Perlu dan Kuat Desain Lentur

Semua asumsi yang digunakan dalam perencanaan lentur (desain balok) mengacu pada SNI 2847-2019 Pasal 10, yang mencakup desain komponen struktur lentur dan aksial, struktur lentur harus memenuhi persyaratan :

$$\phi M_n > M_u \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

M_n = Kuat lentur nominal balok

ϕ = Faktor reduksi kekuatan (0,9 untuk kendali tarik)

M_u = Momen akibat beban luar terfaktor

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{\alpha}{2}) \dots\dots\dots (2.23)$$

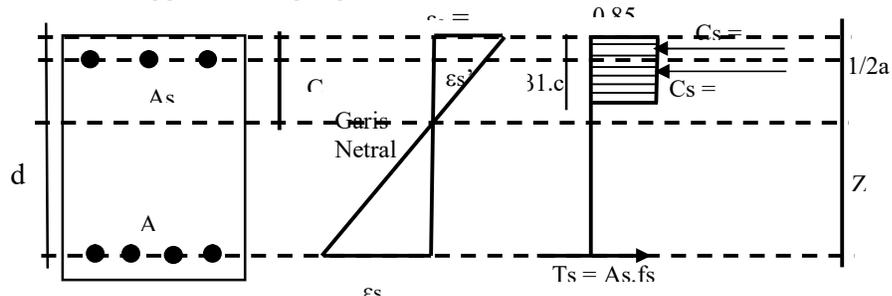
Dimana :

A_s = Luas tulangan tarik atau tekan terpasang

f_y = Kuat leleh baja tulangan

d = Tinggi efektif penampang balok

α = tinggi balok tegangan tekan ϵ_s disederhanakan



Gambar 2.4 Konsep perhitungan momen nominal balok, (SNI 2847-2019)

2) Kuat perlu dan Kuat Desain Geser

Perencanaan kuat geser balok secara umum mengacu pada SNI 2847-2019 yang mensyaratkan bahwa desain geser balok harus memenuhi syarat :

$$V_n > V_u \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :

V_n = Kuat geser nominal balok

ϕ = Faktor reduksi kekuatan geser balok (0,75)

V_u = Gaya geser luar akibat beban luar terfaktor

Nilai V_n pada persamaan 2.15 merupakan total dari kuat geser beton V_c dan kuat geser yang berasal dari baja tulangan V_s . Nilai V_c dan V_s ditentukan dalam SNI 2847-2019 yaitu :

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (2.25)$$

$$V_s = \frac{A_v f_y s}{s} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana :

f_c' = Kuat tekan beton

b_w = Lebar balok

d = Tinggi efektif balok

A_v = Luas penampang tulangan geser

f_y = Kuat leleh baja

s = Spasi antar tulangan geser

3) Kaidah Standar Perencanaan Balok

Kaidah standar perencanaan elemen balok terdiri dari persyaratan geometri, persyaratan tulangan lentur dan tulangan transfersal (tulangan geser). Kaidah standar perencanaan elemen struktur lentur sistem struktur SRPMK mengacu pada SNI 2847-2019 yaitu :

a) Persyaratan Geometri

Bentang bersih komponen struktur lentur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya. Perbandingan lebar terhadap tinggi komponen struktur lentur tidak boleh kurang dari 0,3.

Lebar penampang haruslah :

- a) 25 mm

b) \leq lebar kolom ditambah jarak pada setiap sisi kolom yang tidak melebihi tiga per empat tinggi komponen struktur lentur.

b) Persyaratan Tulangan Longitudinal

Beberapa persyaratan tulangan lentur yang perlu diperhatikan pada perencanaan komponen struktur lentur yang perlu diperhatikan pada perencanaan komponen struktur lentur SRPMK, diantaranya adalah :

Masing-masing luas tulangan atas dan bawah harus lebih besar dari luas tulangan minimum yang disyaratkan yaitu $(0,25 \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f_c'})/f_y$ atau $(1,4 \cdot b_w \cdot d)/f_y$. Rasio tulangan lentur maksimum (ρ maksimum) juga dibatasi sebesar 0,025. Selain itu, pada penampang harus terpasang secara menerus minimum dua batang tulangan atas dan dua batang tulangan bawah.

Kuat lentur positif balok pada muka kolom harus lebih besar atau sama dengan setengah kuat lentur negatifnya. Kuat lentur negatif dan positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar pada bentang tersebut.

c) Persyaratan Tulangan Transversal (Tulangan Geser)

Tulangan transversal pada komponen lentur dibutuhkan terutama untuk menahan geser, mengekang daerah inti penampang beton dan menyediakan tahanan lateral bagi setiap batang tulangan lentur dimana tegangan leleh terbentuk. Hal yang terjadi pada saat gempa kuat terjadi adalah terkelupasnya selimut beton (spalling) pada daerah sekitarnya, maka tulangan transversal pada elemen SRPMK harus berbentuk sengkang tertutup. Beberapa persyaratan harus dipenuhi untuk pemasangan tulangan sengkang tertutup diantaranya :

- Sengkang tertutup harus dipasang :

d) Pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan

e) Di sepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang yang berpotensi terbentuk sendi plastis.

- Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi :

a) $d/4$

- b) Enam kali diameter terkecil tulangan memanjang
- c) 150 mm

2.2.2 Perencanaan Elemen Struktur Tekan (Kolom)

1) Kuat Perlu dan Kuat Desain Kolom

Semua asumsi dan tata cara perencanaan kuat tekan kolom secara umum mengacu pada SNI 2847-2019 yang mensyaratkan bahwa desain tekan kolom harus memenuhi syarat :

$$\phi P_n \geq P_u$$

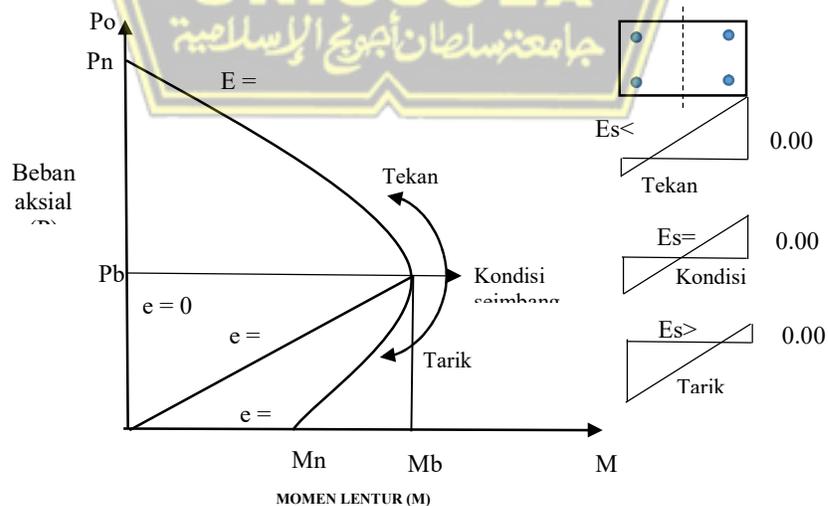
Dimana :

P_n = Kuat aksial nominal kolom

ϕ = Faktor reduksi kekuatan geser kolom (0,75 untuk kekekangan spiral dan 0,6 untuk kekekangan selain spiral)

P_u = Gaya geser luar akibat beban luar terfaktor

Pada kondisi nyata, hampir tidak ada kolom yang mengalami pembebanan aksial murni (tidak ada momen). Hal ini disebabkan oleh sifat imperfection (ketidaksempurnaan) dan akibat eksentrisitas gaya aksial yang bekerja pada kolom. Sehingga dalam perencanaan kolom perlu memperhatikan efek dari momen luar. Perencanaan kolom dengan pengaruh momen harus mempertimbangkan interaksi antara momen dan lentur, salah satu cara yang mudah adalah dengan membuat diagram interaksi aksial lentur kolom seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.5 Diagram Interaksi Aksial Lentur Kolom, (SNI 2847-2019)

2) Desain Tulangan Geser

SNI 2847-2019 mensyaratkan bahwa gaya geser desain (V_e) harus ditentukan sedemikian rupa dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan (*joint*) di setiap ujung komponen struktur.

Gaya-gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin (M_{pr}) di setiap ujung komponen struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor (P_u) yang bekerja pada komponen struktur. Geser komponen struktur tidak perlu melebihi yang ditentukan dari kekuatan *joint* berdasarkan pada (M_{pr}) komponen struktur transversal yang merangka ke dalam *joint*. Dalam semua kasus (V_e) tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis struktur. Dalam perencanaan geser, kuat geser beton diabaikan jika kedua syarat ini dipenuhi :

- a) Gaya geser ditimbulkan gempa yang dihitung mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam lo.
- b) Gaya tekan aksial terfaktor (P_u) termasuk pengaruh gempa kurang dari

$$A_g \times f_c' / 10$$

- c) Kaidah Standar Perencanaan Kolom

Kaidah standar perencanaan kolom SRPMK mengacu pada SNI 2847-2019 yaitu:

1. Persyaratan Geometri

Gaya aksial terfaktor yang bekerja pada kolom harus melebihi $A_g \times f_c' / 10$ Sisi terpendek kolom tidak boleh kurang dari 300 mm Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4

2. Kuat lentur minimum kolom

Kuat lentur minimum kolom harus memenuhi persamaan berikut :

$$V_e = C_s \cdot W \geq 1,2 \cdot \sum M_{nb} \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana :

M_{nc} = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka kedalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*. Kekuatan lentur kolom dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

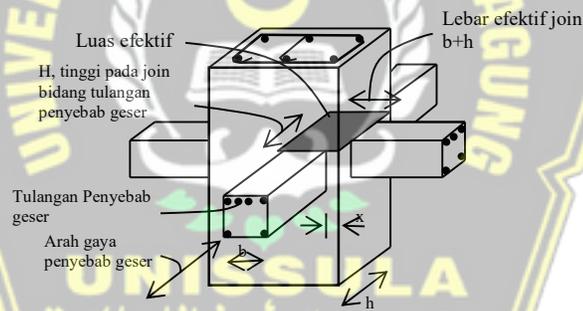
Mnb = Jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*.

3) Persyaratan tulangan lentur

Rasio tulangan lentur terpasang tidak boleh kurang dari 0,01 tetapi tidak boleh lebih dari 0,6. Sambungan lewatan hanya boleh dipasang ditengah tinggi kolom dan harus diikat dengan tulangan *confinement* dengan spasi tulangan yang ditetapkan pada pasal 21.6.4.3.

2.2.3 Perencanaan Joint (Hubungan Balok-Kolom)

Hubungan balok-kolom (*joint*) merupakan elemen struktur yang paling penting dalam suatu sistem struktur rangka pemikul momen. Akibat gaya lateral yang bekerja pada struktur, momen lentur ujung pada balok-balok yang merangka pada *joint* yang sama akan memutar *joint* pada arah yang sama. Hal ini akan menimbulkan gaya geser yang besar pada hubungan balok-kolom. Perencanaan *joint*, hubungan balok-kolom sistem struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK) mengacu pada SNI 2847:2019



Gambar 2.6 Joint Balok-Kolom, (SNI 2847-2019)

2.2.4 Analisis Statik Beban Dorong (*Static Pushover Analysis*)

Analisis beban dorong (*pushover*) merupakan salah satu komponen *Performance Based Seismic Design* (PBSD) yang menjadi sarana dalam mencari kapasitas dari suatu struktur (*Applied Technology Council (ATC)-40,1996*). Sedangkan menurut SNI 03-1726-2002, analisis statik beban dorong (*pushover*) adalah suatu analisis statik *nonlinier*, yang dalam analisisnya pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statik pada pusat massa masing-masing lantai,

yang nilainya ditingkatkan secara berangsur- angsur sampai melampaui pembebanan sehingga menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastik.

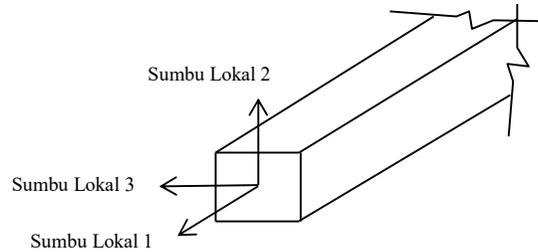
Prosedur analisis *pushover*, struktur didorong sampai leleh dan berperilaku *nonlinear* atau plastis. Kurva kapasitas akan memperlihatkan kondisi elastis sampai kondisi plastis. Tujuan analisis beban dorong (*pushover*) adalah untuk memperkirakan gaya *deformasi* maksimum yang terjadi akibat pembebanan lateral hingga diperoleh titik kritisnya. Selanjutnya dilihat bagian – bagian yang terjadi kerusakan dan memerlukan perhatian khusus (Febriana, dkk 2015). Metode analisis statik *pushover* merupakan metode dengan pendekatan *nonlinier* statik, yang dapat digunakan pada struktur bangunan gedung beraturan, dengan karakteristik dinamik mode tinggi yang tidak dominan. Salah satu hasil analisis yang mempunyai manfaat penting yaitu kurva kapasitas.

2.2.5 Sendi Plastis

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan/kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok pada gedung tersebut (Gambar 2.3). Sendi plastis merupakan bentuk ketidak mampuan elemen struktur (balok dan kolom) menahan gaya dalam. Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat balok lemah. Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh dahulu, maka struktur langsung hancur (Dewobroto, 2007 dalam Afandi, 2010)

2.2.6 Hinges Properties Balok

Data *hinges properties* dimasukkan pada penampang daerah tumpuan balok yaitu lokasi dimana sendi plastis diharapkan terjadi. Masing-masing penampang balok dimodelkan dengan pilihan model moment M3, yang artinya sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3. Posisi sumbu lokal 3 dapat dilihat pada Gambar 2.1.

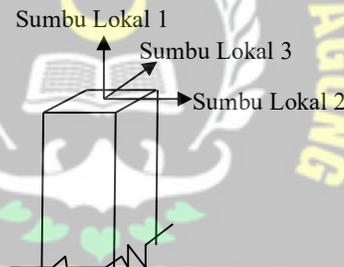


Gambar 2.7 Posisi Sumbu Lokal Balok Struktur Pada Program SAP 2000

Sumber : (Dewobroto, 2007 dalam Afandi, 2010)

2.2.7 Hinges Properties Kolom

Data *hinges properties* untuk kolom adalah Model P-M2-M3, yang mempunyai arti bahwa sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial (P) dan momen (M) Sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3. Dalam studi ini setiap kolom pada bangunan yang ditinjau memiliki momen sumbu lokal 2 yang sama dengan kapasitas momen sumbu lokal 3, hal ini disebabkan karena dimensi kolom berbentuk persegi dan tulangan kolom yang ada tersebar pada keempat sisinyasecara merata. Posisi sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 pada kolom struktur dapat dilihat pada Gambar 2.2.

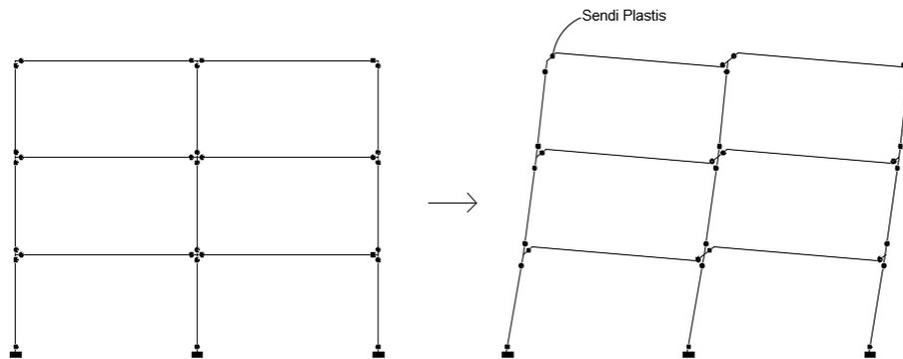


Gambar 2.8 Posisi Sumbu Lokal Kolom Struktur Pada Program SAP 2000

Sumber : (Dewobroto, 2007 dalam Afandi, 2010)

2.2.8 Penentuan Letak Sendi Plastis

Setelah pendefinisian data *hinges properties* balok dan kolom adalah penentuan latak terjadinya sendi plastis yang diinginkan. Posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih balok, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih balok. Kedua ini terletak dimuka kolom. Sama halnya dengan kolom, posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih kolom, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih kolom. Kedua posisi ini terletak pada tepi muka balok.



Gambar 2.9 Posisi Sendi Plastis Yang Terjadi Pada Balok dan Kolom

Sumber : (Dewobroto, 2007 dalam Afandi, 2010)

Kinerja struktur terhadap gempa memiliki beberapa masalah yang harus ditanggapi agar nilai keamanan lebih terjamin. Hubungan balok – kolom merupakan daerah rawan terhadap gaya lateral terutama gempa. Karena tempat tersebut merupakan daerah yang memiliki momen dan gaya geser yang besar yang dapat melelehkan struktur dan terjadi kegagalan. Prinsip kolom kuat balok lemah bisa dicapai dengan memberikan batasan $6/5$ dari M_c/M_b untuk memenuhi syarat minimum tidak terjadinya sendi plastis pada kolom lantai, Dimana :

- M_c adalah jumlah momen kapasitas 2 kolom yang bertemu di joint
- M_b adalah jumlah momen kapasitas 2 balok yang menumpu di kolom.

UNISSULA
 جامعنا سلطان أبجوع الإسلامية

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab ini akan diuraikan tata cara penelitian dengan menjelaskan antara lain : lokasi penelitian, prosedur penelitian, pengumpulan data, metode penelitian, analisis struktur dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 V22, serta jadwal penelitian.

3.1 Lokasi Penelitian

Obyek penelitian pada Gedung RSUD Sradadi, Kabupaten Tegal. Terletak di jalan Raya Tegal Pemasang KM 12 yang dijadikan sampel merupakan bangunan yang baru dibangun pada bulan Juni 2021 - Januari 2022 dimana penulis bertugas sebagai Tim Teknis, sehingga dipilih oleh penulis sebagai obyek penelitian (Gambar 3.1).



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa metode yakni pengumpulan data, survey atau observasi lapangan secara *rapid visual screening*, serta analisis linear maupun nonlinear menggunakan bantuan komputer. Penelitian ini menggunakan langkah-langkah yang berpedoman pada FEMA 310 – 1998, *Handbook for the seismic evaluation of building – A prestandard*, SNI 1726 – 2019 Tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung, SNI 1727 – 2020 Tentang Beban Desain Minimum dan kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktural SNI 2847 – 2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung,

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan sejak awal penelitian, data-data yang dibutuhkan dari Gedung RSUD Suradadi, Kabupaten Tegal, yaitu:

- 3.3.1 *asbuilt drawing*,
- 3.3.2 deskripsi umum bangunan,
- 3.3.3 deskripsi umum struktur,
- 3.3.4 deskripsi elemen non struktur,
- 3.3.5 mutu bahan,
- 3.3.6 kondisi tanah, dan
- 3.3.7 kegunaan bangunan.

3.4 Metode Penelitian

Evaluasi kinerja pada penelitian ini dibatasi pada komponen struktur dengan analisis non linear statik menggunakan bantuan komputer meliputi:

3.4.1 Penentuan Wilayah Kegempaan

Wilayah kegempaan didasarkan dari peta wilayah gempa Indonesia pada SNI 1726 – 2019 Tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung. untuk memudahkan pemilihan wilayah gempa kita bisa menggunakan aplikasi desain spektra Indonesia dari Puskim yang dapat diakses melalui http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2019. Melalui web dari kementerian PU ini bisa didapatkan hasil yang lebih. Kita bisa menentukan wilayah kegempaan pada lokasi bangunan yang

akan di tinjau dengan cara memasukan koordinat (lintang dan bujur) atau nama kota/tempat bangunan tersebut.

3.4.2 Pemodelan struktur

Pemodelan struktur digambar dengan menggunakan SAP2000 V22 sesuai dengan *as built drawing* pada bangunan, input pada pemodelan struktur yaitu ukuran balok, kolom, pelat , mutu bahan, modulus elastisitas, dll sehingga pemodelan ini sesuai dengan yang asli dilapangan.

3.4.3 Pembebanan Gempa

Tipe beban gempa yang diterapkan pada struktur ditentukan sesuai dengan analisis yang digunakan, yaitu:

- 3.4.3.1 beban gempa yang diterapkan untuk analisis linier adalah beban dinamik respon spektrum untuk analisis dinamik linier, dan
- 3.4.3.2 untuk analisis statik non linier, beban gempa yang diterapkan adalah bebandorong static lateral atau *pushover*.

3.4.4 Penentuan Tingkat Kinerja (*Level of Performance*)

Tingkat kinerja bangunan ditentukan sesuai dengan faktor keutamaan bangunan. Untuk bangunan RSUD Suradadi, Kabupaten Tegal ini diharapkan pada saat terjadi gempa yang besar, bangunan masih dapat beroperasi meskipun terdapat beberapa kerusakan kecil atau memiliki tingkat kinerja *Immediate Occupancy*.

3.4.5 Analisis Linier Struktur Bangunan

Pada evaluasi tahap ini dilakukan analisis linier struktur bangunan terhadap gempa secara dinamik. Analisis linier struktur dilakukan menggunakan program SAP2000 versi 22, dilakukan beberapa analisis perhitungan sebagai berikut ini.

1. Perhitungan kekuatan/kapasitas penampang meliputi :
 - a) kapasitas penampang momen berdasarkan SNI 2847-2019, dan
 - b) kapasitas geser berdasarkan SNI 2847-2019.

2. Perhitungan nilai DCR (*Demand Capacity Ratio*) untuk mengetahui apakah analisis linier dapat digunakan untuk struktur gedung tersebut atau tidak, jika analisis linier tidak dapat digunakan maka dilakukan analisis nonlinier struktur bangunan.

3.4.6 Investigasi Komprehensif

Evaluasi tahap ini dilakukan dengan analisis nonlinier struktur bangunan terhadap beban gempa. Pada penelitian ini analisis nonlinier dilakukan menggunakan analisis statik elastik beban dorong (*pushover analysis*). Tahapan analisis pada evaluasi tahap 3 adalah sebagai berikut ini:

1. Analisis *moment curvature* elemen balok dan kolom sebagai input data *hinge properties* dilakukan secara *auto* pada program SAP2000 versi 22.
2. Analisis beban statik dorong (*pushover analysis*) dilakukan untuk mendapatkan nilai daktilitas gedung, nilai faktor reduksi (R) yang sebenarnya dari gedung tersebut serta titik kinerja struktur.
3. Perhitungan DCR (*Demand Capacity Ratio*) dari gaya geser pada elemen balok dan kolom pada saat kinerja tercapai.
4. Dilakukan evaluasi kinerja struktur gedung dengan meninjau titik perpotongan antara kurva demand dan kurva kapasitas. Apabila kinerja struktur hasil analisis tidak memenuhi persyaratan untuk bangunan tersebut maka dilakukan mitigasi terhadap struktur tersebut.
5. Menentukan *Capacity Curve* dilakukan dengan dua percobaan permodelan, yaitu *Open Frame*.
6. Spektrum *demand* untuk *pushover analysis* yang digunakan pada penelitian ini adalah spektrum elastis, yaitu menggunakan spektrum untuk wilayah gempa berdasarkan lokasi bangunan tersebut dari aplikasi *online* puskim.pu.go.id.
7. Sebagai input data kurva kapasitas pada program SAP2000 sesuai ATC40 - 1996 adalah sebagai berikut ini.
 - a) *Demand spectrum definition* digunakan Respon spektrum

wilayah Suradadi, Tegal untuk jenis tanah sedang. Koefisien koreksi ordinatspektrum respon yang digunakan sebesar $\frac{l}{R} g$

- b) Tipe perilaku struktur ditentukan Tipe B, sesuai Tabel 8-4 ATC-40 struktur tipe B merupakan struktur dengan kondisi eksisting sedang (*average*) dan durasi goyangan struktur (*shaking duration*) yang pendek (*short*).
8. Sebagai input data untuk kurva kapasitas pada program SAP2000 sesuai FEMA 356 adalah sebagai berikut ini.
 - a) Nilai $C_m = 0,9$. Untuk tipe bangunan *concrete moment frame* (CMF) dan jumlah tingkat lebih dari 3 tingkat (dari Tabel 3-1 FEMA 356).
 - b) Nilai $C_2 = 1$. Untuk bangunan dengan level kinerja *immediate occupancy* (IO) (dari Tabel 3-3 FEMA 356).
 - c) Kelas tanah adalah sedang (D).
 - d) *Spectrum demand* menggunakan spektrum untuk wilayah gempa berdasarkan lokasi bangunan tersebut dari aplikasi *online* puskim.pu.go.id.

3.5 Analisis Struktur

Pada penelitian ini analisis struktur linier dan non linier menggunakan bantuan program SAP2000 versi 22. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam pemodelan numeric pada Gedung Kampus Fakultas Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta adalah sebagai berikut ini.

3.5.3 Mutu beton dan baja yang digunakan adalah sebagai berikut ini.

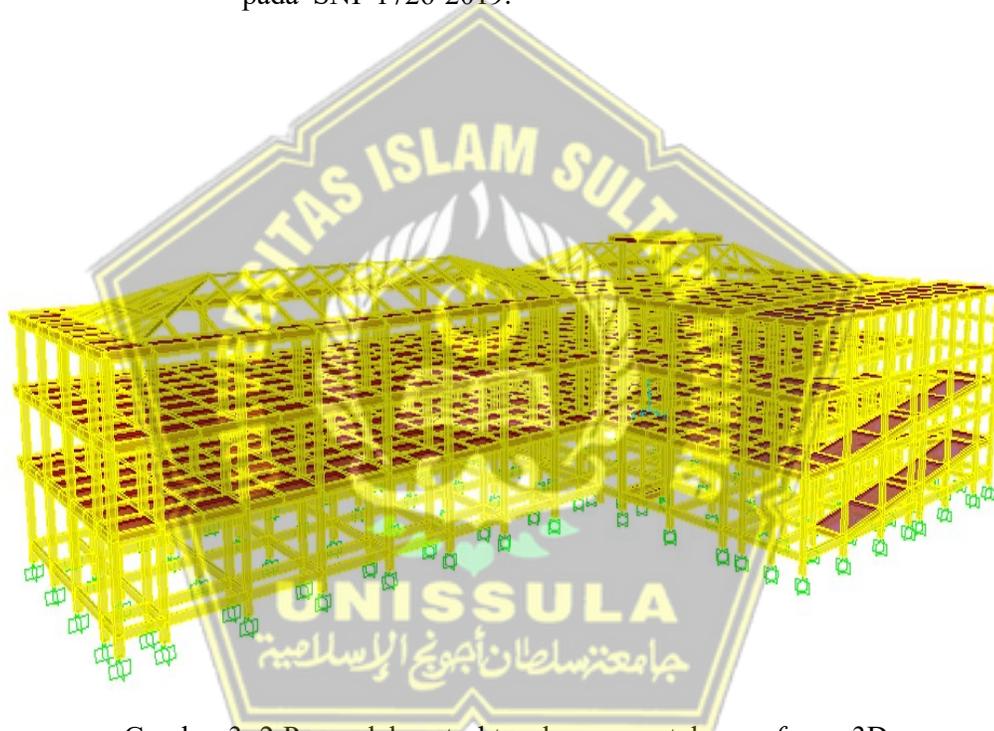
3.5.3.1 Mutu beton K-300 adalah $(f'c) = 25$ MPa.

3.5.3.2 Mutu baja tulangan, $f_y = 280$ MPa untuk tulangan polos dan $f_y = 420$ MPa untuk tulangan ulir.

3.5.4 Tumpuan yang digunakan dalam pemodelan numeric adalah jepit.

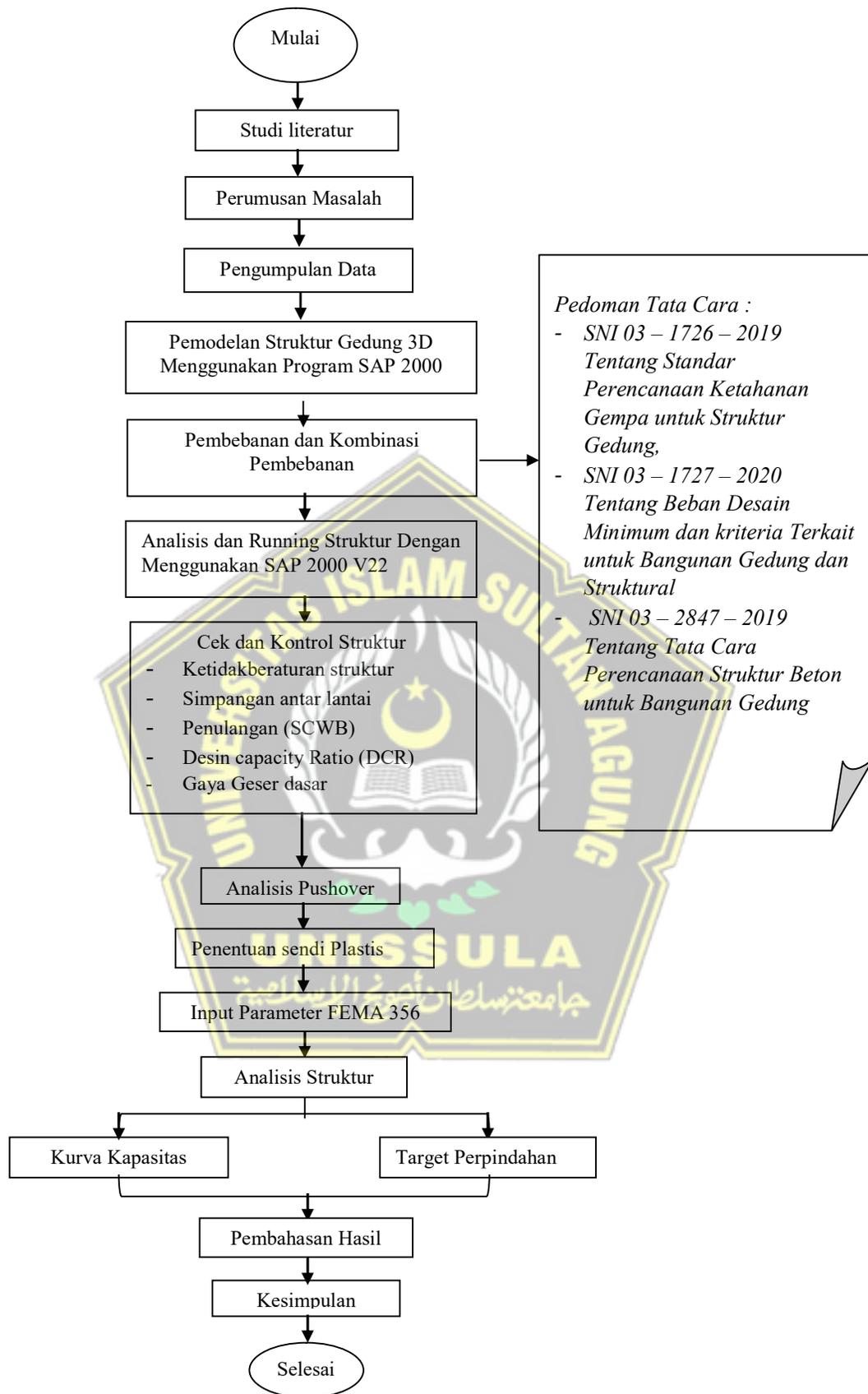
3.5.5 Pemodelan untuk analisis berupa *open frame 3D*.

- 3.5.6 Balok dan kolom diasumsikan sebagai *frame*.
- 3.5.7 Plat lantai dimodelkan sebagai *shell*.
- 3.5.8 Plat lantai kaku dianggap sempurna (diafragma).
- 3.5.9 Rangka atap tidak dimodelkan, beban mati dan beban angin pada atap diteruskan sebagai beban terpusat pada tumpuan kuda-kuda.
- 3.5.10 Dinding tidak dimodelkan tetapi digunakan massa dinding dalam beratstruktur.
- 3.5.11 Pembebanan yang digunakan dalam analisis sesuai pada SNI 1726-2019.



Gambar 3. 2 Permodelan struktur dengan portal *open frame* 3D

Diagram alir penelitian pada evaluasi kinerja struktur Bangunan Gedung RSUD Suradadi, Kabupaten Tegal terlihat pada Gambar 3.3, Gambar 3.4, Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Bangunan Gedung Obyek Analisis

Data bangunan yang akan didesain merupakan data dari perencana dengan

modifikasi dari penulis berdasarkan saran dari pembimbing. Data tersebut adalah :

1. Fungsi bangunan : Gedung ICU, PICU dan NICU
2. Jenis struktur : Struktur beton bertulang
3. Jumlah lantai : 3 tingkat
4. Tinggi tiap lantai : 4,5 meter dan 4,2 meter
5. Penutup atap : Dak beton
6. Lokasi Gedung : Kec. Suradadi, Kab. Tegal
7. Jenis tanah : Sedang
Mutu Beton

Untuk elemen pelat lantai, balok dan kolom digunakan beton mutu $f_c' = 25$ MPa. Sedangkan untuk elemen non struktur digunakan beton mutu $f_c' = 15$ MPa. Modulus Elastis beton (E_c) dihitung dengan rumus $E_c = 4700\sqrt{f_c'}$. Angka poisson $\mu = 0,20$, Modulus Geser $G = E_c / [2*(1 + \mu)]$.

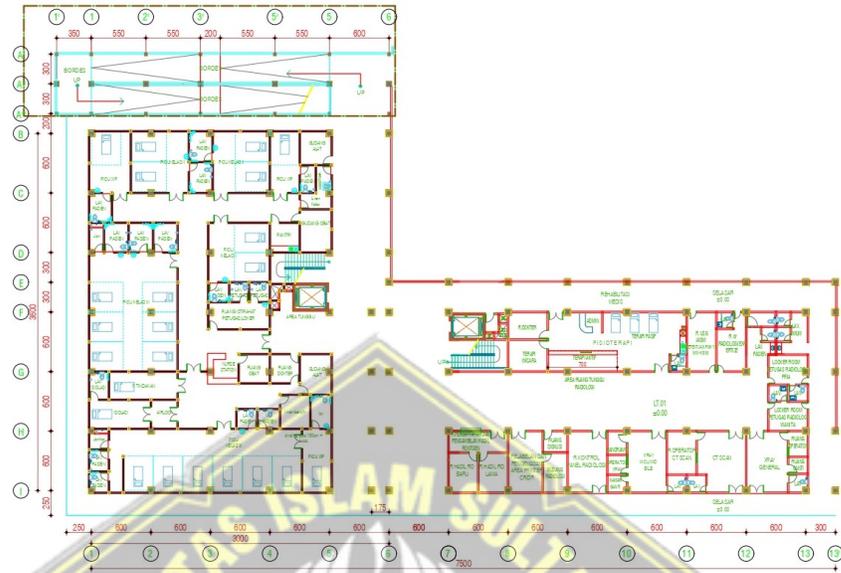
2. Mutu Baja

Mutu baja yang digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut :

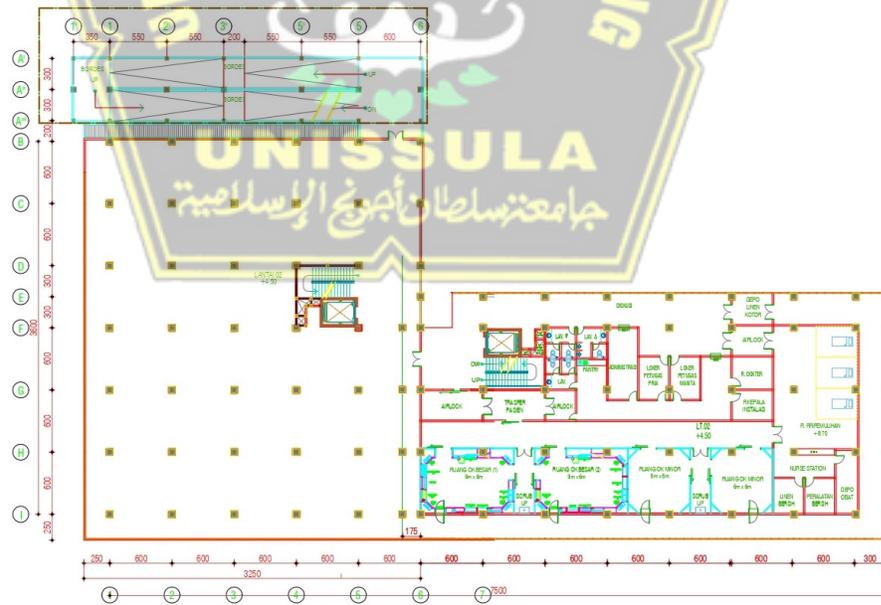
- a. Untuk tulangan dengan diameter ≥ 13 mm digunakan tulangan ulir (deformasi) dengan mutu $f_y = 420$ MPa.
- b. Untuk tulangan dengan diameter < 13 mm digunakan tulangan polos (bulat) dengan mutu $f_y = 280$ MPa.
- c. Modulus Elastis baja, $E_s = 2,1.105$ MPa.

Tabel 4.1. Elevasi dan ketinggian struktur gedung 3 tingkat

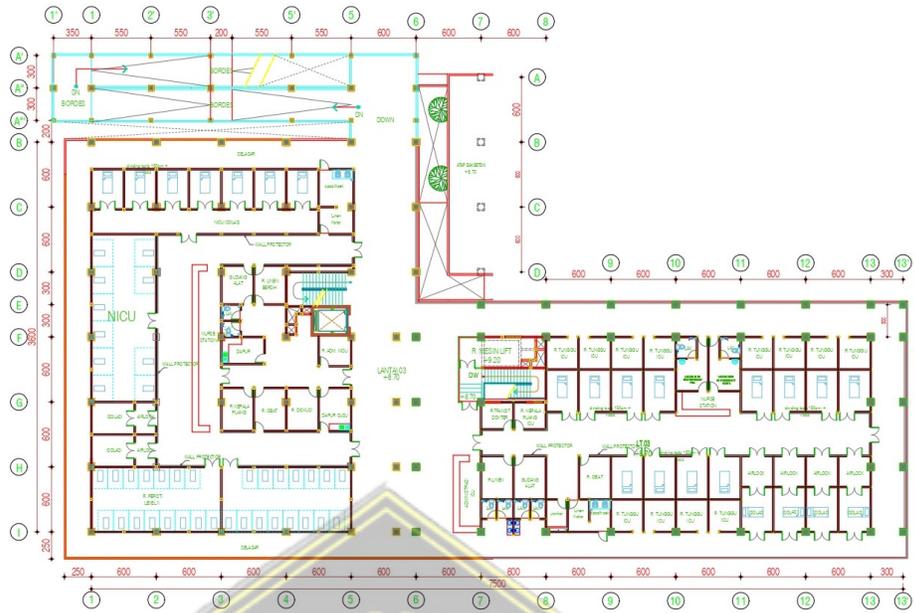
Lantai Struktur	Elevasi (m)	Tinggi tingkat (cm)
Dak Atap	+ 12.90	-
Lantai 3	+ 8.70	4.20
Lantai 2	+ 4.50	4.20
Lantai 1	± 0.00	4.50



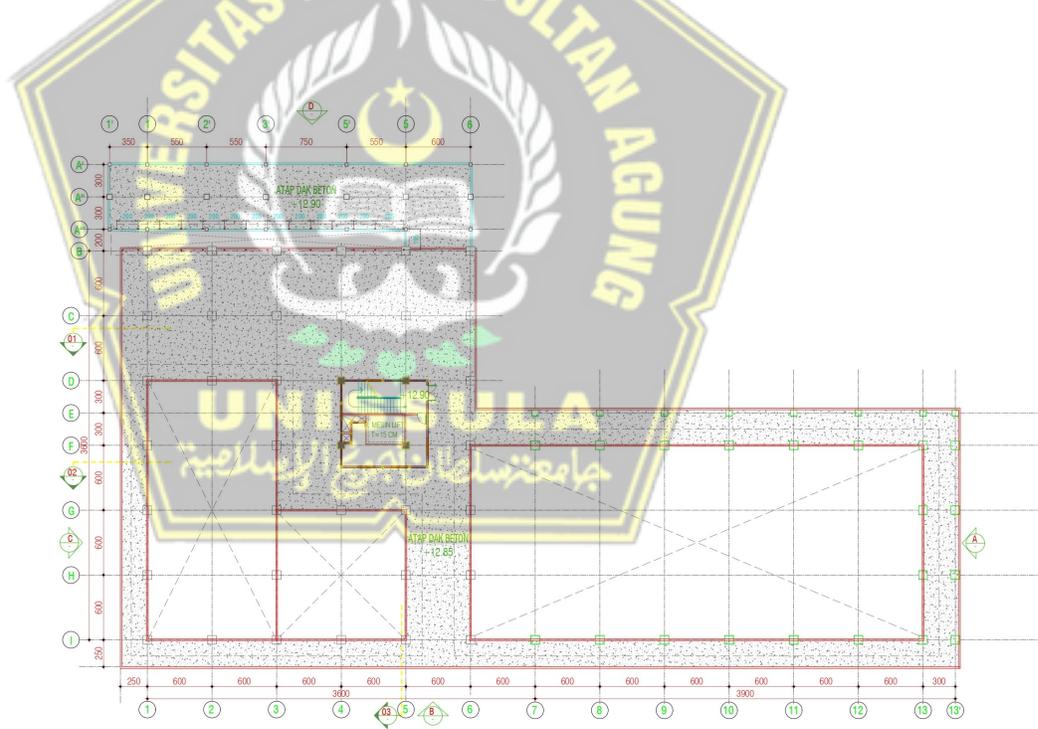
Gambar 4.1 Denah Lantai 1 gedung RSUD Suradadi



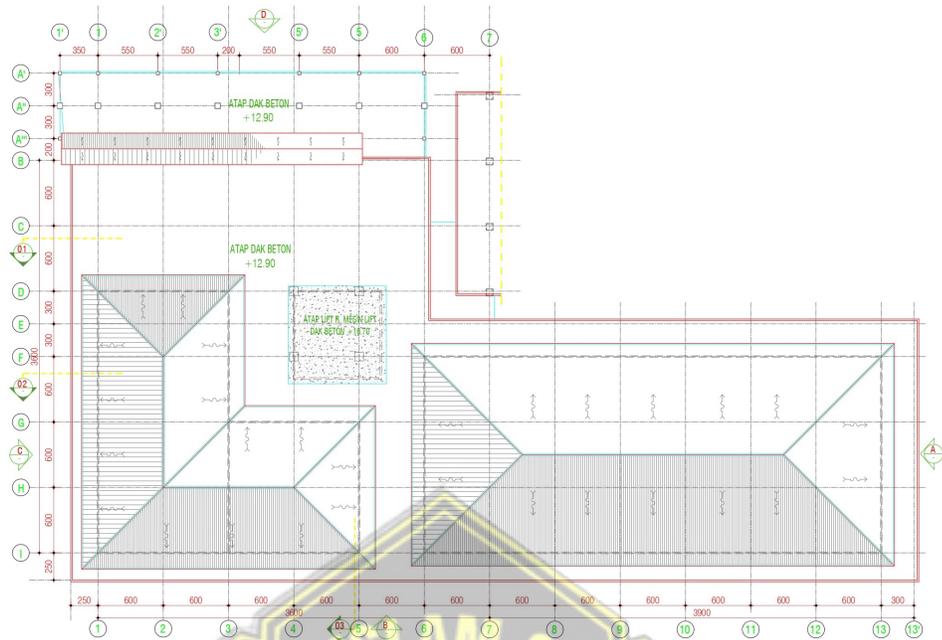
Gambar 4.2 Denah Lantai 2 Gedung RSUD Suradadi



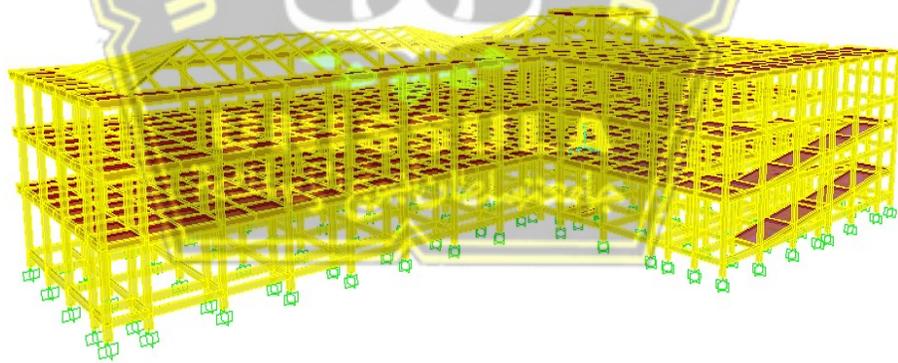
Gambar 4.3 Denah Lantai 3 Gedung RSUD



Gambar 4.4 Denah Lantai dak atap Gedung RSUD Suradadi



Gambar 4.5 Denah atap Gedung RSUD



Gambar 4.6 Pemodelan Struktur dengan Program SAP versi 22.

4.2 Data Koordinat Struktur Gedung

Penentuan Ordinat gedung arah X, Y dan Z

Tabel 4.2. Ordinat Arah X

Label	Jarak (m)	ordinat (m)
A		-3.5
B		-2.5
C	0	0
D	3	3
E	3	6
F	2,5	8.5
G	0.5	9
H	2	11
I	1	12
J	1	13
K	2	15
L	0.5	15.5
M	1,5	17
N	1	18
O	2,5	20.5
P	0,5	21
Q	3	24
R	1	25
S	1	26
T	1	27
U	1,25	28.25
V	2,25	30
W	3	33
X	3	36
Y	3	39
Z	3	42
AA	3	45
AB	3	48

AC	3	51
AD	3	54
AE	3	57
AF	3	60
AG	3	63
AH	3	66
AI	3	69
AJ	3	72
	3	75

Tabel 4.3. Ordinat Arah Y

Label	Jarak (m)	Koordinat (m)
1		-2.5
2	0	0
3	3	3
4	3	6
5	3	9
6	3	12
7	3	15
8	1	16
9	1	17
10	1	18
11	3	21
12	3	24
13	1	25
14	2	27
15	3	30
16	3	33
17	3	36
18	2	38
19	3	41
20	3	44

Tabel 4.4. Ordinat Arah Z

Label	Jarak (m)	Ordinat (m)
Z1		-0.8
Z2	0	0
Z3	1	1
Z4	0.614	1.614
Z5	0.511	2.125
Z6	0.511	2.636
Z7	0.614	3.25
Z8	0.511	3.761
Z9	0.614	4.375
Z10	0.511	4.886
Z11	0.614	5.5
Z12	0.573	6.073
Z13	0.527	6.6
Z14	0.477	7.077
Z15	0.523	7.6
Z16	0.477	8.077
Z17	0.573	8.65
Z18	0.477	9.127
Z19	0.573	9.7
Z20	2.100	11.8
Z21	2.100	13.9
Z22	1.200	15.1
Z23	1.200	16.3
Z24	1.100	17.4

4.3 KONTROL PERIODE NATURAL (T) BANGUNAN

A Input Data Percepatan Gempa

Spektral Percepatan Periode Pendek	$S_s = 0.6651$	g	Ss	Fa
Spektral Percepatan Periode 1 Detik	$S_l = 0.3086$	g	0.5	1.4
Koefisien Situs	$F_a = 1.2679$		0.75	1.2
Koefisien Situs	$F_v = 1.9828$		0.6651	1.2679
Percepatan Desain Periode Pendek	$S_{DS} = 2/3 * F_a * S_s$			
	$= 0.5622$	g	S1	Fv
Percepatan Desain Periode 1 Detik	$S_{Dl} = 2/3 * F_v * S_l$		0.2	2.2
	$= 0.4079$	g	0.3	2
	$T_0 = 0.2 * S_{Dl} / S_{DS}$		0.3086	1.9828
	$= 0.1451$	dtk		
	$T_s = S_{Dl} / S_{DS}$			
	$= 0.7256$	dtk		

Tabel 4.5 Input Parameter Gempa (SNI 1726 – 2019 Pasal 6.2)

B. Input Parameter Gempa

Faktor Keutamaan Gempa	I_e	=	1.50
Koefisien Modifikasi Respons	R	=	8
Faktor Kuat Lebih Sistem	Ω_0	=	3
Faktor Pembesaran Defleksi	C_d	=	5.5

C. Periode Struktur

Percepatan Desain Periode 1 Detik	$S_{Dl} = 0.4079$	g
Koefisien untuk Batas Periode	$C_u = 1.4$	
	$C_t = 0.0466$	
	$x = 0.9$	
Tinggi Bangunan (Seismik)	$h = 13.9$	m
Periode Fundamental Pendekatan	$T_a = C_t * h^x$	
	$= 0.6105$	detik
Periode Maksimum	$T_{max} = C_u * T_a$	
	$= 0.855$	detik
Periode Hasil Analisis Arah X	$T_{c,X} = 0.528907$	detik
Periode Hasil Analisis Arah Y	$T_{c,Y} = 0.564131$	detik

Periode Pakai Arah X $T_X = 0.855$ detik

Periode Pakai Arah Y $T_Y = 0.855$ detik

nilai periode getar S_s (0.665015) masih diantara batas atas dan batas bawah periode yang dihitung, (0.5 – 0.75).

Tabel 4.6 Koefisien situs, F_a

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek $T = 0,2$ detik S_1					
	$S_1 \leq 0,25$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,75$	$S_1 = 1,0$	$S_1 = 1,25$	$S_1 \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Catatan : (a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik lihat 6.10.1

Tabel 4.7 Koefisien situs, F_a

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek $T = 1$ detik S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Catatan : (a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik lihat 6.10.1

Tabel 4.8 Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726 – 2019 Pasal 4.1)

Kategori Resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Tabel 4.9 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (SNI 1726 – 2019 Pasal 7.8.2)

Parameter percepatan rpsns 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

Tabel 4.10 Nilai parameter periode pendekatan C_1 dan x (SNI 1726 – 2019 Pasal 7.8.2)

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismic yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika kena gaya seismic : <ul style="list-style-type: none"> Rangka baja pemikul momen Rangka beton pemikul momen 	0,0724 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 system struktur lainnya	0,0488	0,75

D Gaya Geser Dasar Seismik

Koefisien Respons Seismik	C_s	$= S_{DS} / (R/I_e)$	
		$= 0.1054$	
Batas Atas	$C_{s,max}$	$= S_{DI} / [T * (R/I_e)]$	
	$C_{s,max,X}$	$= 0.0895$	
	$C_{s,max,Y}$	$= 0.0895$	
Batas Bawah	$C_{s,min,1}$	$= 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01$	
		$= 0.0371$	
Batas Bawah (dipakai jika $S_1 \geq 0,6 g$)	$C_{s,min,2}$	$= 0.5 S_1 / (R/I_e)$	
		$= 0.0289$	
Koefisien Respons Seismik Pakai	$C_{s,pakai,X}$	$= 0.0895$	
	$C_{s,pakai,Y}$	$= 0.0895$	
Berat Seismik Efektif	W	$= 45935.485$	kN
Gaya Geser Dasar Seismik	V	$= C_s * W$	
	V_X	$= 4110.82$	kN
	V_Y	$= 4110.82$	kN

E Penskalaan Gaya

Faktor Skala Awal	SF	$= g / (R / I)$	
		$= 1.839$	m/s ²
		$= 1838.75$	mm/s ²
Gaya Geser Dasar Analisis Struktur	$V_{i,X}$	$= 3874.027$	kN
	$V_{i,Y}$	$= 4702.951$	kN
Penskalaan Gaya Gempa	f_X	$= 1.199$	
	f_Y	$= 1.336$	
Faktor Skala Baru	SF_X	$= 1225.30$	mm/s ²
	SF_Y	$= 1225.80$	mm/s ²

F Simpangan Antar Tingkat

Tabel 4.11 Simpangan antar tingkat izin, $\Delta_a^{a,b}$ (SNI 1726 – 2019 Pasal 7.12)

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 system dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat	$0,025 h_{sx}^c$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

Simpangan Antar Tingkat Izin (Tabel) $\Delta_a = 0.01 h$

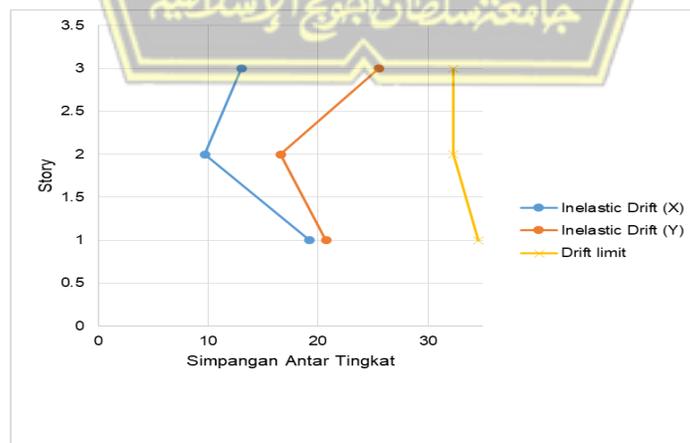
Faktor Redundansi $\rho = 1.3$

Story Drift Inelastik Izin $\Delta_{max} = \Delta / \rho$ *untuk KDS D
 $= 0.0077 h$

Faktor Pembesaran Defleksi $C_d = 2.5$

Faktor Keutamaan Gempa $I_e = 1.50$

Story Drift Inelastik $\Delta = \delta * C_d / I_e$



Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δ_{eX}	δ_{eY}	δ_{eX}	δ_{eY}		Δ_X	Δ_Y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
3	25.172	37.702	7.812	15.316	4200	13.020	25.527	32.308	OK
2	17.36	22.386	5.816	9.941	4200	9.693	16.568	32.308	OK
1	11.544	12.445	11.544	12.445	4500	19.240	20.742	34.615	OK

Kesimpulan : dari nilai Inelastic Drift arah sumbu x (lantai 1 = 19.204 mm, lantai 2 = 9.693 mm, serta lantai 3 = 13.020 mm) dan arah sumbu y (lantai 1 = 20.742 mm, lantai 2 = 16.568 mm, serta lantai 3 = 25.527 mm) masih dibawah Drift limit lantai 2 dan lantai 3 (**32,308 mm**) dan lantai 1 (**34,615 mm**) yang artinya simpangan antar tingkat dibawah **Simpangan antar tingkat izin, $\Delta a^{a,b}$ (SNI 1726 – 2019 Pasal 7.12) / diizinkan.**

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} yang ditentukan sebagai berikut :

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta.Cd} \leq 0,25 \quad (46)$$

Dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x-1 . Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

Jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,1 tetapi kurang dari atau sama dengan θ_{max} , faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-Delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan 1,0 (1- θ).(Pasal 6.2.1 SNI 1847-2019)

H Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya idak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10 :

$$\theta = \frac{Px\Delta Ie}{VxhnCd} \quad (45)$$

Keterangan :

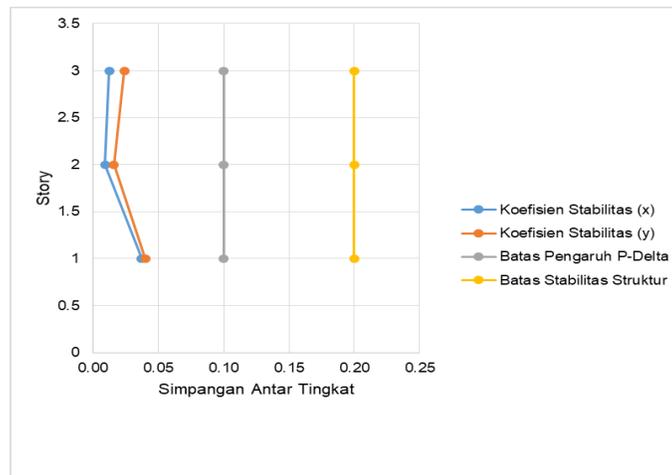
- P_x = beban desain vertical total pada dan diatas tingkat-x, (KN) ;
 bila menghitung P_x , factor bebas individu tidak perlu melebihi 1,0;
- Δ = simpangan antar tingkat desain seperti didefinisikan dalam 0,
 terjadi secara serentak dengan V_x (mm)
- I_e = factor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2
- V_x = gaya geser seismic yang bekerja anatar tingkat x dan x-1 (KN)
- h_{sx} = tinggi tingkat dibawah tingkat x, (mm)
- C_d = factor pembesaran defleksi dalam table 12.

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_x	θ_y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
3	13.020	25.527	112.64	17.07	17.06	4200	0.0123	0.0241	0.1	0.2000	OK
2	9.693	16.568	211.09	31.33	31.32	4200	0.0093	0.0160	0.1	0.2000	OK
1	19.240	20.742	460.61	31.89	31.88	4500	0.0371	0.0400	0.1	0.2000	OK

Rasio kebutuhan geser $\beta = 1$

Batas koefisien stabilitas $\theta_{max} = 0.5 / (\beta * C_d) \leq 0.25 = 0.2000$

Kesimpulan : Batas Stabilitas Struktur θ_{max} (0.200) lebih besar dari Batas Pengaruh P-Delta (0.100) & Koefisien stabilitas arah x (lantai 1 = 0.0371, lantai 2 = 0.0093 serta lantai 3 = 0.0123) dan arah y (lantai 1 = 0.040, lantai 2 = 0.0160 serta lantai 3 = 0.0241) artinya struktur sesuai dengan Pasal 6.2.1 SNI 1847-2019



I. Jumlah Ragam

1 **TABLE: Modal Participating Mass Ratios**

2	OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
3	Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
690	MODAL	Mode	687	0.029144	0.000001301	0.000001195	0.00004913	0.9196	0.92147	0.74695	0.00038	0.000000527	7.57E-08	0.62794	0.72876	0.92028
691	MODAL	Mode	688	0.029053	0.000002929	0.00000492	0.0002	0.91961	0.92147	0.74715	0.00035	0.000000375	1.516E-07	0.62829	0.72876	0.92028
692	MODAL	Mode	689	0.029005	0.000002295	0.000004272	6.998E-07	0.91961	0.92148	0.74715	0.00016	0.00008539	1.412E-07	0.62845	0.72884	0.92028
693	MODAL	Mode	690	0.028975	0.000005361	0.00000135	0.00166	0.91961	0.92148	0.74882	0.00587	0.00145	0.000001849	0.63432	0.73029	0.92028
694	MODAL	Mode	691	0.028973	0.000003424	0.000004003	0.001	0.91962	0.92148	0.74981	0.00065	0.00023	2.124E-07	0.63496	0.73052	0.92028
695	MODAL	Mode	692	0.028933	2.36E-08	0.000001752	0.00046	0.91962	0.92149	0.75028	0.00001063	0.00114	7.991E-09	0.63497	0.73166	0.92028
696	MODAL	Mode	693	0.028847	0.000001777	2.638E-07	0.00001057	0.91962	0.92149	0.75029	0.00008633	0.00045	1.505E-08	0.63506	0.73211	0.92028
697	MODAL	Mode	694	0.028778	6.371E-07	4.962E-07	0.00162	0.91962	0.92149	0.75191	0.00004265	0.00073	5.356E-08	0.6351	0.73284	0.92028
698	MODAL	Mode	695	0.028741	0.00001133	0.000009821	2.857E-07	0.91963	0.9215	0.75191	0.00003242	0.0000485	3.168E-07	0.63514	0.73289	0.92028
699	MODAL	Mode	696	0.028691	7.465E-07	0.000001284	0.00387	0.91963	0.9215	0.75578	0.01236	0.00104	0.000001433	0.64749	0.73393	0.92029
700	MODAL	Mode	697	0.028678	3.622E-07	2.047E-07	0.00046	0.91963	0.9215	0.75623	0.000006249	0.00087	1.494E-09	0.6475	0.7348	0.92029
701	MODAL	Mode	698	0.028607	0.00001466	4.818E-07	0.00007156	0.91965	0.9215	0.75631	0.00011	0.00000717	2.015E-08	0.64761	0.73481	0.92029
702	MODAL	Mode	699	0.028537	0.00003548	4.007E-08	0.00004622	0.91968	0.9215	0.75635	0.00007892	0.00029	3.147E-07	0.64769	0.7351	0.92029
703	MODAL	Mode	700	0.028494	6.066E-08	4.258E-08	0.00036	0.91968	0.9215	0.75671	0.00011	0.00114	5.781E-10	0.6478	0.73623	0.92029
704	MODAL	Mode	701	0.028408	0.00002418	0.000007174	0.0000237	0.91971	0.92151	0.75674	0.00002794	0.0000203	5.229E-07	0.64782	0.73625	0.92029
705	MODAL	Mode	702	0.028384	0.000009141	2.726E-07	0.00016	0.91972	0.92151	0.7569	0.00029	4.806E-07	1.462E-09	0.64811	0.73625	0.92029
706	MODAL	Mode	703	0.028333	0.000008508	2.159E-07	0.00143	0.91972	0.92151	0.75833	0.00014	0.00026	1.885E-07	0.64825	0.73652	0.92029
707	MODAL	Mode	704	0.028229	0.000003368	0.00000244	0.00147	0.91973	0.92151	0.75979	0.00112	0.00009114	8.892E-08	0.64937	0.73661	0.92029
708	MODAL	Mode	705	0.028211	2.151E-07	2.292E-07	0.00005841	0.91973	0.92151	0.75985	0.000003671	0.00022	2.127E-07	0.64938	0.73683	0.92029
709	MODAL	Mode	706	0.028186	0.000006518	0.00022	0.00015	0.91979	0.92172	0.76001	0.00044	0.00002702	0.0002	0.64981	0.73685	0.92049
710	MODAL	Mode	707	0.028161	0.000004897	0.000009227	0.0000107	0.9198	0.92173	0.76002	0.0003	0.00033	6.122E-09	0.65012	0.73718	0.92049
711	MODAL	Mode	708	0.0281	0.00001727	0.0000128	0.00002288	0.91982	0.92174	0.76004	0.00081	0.00032	0.000001284	0.65093	0.7375	0.92049
712	MODAL	Mode	709	0.028087	0.00000336	0.000009573	0.00547	0.91982	0.92175	0.76551	0.01568	0.00678	1.692E-07	0.66661	0.74429	0.92049
713	MODAL	Mode	710	0.028059	5.035E-07	8.298E-07	0.00031	0.91982	0.92175	0.76582	0.000001559	0.000088	2.852E-07	0.66661	0.74437	0.92049
714	MODAL	Mode	711	0.028037	1.798E-07	2.151E-08	0.0000134	0.91982	0.92175	0.76583	0.00003766	0.000001617	1.349E-07	0.66665	0.74438	0.92049
715	MODAL	Mode	712	0.027821	0.000004654	8.921E-08	0.00016	0.91982	0.92175	0.76599	4.932E-07	0.00011	2.097E-08	0.66665	0.74448	0.92049
716	MODAL	Mode	713	0.027776	0.000009735	0.00002323	0.00632	0.91983	0.92178	0.77231	0.01557	0.00506	0.00002296	0.68222	0.74954	0.92051
717	MODAL	Mode	714	0.027746	0.000006113	0.00002238	0.00019	0.91984	0.9218	0.7725	0.00015	0.00033	0.00001778	0.68237	0.74987	0.92053
718	MODAL	Mode	715	0.027706	1.629E-07	2.645E-10	1.709E-07	0.91984	0.9218	0.7725	0.000002328	0.000002315	1.864E-08	0.68237	0.74987	0.92053
719	MODAL	Mode	716	0.027636	2.682E-07	0.000000157	0.0005	0.91984	0.9218	0.77299	0.00007869	0.00004888	2.572E-08	0.68245	0.74992	0.92053
720	MODAL	Mode	717	0.027586	2.148E-07	0.000002422	0.00019	0.91984	0.9218	0.77318	0.000007063	0.00043	3.913E-07	0.68246	0.75035	0.92053
721	MODAL	Mode	718	0.027559	0.0000118	0.00003554	0.00037	0.91985	0.92184	0.77356	0.0000313	0.00064	0.00003428	0.68249	0.75099	0.92056
722	MODAL	Mode	719	0.027541	4.532E-07	1.335E-07	0.00096	0.91985	0.92184	0.77452	0.00022	0.00029	0.000005333	0.68271	0.75128	0.92057
723	MODAL	Mode	720	0.027488	8.285E-08	2.792E-07	0.00051	0.91985	0.92184	0.77503	0.00019	0.00217	3.711E-08	0.6829	0.75345	0.92057

Untuk modal participating mass ratios dari modal 1 sampai dengan 723 dapat dilihat di lampiran

4.4 Kontrol Ketidakberaturan struktur Gedung

Klasifikasi struktur beraturan dan tidak beraturan

Struktur harus diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan pada kriteria dalam pasal ini. Klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur.

4.4.1 Ketidakberaturan horizontal

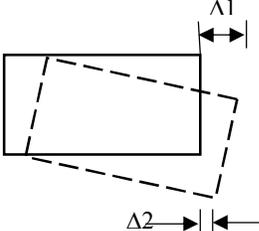
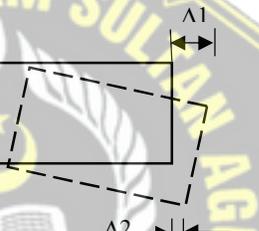
Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 4.4.1 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 13 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

Tabel 4.12 – Ketidakberaturan horizontal pada struktur Sumber : SNI 1726 : 2019

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakteraturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16	E dan F D dan F B, C, dan D C dan D D dan C C dan D D dan C B, C, dan D

	ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	11.3.4	
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	B, C, D,E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu- sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Tabel 4.13 Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan Horizontal (SNI 1726 : 2019)

No	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Ilustrasi grafis	Langkah perbaikan	Penerapan KDS
1.a	Ketidakberaturan torsi Didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur	 <p>Simpangan antar lantai tingkat</p> $\Delta 1 > 1,20 \left[\frac{\Delta 1 + \Delta 2}{2} \right]$	1	D,E,F
			2	C,D,E,F
			3	B,C,D,E,F
			4	C,D,E,F
			5	D,E,F
1.b	Ketidakberaturan Torsi Berlebih didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai rata-rata di kedua ujung struktur	 <p>Simpangan antar lantai tingkat</p> $\Delta 1 > 1,20 \left[\frac{\Delta 1 + \Delta 2}{2} \right]$	1	E,F
			2	D
			3	B,C,D
			4	C,D
			5	D

4.4.1.a Ketidakberaturan Torsi 1.a dan 1.b

Story	Displacement	
	δe_x (mm)	δe_y (mm)
3	0.044	0.040
2	0.017361	0.022
1	0.010	0.016

Ketidakberaturan Torsi 1.a Terjadi jika story drift maksimum lebih besar 1,2 kali story drift rata-rata dan Ketidakberaturan Torsi 1.b terjadi jika story drift maksimum lebih besar 1,4 kali story drift rata-rata.



Gambar 4.8 Denah Bangunan (lantai 1)

Pada As A''' terdapat re entrance corner sebesar $(7 \times 6 = 42 \text{ m})$

$(42/75) \times 100\% = 56\%$ terhadap panjang $75\text{m} > 15\%$

Pada As 13' terdapat re entrance corner sebesar 23m

$(23/44) \times 100\% = 52,3\%$ terhadap panjang $44\text{m} > 15\%$

Ditemukan **irregularitas horizontal type 2** (Ketidakberaturan sudut dalam)

Perbaikan Ketidakberaturan Struktur horizontal type 2

Struktur dengan ketidakberaturan tersebut harus dilakukan langkah perbaikan, sesuai dengan pasal acuan SNI 1726 -2019 yang terdapat pada tiap tipe ketidakberaturan dalam tabel 2.10 (ketidakberaturan horizontal), dimana untuk ketidakberaturan yang terjadi, struktur dilakukan perbaikan sebagai berikut :

1. Gaya Desain berdasarkan prosedur statik ditingkatkan 25%.
2. Kalikan momen torsi tak terduga (M_{ta}) di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi.
 - Untuk Arah X tidak mengalami Pembesaran Torsi sehingga dapat diasumsikan faktor pembesaran torsi semua tingkat diambil sebesar 1.
 - Untuk Arah Y faktor pembesaran torsi dikalikan dengan momen torsi tak terduga di masing-masing tingkat, dengan faktor pembesaran torsi terbesar pada arah Y yaitu sebesar 1,04
3. Melakukan Analisis dinamik 3D, dengan memperhitungkan pengaruh P-Δ.

4. Menghitung Simpangan antar lantai, dengan persyaratan sesuai SNI 1726 - 2019
5. Menggunakan model analisis yang diijinkan. Dimana struktur diijinkan dengan Analisis Spektrum Respons Ragam.

➤ Pasal 7.3.3.4 SNI 1726 – 2019 : peningkatan gaya akibat ketidakberaturan untuk kategori desain seismik D hingga F

Untuk struktur dengan kategori desain seismik D, E, F dan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1a, 1b, 2, 3 atau 4 tabel 13 atau ketidakberaturan struktur vertikal tipe 4 pada tabel 14, gaya desain yang ditentukan berdasarkan pasal 7.10.1.1 gaya desain diafragma harus ditingkatkan 25% untuk elemen-elemen sistem pemikul gaya seismik di bawah ini :

1. Sambungan antara diafragma dengan elemen-elemen vertikal dan dengan elemen-elemen kolektor,
2. Elemen kolektor dan sambungannya, termasuk sambungan- sambungan ke elemen vertikal dari sistem pemikul gaya seismik.

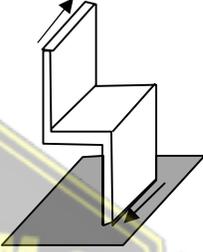
PENGECUALIAN gaya yang dihitung menggunakan efek gaya seismik, termasuk faktor kuat lebih sesuai pasal 7.4.3 pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih. Sumber : SNI 1726 : 2019

4.4.1.c Ketidakberaturan diskontinuitas Diafragma

No	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Ilustrasi grafis	Langkah perbaikan	Penerapan KDS
3	Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma. Didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma brutto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya		1	D,E,F
			5	D,E,F

Dari gambar denah untuk tiap lantai tidak terdapat daerah terbuka dengan luasan yang lebih besar dari 50% luas bangunan sehingga bangunan tersebut dikatakan **tidak memiliki ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.**

4.4.1.d Ketidakberaturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang

No	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Ilustrasi grafis	Langkah perbaikan	Penerapan KDS
4	Ketidakberaturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang. Didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertical.		1	D,E,F
			7	B,C,D,E,F
			3	B,C,D,E,F
			5	D,E,F

Pada Gambar 4.2 Denah Bangunan (lantai 1), Gambar 4.3 Denah Bangunan (lantai 2), Gambar 4.4 Denah Bangunan (lantai 3), Gambar 4.4 Denah Lantai dak atap. Dinding geser As 1 geser keluar bidang sejauh 2,5m arah bidang X (ke kiri), Dinding geser As I geser keluar bidang sejauh 2,5m arah bidang Y (ke bawah), maka **ditemui ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang.**

4.4.1.e Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

No	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Ilustrasi grafis	Langkah perbaikan	Penerapan KDS
5	Ketidakberaturan Sistem Nonparalel. Didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertical tidak parallel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama system penahan gaya seismik		1	D,E,F
			7	B,C,D,E,F
			3	B,C,D,E,F
			5	D,E,F

Pada denah bangunan (lantai 1, lantai 2, lantai 3 dan lantai dak atap) Tidak terdapat denah struktur yang menunjukkan penahan gaya lateral vertical tidak parallel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama system penahan

gaya seismic sehingga dapat disimpulkan **tidak terdapat ketidakberaturan Sistem nonparallel.**

4.4.2 Ketidakberaturan vertikal

Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 14 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismic sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 14 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

PENGECUALIAN

1. Ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 1a, 1b, atau 2 dalam Tabel 14 tidak berlaku jika tidak ada rasio simpangan antar tingkat akibat gaya seismic lateral desain yang nilainya lebih besar dari 130 % rasio simpangan antar tingkat di atasnya. Pengaruh torsi tidak perlu ditinjau pada perhitungan simpangan antar tingkat. Hubungan rasio simpangan antar tingkat untuk dua tingkat teratas struktur bangunan tidak perlu dievaluasi;
2. Ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 1a, 1b, dan 2 dalam Tabel 14 tidak perlu ditinjau pada bangunan satu tingkat dalam semua kategori desain seismic atau bangunan dua tingkat yang didesain untuk kategori desain seismic B, C, atau D.

Tabel 4.14 Ketidakberaturan vertikal pada struktur Sumber SNI 1726 - 2019

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan KDS
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat di dekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan FD, E, dan F
5a.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F

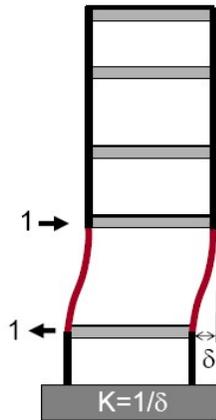
	Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.		
5b.	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 16	D, E, dan FB dan C D, E, dan F

Tabel 4.15 – Prosedur analisis yang diizinkan Sumber : SNI 1726 : 2019

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekivalen Pasal 7.8	Analisis spektrum respons ragam Pasal 7.9	Prosedur respons riwayat waktu seismik Pasal 11
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakteraturan	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakteraturan strukturan denganketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakteraturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakteraturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I

CATATAN I: Diizinkan, TI: Tidak Diizinkan

4.4.2.a Kontrol Ketidakberaturan 1a dan 1 b (Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak)



Ketidakberaturan (1a) ada bila kekakuan sebarang tingkat kurang dari 70% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

Ketidakberaturan ekstrim (1b) ada bila kekakuan sebarang tingkat kurang dari 60% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

Pengecualian: Ketidakberaturan ini tidak ada bila tidak satupun rasio drif tingkat yang nilainya lebih besar dari 1.3 kali rasio drif tingkat di atasnya.

Sumber: FEMA 451B

Gambar 4.7 (Ketidakberaturan Kekakuan tingkat lunak)

1.a $K_i < 0,7 K_{i+1}$ Atau $K_i < 0,8/3 (K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})$

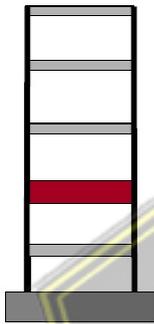
1.b $K_i < 0,6 K_{i+1}$ Atau $K_i < 0,7/3 (K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})$

Ketidakberaturan vertikal unuk beban gempa arah x										
joint	Z	Fx	akumulatif	U1	Δ_i	K	cek		cek	
It	(mm)	(kN)	Vx(Kn)	mm	(mm)	(KN/m m)	(70%Ki+1)	status	80%(avgKi+3)	status
747	13900	1	1	11.85	2.13	0.47				
563	9700	1	2	9.72	3.97	0.50	0.33	regular		
526	5500	1	3	5.75	5.45	0.55	0.35	regular		
483	1000	1	4	0.30	0.30	13.28	0.39	regular	0.27	regular
413	0	0	0	0	0	0	0			
Ketidakberaturan vertikal unuk beban gempa arah y										
joint	Z	Fx	kumulatif	U2	Δ_i	K	cek		cek	
It	(mm)	(kN)	Vx(Kn)	mm	(mm)	(KN/m m)	(70%Ki+1)	status	80%(avgKi+3)	status
747	13900	1	1	2.85	0.63	1.58				
563	9700	1	2	2.21	1.00	1.99	1.10	regular		
526	5500	1	3	1.21	1.14	2.63	1.39	regular		
483	1000	1	4	0.07	0.07	57.85	1.84	regular	1.00	regular
413	0	0	0	0	0	0	0			

Tidak ada kekakuan sebarang tingkat kurang dari 70% kekakuan tingkat di atasnya dan tidak ada kekakuan sebarang tingkat kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya (**teratur**).

4.4.2.b Ketidakberaturan Berat (Massa)

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F



Ketidakberaturan ini ada bila **massa** efektif sebarang tingkat lebih dari **150%** massa efektif tingkat yang berdekatan.

Pengecualian: Ketidakberaturan ini tidak ada bila tidak satupun rasio drif tingkat lebih besar dari 1.3 kali rasio drif tingkat di atasnya.

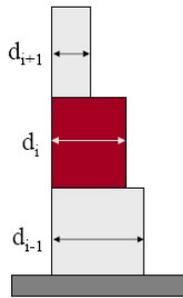
Gambar 4.8 Ketidakberaturan Berat (Massa)

type 2	ketidak beraturan massa		
lantai	W (KN)	150%W ₁₊₁	status
lt 3 dan atap	8,927.62		
lantai 2	15,904.64		
lantai 1	20,914.05	23,856.97	regular
total	45,746.31		

Tidak ada massa efektif sebarang tingkat yang lebih dari 150% massa efektif tingkat yang berdekatan (**teratur**).

4.4.2.c Ketidakberaturan Geometri Vertikal

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F



Ketidakberaturan ini ada bila dimensi sistem penahan beban lateral pada sebarang tingkat lebih dari **130%** dimensi pada sebarang tingkat yang berada didekatnya

Gambar 4.9 Ketidakberaturan Geometri Vertikal

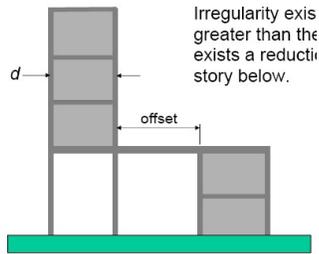
type 3	Geometry portal arah x			type 3	Geometry portal arah y		
joint				joint			
lantai	d_i (mm)	d_i/d_{i+1}	status	lantai	d_i (mm)	d_i/d_{i+1}	status
lt 3 dan atap	77.5			lt 3 dan atap	46.5		
lantai 2	77.5	100.75	regular	lantai 2	46.5	60.45	regular
lantai 1	77.5	100.75	regular	lantai 1	46.5	60.45	regular

Tidak ada dimensi system penahan beban lateral pada sebarang tingkat lebih dari 130% dimensi pada sebarang tingkat yang berada didekatnya (**teratur**).

4.4.2.d Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F

Ketidakberaturan ini ada bila terdapat pergeseran (offset) elemen penahan yang lebih besar dari lebar.

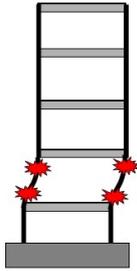


Gambar 4.10 Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal

Dapat disimpulkan bahwa gedung tersebut **tidak** memiliki Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal sebab tidak dijumpai kolom portal yang diskontinyu dari atap hingga pile cap (**teratur**)

4.4.2.e Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
5a.	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F



Ketidakberaturan (5a) ada bila kuat lateral sebarang tingkat kurang dari 80% kuat tingkat di atasnya.

Ketidakberaturan ekstrim (5b) ada bila kuat lateral sebarang tingkat kurang dari 65% kuat tingkat di atasnya.

Gambar 4.11 Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

TABLE: Groups 3 - Masses and Weights

Group Name	SelfMass	SelfWeight	TotalMass X	TotalMass Y	TotalMass Z
Text	KN-s2/m	KN	KN-s2/m	KN-s2/m	KN-s2/m
ALL	4684.12	45935.49	4684.12	4684.12	4684.12
lantai 1	2132.64	20914.05	2132.64	2132.64	2132.64
lantai 2	1621.82	15904.64	1621.82	1621.82	1621.82
lantai 3 dan atap	910.36	8927.62	910.36	910.36	910.36

Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5a dan 5b

Lantai	W (KN)	h	k	W.h ^k	Cv	Vx	Vi/Vi+1	Status
lantai 3 dan	8,927.62	12.90	1.18	181,323.91	0.36	0.36		
lantai 2	15,904.64	8.70	1.18	203,145.81	0.40	0.76	2.12	reguler
lantai 1	20,914.05	4.50	1.18	122,912.43	0.24	1.00	1.32	reguler
				507382.15	1			
			T	0.5	0.855	2.5		
			K	1	1.1775	2		

interpolasi

Dari hasil (V_i/V_{i+1}) tidak dijumpai kuat lateral sebarang tingkat kurang dari 80% maupun ketidakberaturan ekstrim (kuat lateral sebarang tingkat kurang dari 65%) kuat tingkat di atasnya sehingga dapat disimpulkan bahwa gedung tersebut **tidak memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b**

4.5 Analisis Penulangan Balok-Kolom SRPMK

Tabel 4.5 yang harus dipenuhi dalam penerapan pada umumnya

Komponen yang menahan pengaruh gempa, kecuali jikadinyatakan sebaliknya	Kategori Desain Seismik			
	A (Tidak ada)	B (18.2.1.3)	C (18.2.1.4)	D, E, F (18.2.1.5)
Persyaratan analisis dan desain		18.2.2	18.2.2	18.2.2, 18.2.4
Material		Tidak ada	Tidak ada	18.2.5 hingga 18.2.8
Komponen sistem rangka pemikul momen		18.3	18.4	18.6 hingga 18.9
Dinding struktural dan balok kopel		Tidak ada	Tidak ada	18.10
Dinding struktural pracetak		Tidak ada	18.5	18.5 ^[2] , 18.11
Diafragma dan rangka batang (<i>trusses</i>)		Tidak ada	Tidak ada	18.12
Fondasi		Tidak ada	Tidak ada	18.13
Komponen struktur rangka pemikul momen yang tidak ditetapkan sebagai sistem pemikul gaya seismik	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	18.14
Angkur		Tidak ada	18.2.3	18.2.3

1] Sebagai tambahan terhadap persyaratan Pasal 1 hingga 17, 19 hingga 26, dan ACI 318.2, kecuali yang dimodifikasi oleh Pasal 18. Pasal 14.1.4 juga berlaku pada KDS D, E, dan F

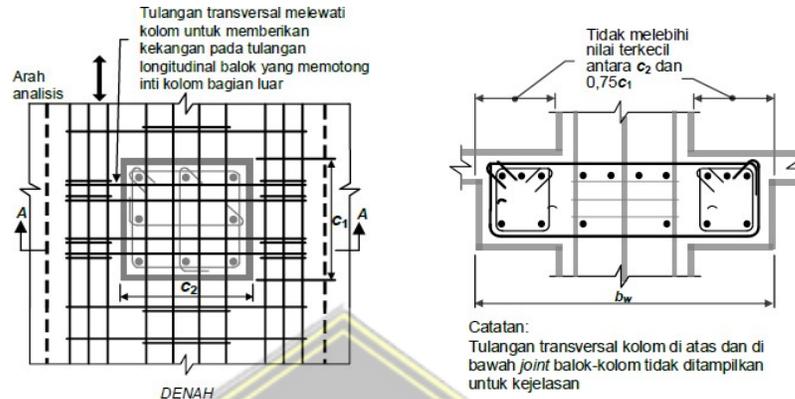
2] Sebagaimana diizinkan oleh SNI 1726-2019

4.5.1 Syarat Dimensi Penampang

Sebuah komponen lentur bagian dari SRPMK, harus memenuhi kriteria sebagai berikut :

- a. Panjang bentang bersih, l_n , harus lebih besar dari 4 kali tinggi efektif.
($l_n \geq 4d$)
- b. Lebar penampang, b_w , tidak kurang dari 0,3 kali tinggi penampang namun tidak boleh diambil kurang 250mm. ($b_w \geq 0,3h$ atau 250 mm)

- c. Lebar penampang, b_w , tidak boleh melebihi lebar kolom pendukung ditambah nilai terkecil dari : lebar kolom atau $\frac{3}{4}$ kali dimensi kolom dalam arah sejajar komponen lentur (SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1)



Gambar 4.12 Syarat Dimensi Penampang Balok-Kolom

4.5.2 Syarat Tulangan Lentur

- a. Jumlah tulangan lentur baik disebelah atas atau disebelah bawah penampang (A_s) tidak boleh kurang dari :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} b_w d \\ \frac{1,4}{f_y} b_w d \end{array} \right\} \leq A_s \leq 0,025 b_w d$$

Sedikitnya harus disediakan dua buah tulangan menerus, baik di sisi atas maupun disisi bawah penampang.

- b. Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat lentur negatifnya pada muka tersebut :

$$\phi M_n^{+ki} \geq \frac{1}{2} \phi M_n^{-ki} \quad (\text{tumpuan kiri})$$

$$\phi M_n^{+ka} \geq \frac{1}{2} \phi M_n^{-ka} \quad (\text{tumpuan kanan})$$

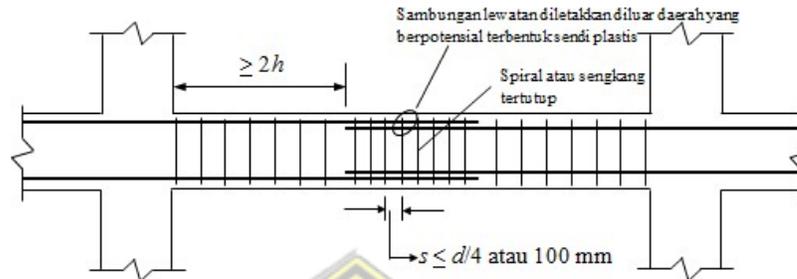
Dengan :

M_n^{ki} adalah kuat momen pada bagian tumpuan sebelah kiri dari komponen lentur

M_n^{ka} adalah kuat momen pada bagian tumpuan sebelah kanan dari komponen lentur

- c. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut.

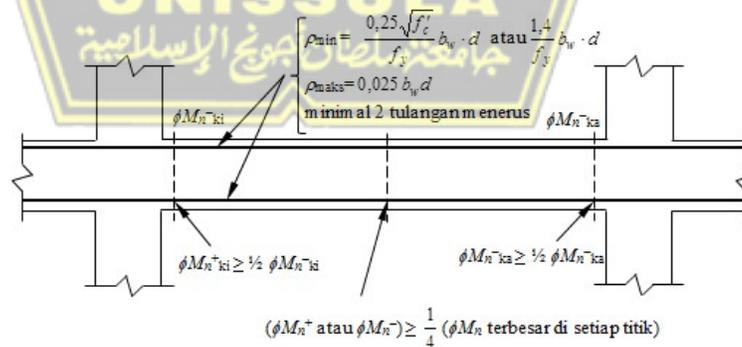
$$(\phi M_n^+ \text{ atau } \phi M_n^-) \geq \frac{1}{4} (\phi M_n \text{ terbesar di setiap titik})$$



Gambar 4.13 Persyaratan Tulangan Lentur SRPMK (SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1)

- d. Sambungan lewatan pada tulangan lentur hanya diijinkan jika ada tulangan spiral atau sengkang tertutup yang mengikat bagian sambungan lewatan tersebut. Spasi sengkang yang mengikat daerah sambungan lewatan tersebut tidak boleh melebihi $d/4$ atau 100 mm.

Sambungan lewatan tidak boleh diaplikasikan pada daerah hubungan balok-kolom, pada daerah hingga sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom, serta pada tempat yang berdasarkan analisis, menunjukkan kemungkinan terjadinya leleh lentur akibat perpindahan inelastic struktur rangka.



Gambar 4.14 Persyaratan Sambungan lewatan (SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1)

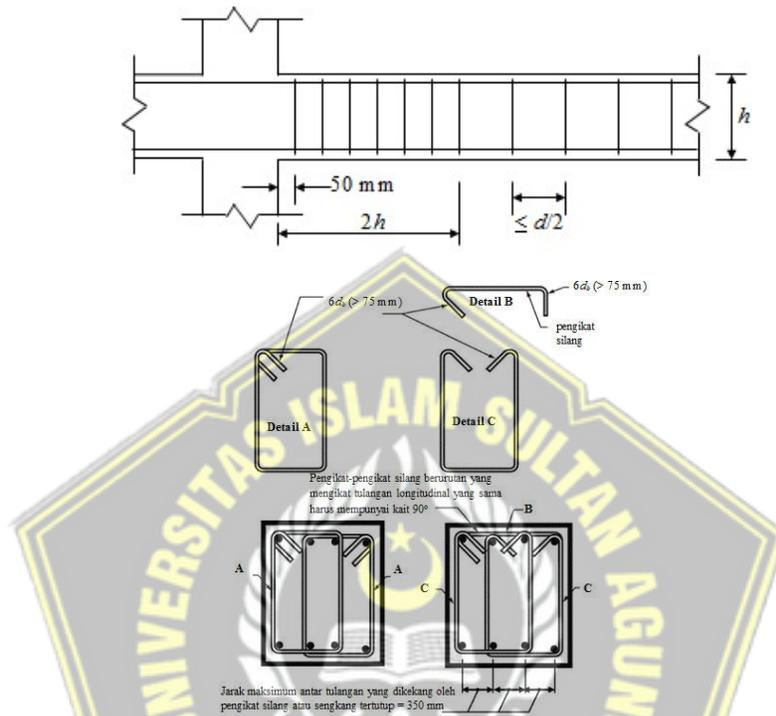
4.5.3 Syarat Tulangan Transversal

- a. Sengkang pengekang harus disediakan pada daerah hingga **dua kali tinggi balok** diukur dari muka tumpuan pada kedua ujung komponen struktur lentur. Selain itu sengkang pengekang juga **harus** dipasang di sepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang, pada tempat yang diharapkan dapat terjadi leleh lentur (lokasi sendi plastis).
- b. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Jarak antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi dari nilai terkecil antara :
 1. $d/4$
 2. $6d_b$ (6 kali diameter tulangan memanjang terkecil)
 3. 150 mm
- c. Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang pengekang, sengkang dengan kait gempapada kedua ujungnya harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari $d/2$ di sepanjang bentang komponen struktur lentur.
- d. Sengkang tertutup dapat terdiri dari dua buah tulangan, yaitu : sebuah sengkang dengan kait gempapada kedua ujung dan ditutup oleh pengikat silang. Pada pengikat silang yang berurutan yang mengikat tulangan memanjang yang sama, kait 90° nya harus dipasang berselang-seling. Tulangan transversal untuk SRPMK harus didesain untuk memikul gaya geser rencana, V_e yang ditimbulkan oleh kuat lentur maksimum, M_{pr} , dengan tanda berlawanan, yang dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan. Pada saat yang bersamaan komponen struktur tersebut dianggap memikul beban gravitasi terfaktor disepanjang bentangnya. M_{pr} adalah kuat momen lentur di ujung balok yang ditentukan dengan menganggap kuat Tarik pada tulangan memanjang sebesar minimum $1,25f_y$ dan factor reduksi $\phi = 1$ (SNI 2847 : 2019 pasal 18.6.5)

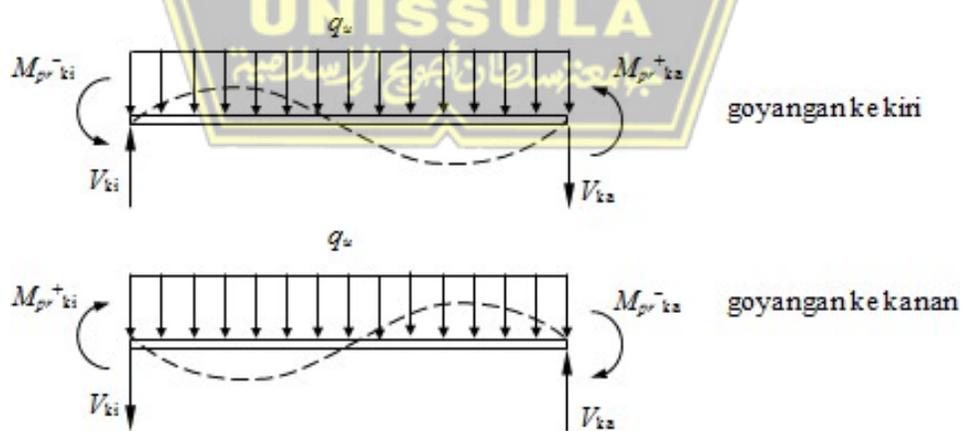
$$M_{pr} = A_s (1,25 f_y)(d - a/2) \quad a = \frac{A_s(1,25 f_y)}{0,85 f' c b}$$

$$V_{ki} = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{l_n} + \frac{q_u l_n}{2}$$

$$V_{ka} = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n} - \frac{q_u l_n}{2}$$



Gambar 4.15 Persyaratan Tulangan transversal



Gambar 4.16 Gaya geser rencana pada komponen struktur lentur

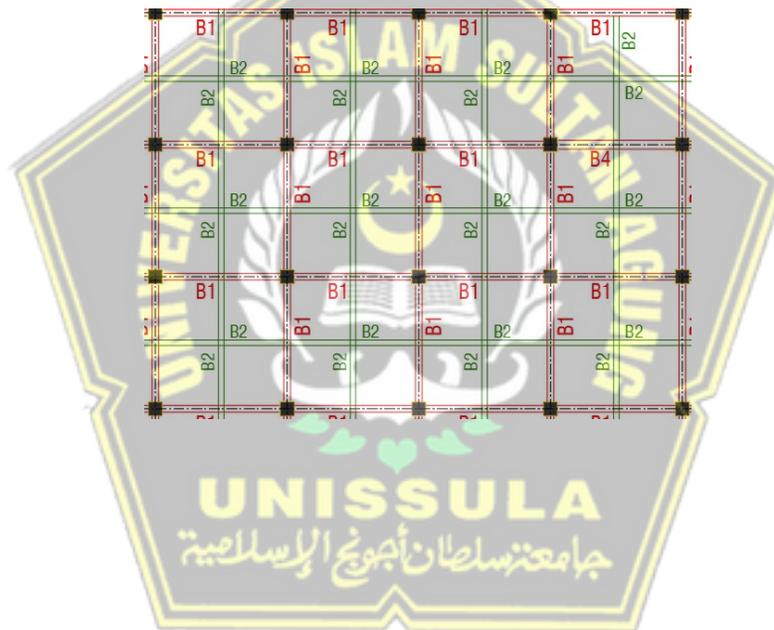
Kuat geser yang disumbangkan oleh beton, V_c dapat diambil sama dengan nol apabila gaya geser akibat gempa lebih besar atau sama dengan 50% dari kuat

geser perlu maksimum disepanjang daerah tersebut, serta apabila gaya aksial tekan terfaktor, termasuk akibat gempa, lebih kecil dari $A_g f_c / 20$. (SNI 2847: 2019 pasal 18.6.5.2)

4.6 Evaluasi Balok – Kolom

Evaluasi Balok Lantai 2

DIMENSI	300 x 600		DIMENSI	250 x 600		DIMENSI	20 x 60	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
B1			B2			B3		
TUL. ATAS	6D22	4D22	TUL. ATAS	3D22	2D22	TUL. ATAS	3D22	2D22
TUL. BAWAH	4D22	6D22	TUL. BAWAH	2D22	3D22	TUL. BAWAH	2D22	3D22
SENGKANG	2D10-100	2D10-150	SENGKANG	D10-100	D10-150	SENGKANG	D10-100	D10-150
TUL. PEMINGGANG	2D22	2D22	TUL. PEMINGGANG	2D22	2D22	TUL. PEMINGGANG	2D22	2D22



4.6.1. BALOK B1-300X600

NO. ELEMEN FRAME : 48 - 49

Data Balok :

b	=	300 mm
h	=	600 mm
fc'	=	25 MPa
fy	=	420 MPa
Es	=	200000 MPa
β_1	=	0.85
ϕ	=	0.9

Tumpuan

Mu(-)	=	350.371 kNm
dia tul	=	22 mm
As,1tul	=	283.64 mm ²
Selimut btn	=	40 mm
Mu(+)	=	157.24 kNm
Dia sengkang	=	10 mm
B. Lapangan		
Mu(+)	=	170.779 kNm

Pemenuhan Syarat Dimensi Penampang

a. $l_n \geq 4d$

$$d = h - \text{selimut beton} - \text{diameter sengkang} - b/2$$

$$539 \text{ mm}$$

$$l_n = L - B \text{ (kolom)}$$

$$5500 \text{ mm} > 2156 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

b. $b_w \geq 0,3 h$ atau 250 mm

$$b_w = 300 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$0.3 h = 180 \text{ mm} < b_w$$

c. $b_w \leq b_{kol} + 2(\min\{b_{kol}; 3/4 h_{kol}\})$

$$B_w = 300 \text{ mm} < 1250 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

DIMENSI	300 x 600	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
B1		
TUL. ATAS	6D22	4D22
TUL. BAWAH	4D22	6D22
SENGKANG	2D10-100	2D10-150
TUL. PEMINGGANG	2D22	2D22

Pemenuhan Syarat Desain Tulangan lentur

$$\rho = 0.00391$$

$$\rho_{maks} = 0.025$$

$$\rho_{min} = 1.4/f_y$$

$$0.003333333$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{maks} \quad \text{OK}$$

$$\phi M_n^+ \text{ atau } \phi M_n^- \geq 1/4 (\phi M_n \text{ terbesar})$$

$$249.853 \geq 88.90548853 \quad \text{OK}$$

$$\phi M_n^+ k_i \geq 1/2 \phi M_n^- k_i \quad 249.853 > 177.8109771 \quad \text{OK}$$

$$\phi M_n^+ k_a \geq 1/2 \phi M_n^- k_a$$

Pemenuhan syarat Tulangan Transversal

$$V_s < 0.66 \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$247.62 < 533.61 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

(penampang mencukupi)

4.6.1. BALOK B2-250X550

NO. ELEMEN FRAME : 265-336

Data Balok :		Tumpuan	
b	=	250 mm	Mu(-) = -60.497 kNm
h	=	550 mm	dia tul = 22 mm
fc'	=	25 MPa	As,1tul = 283.64 mm ²
fy	=	420 MPa	Selimut btn = 40 mm
Es	=	200000 MPa	Mu(+) = 30.708 kNm
β_1	=	0.85	Dia sengkang = 10 mm
ϕ	=	0.9	B. Lapangan Mu(+) = 35.734 kNm

Pemenuhan Syarat Dimensi Penampang

a. $l_n \geq 4d$

$$d = h - \text{selimut beton} - \text{diameter sengkang} - b/2$$

$$489 \text{ mm}$$

$$l_n = L - B \text{ (kolom)}$$

$$5500\text{mm} > 1956\text{mm} \text{ OK}$$

b. $b_w \geq 0,3 h$ atau 250 mm

$$b_w = 250\text{mm} > 250 \text{ mm} \text{ OK}$$

$$0.3 h = 165 \text{ mm} < b_w$$

c. $b_w \leq b_{kol} + 2(\min\{b_{kol}; 3/4 h_{kol}\})$

$$B_w = 300\text{mm} < 1250\text{mm} \text{ OK}$$

DIMENSI	300 x 600	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
B1		
TUL. ATAS	6D22	4D22
TUL. BAWAH	4D22	6D22
SENGKANG	2D10-100	2D10-150
TUL. PEMINGGANG	2D22	2D22

Pemenuhan Syarat Desain Tulangan lentur

$$\rho = 0.005304$$

$$\rho_{maks} = 0.025$$

$$\rho_{min} = 1.4/f_y$$

$$0.00333333$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{maks} \text{ OK}$$

$$\phi M_n^+ \text{ atau } \phi M_n^- \geq 1/4 (\phi M_n \text{ terbesar})$$

$$117.199 \geq 42.1168 \text{ OK}$$

$$\phi M_n^{+ki} \geq 1/2 \phi M_n^{-ki} \quad 117.199 > 84.2336 \text{ OK}$$

$$\phi M_n^{+ka} \geq 1/2 \phi M_n^{-ka}$$

Pemenuhan syarat Tulangan Transversal

$$V_s < 0.66 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$130.28 < 403.425 \text{ kN} \text{ OK}$$

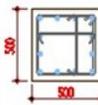
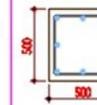
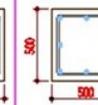
(penampang mencukupi)

Untuk detail perhitungan ada di lampiran

4.7 Evaluasi Kolom SRPMK

4.7.1 Evaluasi Kolom K1

No Frame	Kolom	(Pu) KN	Momen atas (KNm)	Momen bawah (KNm)	Gaya geser (KN)	Elevasi (m)
	K1	1726.694	15.0571	2.8287	17.886	-1 ke 0
1082	K1	1,719.63	8.8601	15.0571	15.552	0 ke 4.5
1147	K2	1,007.49	19.2876	22.8974	10.044	4.5 ke 8.7
1148	K3	407.58	21.6942	23.7025	10.809	8.7 ke 12.9

DIMENSI	500 x 500		DIMENSI	500 x 500		DIMENSI	500 x 500	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
KOLOM K1			KOLOM K2			KOLOM K3		
TUL. UTAMA	12D22	12D22	TUL. UTAMA	8D22	8D22	TUL. UTAMA	8D19	8D19
SENGKANG	D10-100	D10-150	SENGKANG	D10-100	D10-150	SENGKANG	D10-100	D10-150
S. PENGKAT	2D10-300	2D10-450	S. PENGKAT	D10-200	D10-350	S. PENGKAT	-	-
S. HBK	2D16-80	-	S. HBK	-	-	S. HBK	-	-

Evaluasi dimensi

1. a. Batasan Dimensi (pasal 18.7.2.1 SNI 2847 – 2019)

Kolom – kolom harus memenuhi :

- Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm

$$500 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya $< 0,4$
Perbandingan b/h

$$500/500 = 1$$

$$1 > 0,4 \quad \text{OK}$$

1. Evaluasi Penulangan

2. a Tulangan longitudinal (pasal 18.7.2.1 SNI 2847 – 2019)

18.7.4 Luas tulangan longitudinal Ast tidak boleh kurang dari $0,01 A_g$ dan tidak lebih dari $0,06 A_g$

$$\rho_g = \frac{12D22}{500 \times 500} = \frac{4560}{250000} = 0.01824$$

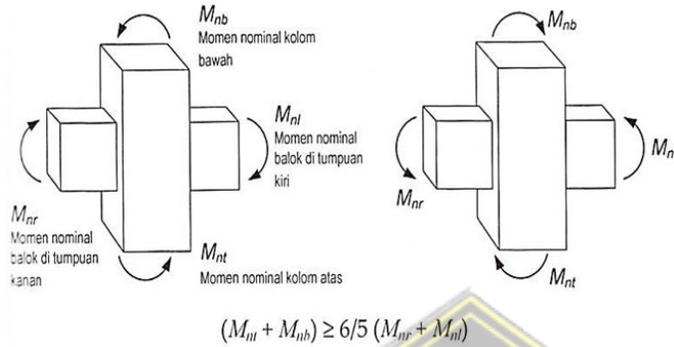
$$0.01 < 0.01824 < 0.06 \quad \text{OK}$$

2. Cek Kuat Lentur minimum

Komponen Pemikul lentur dan gaya Aksial pada SRPMK

Persyaratan Tulangan lentur (pasal 18.7.2.1 SNI 2847 – 2019)

$$SMnC \geq SMnB$$



DIMENSI	300 x 600	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
B1		
TUL. ATAS	6D22	4D22
TUL. BAWAH	4D22	6D22
SENGKANG	2D10-100	2D10-150
TUL. PEMINGGANG	2D22	2D22

Mn Balok

Momen (-)

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{6(380)(420)}{0.85(25)(30)} = \frac{957600}{6375} = 150.212 \text{ mm}$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mn = 453,801,007.06 \text{ Nmm}$$

$$= 453.80 \text{ KNm}$$

Momen (+)

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{4(380)(420)}{0.85(25)(30)} = \frac{638400}{6375} = 100.1412 \text{ mm}$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mn = 318,516,536.47 \text{ Nmm}$$

$$= 318.52 \text{ KNm}$$

$$M_{nB,Ki} = 453.80 \text{ KNm}$$

$$M_{nB,Ka} = 318.52 \text{ KNm}$$

$$M_n \text{ Kolom} = \frac{\text{Kolomatas}(K2)}{\text{Kolombawah}} = \frac{22.90 \text{ KN}}{15.0571 \text{ KN}}$$

Diagram Interaksi Kolom

$$P_u = 1719.63 \text{ KN}$$

$$M_u = 15.0571 \text{ KNm}$$

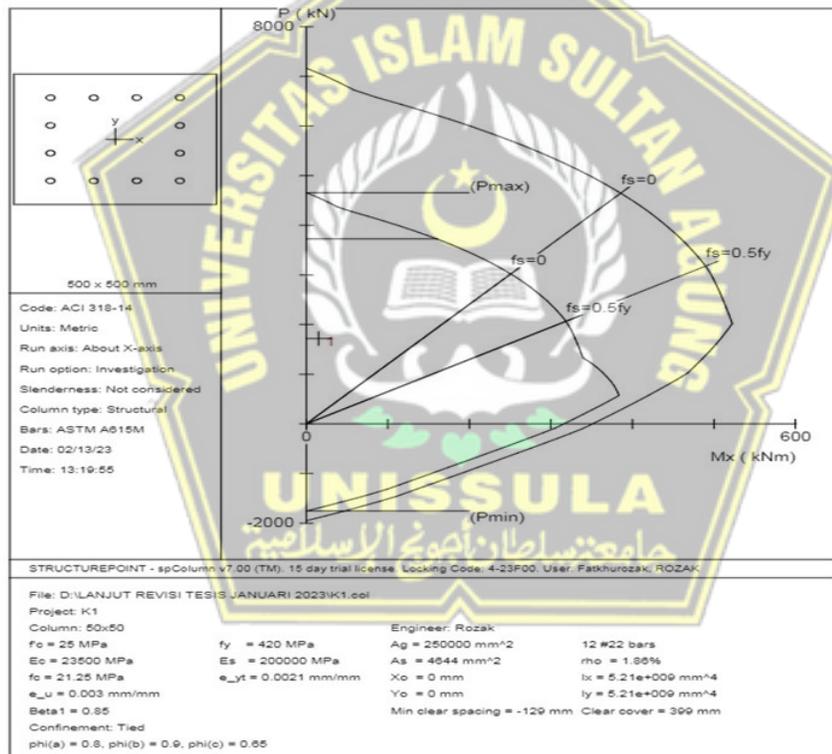
$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa} = 0.025 \text{ KN/mm}^2$$

$$f_y = 420 \text{ MPa} = 0.42 \text{ KN/mm}^3$$

$$e_y = f_y/E_s = 0.002$$

$$A1 = A2 = 5 \cdot (1/4) \pi \cdot 22^2 = 7605.7143$$



Beban masih berada di kuat rencana

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacity Ratios

NOTE: Calculations are based on "Moment Capacity" Method.

NO.	Demand		Capacity		Parameter at Capacity			Capacity Ratio
	Pu kN	Mux kNm	ϕP_n kN	ϕM_{nx} kNm	NA Depth mm	ϵ_t	ϕ	
1	1007.49	22.90	1007.49	365.07	197	0.00324	0.749	0.06
2	1726.69	15.06	1726.69	329.55	273	0.00150	0.650	0.05

$$\phi M_n = 329.55 \text{ KNm} \quad \phi M_n = 365.07 \text{ KNm}$$

$$M_{nc,b} = \phi M_{nx} / 0,65 \quad M_{nc,b} = \phi M_{nx} / 0,65$$

$$507.00 \text{ KNm} \quad 561.65 \text{ KNm}$$

kekuatan lentur minimum kolom (SNI 2847 : 2019 Pasal 18.7.3)

18.7.3.1 Kolom-kolom harus memenuhi 18.7.3.2 atau 18.7.3.3

18.7.3.2 Kekuatan lentur kolom harus memenuhi

$$SM_{nc} \geq 1.2 SM_{nb}$$

$$1,068.65 > 926.7810522 \text{ OK}$$

Strong Column Weak Beam terpenuhi

2.b. Tulangan Transversal (SNI 2847 : 2019 Pasal 18.7.5.4)

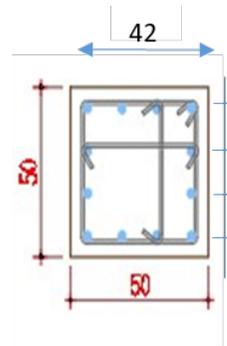
$$P_u > 0.3 A_g f_c$$

$$1,719.63 \text{ KN} < 0.3(500)(500)(25)$$

$$1.719.626 \text{ N} < 1875000 \text{ N}$$

$$1719.626 \text{ KN} < 1875 \text{ KN}$$

Tulangan transversa I	Kondisi	Persamaan yang berlaku
A_{sh}/sb_c untuk sengkang pengekaang persegi	$P_u \leq 0,3A_g f_c$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b) $0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$ (a) $0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}}$ (b)
	$P_u > 0,3A_g f_c$ atau $f_c' > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b) dan (c) $0,2k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (c)



$$bc = 500 - 2(40) = 420 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = 420 \times 420 = 176,400 \text{ mm}^2$$

$$A_g = 500 \times 500 = 250,000 \text{ mm}^2$$

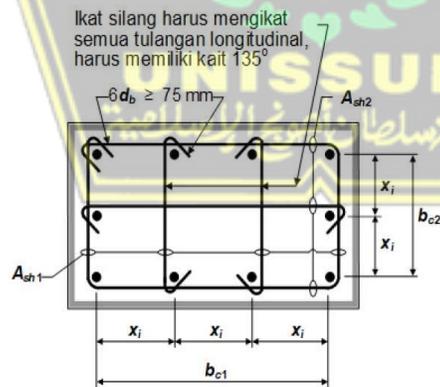
$$x_1 = (500 - 2(40) - 2(10) - 25) / 3 = 126 \text{ mm}$$

jumlah tulangan transversal harus sesuai table 18.7.5.4

factor kekuatan balok beton k_f dan factor keefektifan pengekaang k_n dihitung berdasarakan persamaan 18.7.5.4a dan 18.7.5.4b

$$a. \quad k_f = (f_c' / 175) + 0.6 \geq 1,0 \quad (18.7.5.4a)$$

$$b. \quad k_n = \frac{nl}{nl - 2} \quad (18.7.5.4b)$$



Dimensi x_i antara sumbu-sumbu penampang tulangan longitudinal yang ditopang secara lateral tidak melebihi 200 mm. Nilai h_x dalam Pers. (18.7.5.3) diambil sebagai nilai terbesar dari x_i .

$$0.3 \left[\frac{Ag}{Ach} - 1 \right] \frac{f'c}{fyt} = 0.00745$$

$$Ash/Sbc = \max$$

$$0.09 \cdot \frac{f'c}{fyt} = 0.00536$$

Syarat jarak tulangan transversal (SNI 2847 : 2019 pasal 18.7.5.3)

- $\frac{1}{4}$ dimensi terkecil komponen struktur = $\frac{1}{4}$ (500) = 125 mm
- 6 kali diameter tulangan memanjang = 6(22) = 132 mm
- $S_o = 100 + \frac{350 - 126}{3} = 174.667$ mm

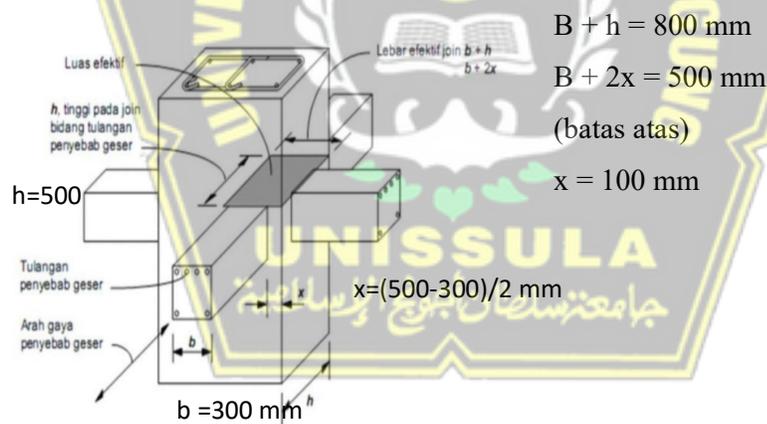
Ambil jarak maksimum tulangan transversal 100 mm

$$Ash/S = bc \cdot (0.00904) = 2.25$$

$$Ash = 2.25 \cdot 100 = 225 \text{ mm}^2$$

Sehingga digunakan sengkang tertutup dan ikat silang diameter 10 mm dengan luas tampang diatas 225 mm² (3P10 = 236 mm²) dapat disimpulkan sengkang tersebut adalah (3P – 100) OK.

Hubungan Balok Kolom pada SRPMK



SNI 2847 : 2019 pasal 18.8.4.3

Luas tampang efektif dalam suatu join, A_j , harus diitung dari tinggi join kali lebar join efektif. Tinggi join harus selebar kolom, h . lebar joint efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar join efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) dan b) :

- Lebar balok ditambah tinggi join

- b) 2x jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.

EVALUASI TULANGAN TRANSVERSAL (HBK)

- Terdapat empat buah balok yang merangka pada keempat sisi HBK OK
- Lebar balok (=300 mm) menutupi $\frac{3}{4}$ lebar kolom (= $\frac{3}{4} \times 500 = 375$ mm) OK

Jumlah tulangan transversal dapat diambil $\frac{1}{2}$ dari kebutuhan tulangan transversal pada daerah sendi plastis kolom

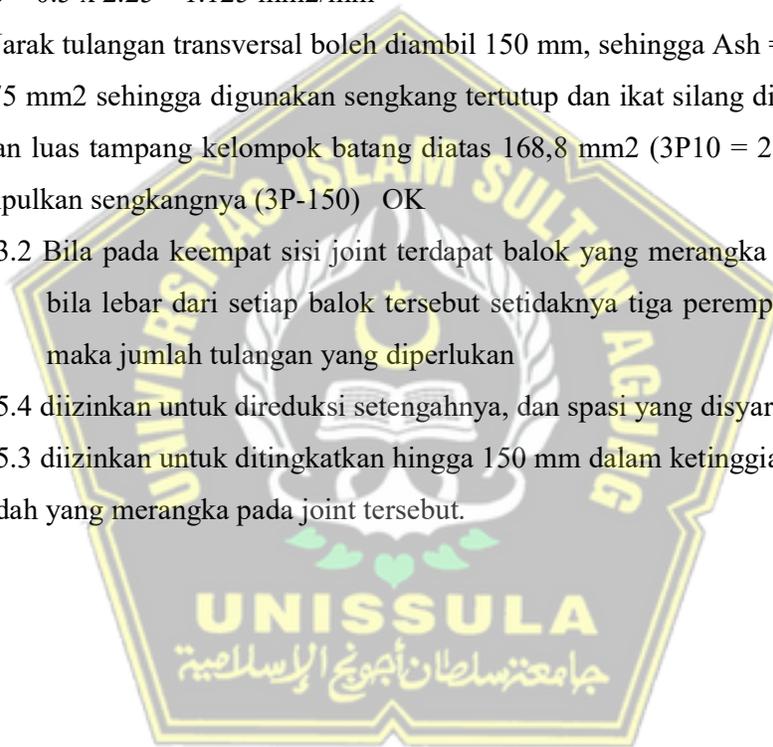
$$A_{sh/s} = 0.5 \times 2.25 = 1.125 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jarak tulangan transversal boleh diambil 150 mm, sehingga $A_{sh} = 150 (1.125) = 168.75 \text{ mm}^2$ sehingga digunakan sengkang tertutup dan ikat silang diameter 10 mm, dengan luas tampang kelompok batang diatas $168,8 \text{ mm}^2$ ($3P10 = 236 \text{ mm}^2$) dapat disimpulkan sengkangnya ($3P-150$) OK

18.8.3.2 Bila pada keempat sisi joint terdapat balok yang merangka kepadanya dan bila lebar dari setiap balok tersebut setidaknya tiga perempat lebar kolom, maka jumlah tulangan yang diperlukan

18.7.5.4 diizinkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang disyaratkan

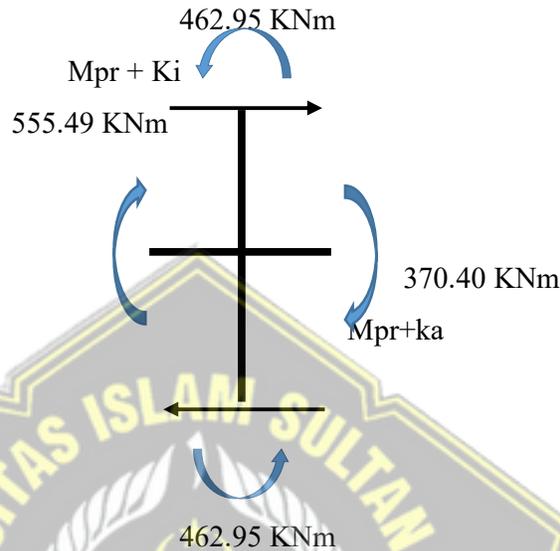
18.7.5.3 diizinkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian balok h yang terendah yang merangka pada joint tersebut.



EVALUASI KUAT GESER

Karena kolom dianggap memiliki kekakuan yang sama, maka faktor distribusi, DF, diambil sebesar 0,5 dan momen yang timbul pada kolom diatas HBK adalah :

$$M_c = 0.5 \quad 555.485 + \quad 370.405 = \quad 462.95 \quad \text{kNm}$$



Gaya geser dari kolom sebelah atas adalah sebesar :

$$V_{\text{goyangan}} = \frac{462.95 + 462.95}{4.5} = 205.75 \text{ kNm}$$

Luas tulangan atas adalah 6D22 ($A_s = 2281 \text{ mm}^2$), sehingga gaya yang bekerja pada tulangan atas Pada sebelah kiri HBK adalah :

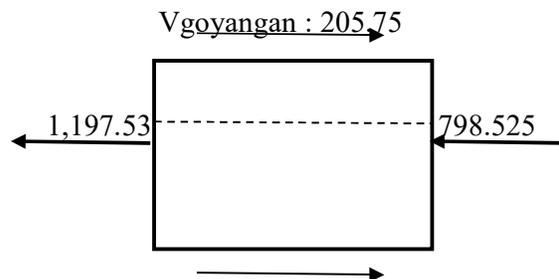
$$T_1 = 1.25 A_g \cdot f_y = 1,197,525.00 \text{ N} = 1,197.53 \text{ kN}$$

Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kiri HBK, sebesar : $C_1 = T_1 = 1,197.53 \text{ N}$

Dengan cara yang sama untuk sisi kanan HBK ($A_s = 4D22 = 1521 \text{ mm}^2$) diperoleh

+

$$T_2 = C_2 = 798525 \text{ N} = 798.525 \text{ kN}$$



4.7 Evaluasi Kolom SRPMK

4.7.2 Evaluasi Kolom K2

No Frame	Kolom	(Pu) KN	Momen atas (KNm)	Momen bawah (KNm)	Gaya geser (KN)	Elevasi (m)
	K1	1726.694	15.0571	2.8287	17.886	-1 ke 0
1082	K1	1,719.63	8.8601	15.0571	15.552	0 ke 4.5
1147	K2	1,007.49	19.2876	22.8974	10.044	4.5 ke 8.7
1148	K3	407.58	21.6942	23.7025	10.809	8.7 ke 12.9

DIMENSI	500 x 500	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
KOLOM K2		
TUL. UTAMA	8D22	8D22
SENGKANG	D10-100	D10-150
S.PENGIKAT	D10-200	D10-350
S.HBK		

1. Evaluasi dimensi

1.a. Batasan Dimensi (pasal 18.7.2.1 SNI 2847 – 2019)

Kolom – kolom harus memenuhi :

- Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm
500 mm > 300 mm OK
- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya < 0,4
Perbandingan b/h

$$500/500 = 1$$

$$1 > 0,4 \quad \text{OK}$$

3. Evaluasi Penulangan

2.a Tulangan longitudinal (pasal 18.7.2.1 SNI 2847 – 2019)

18.7.4 Luas tulangan longitudinal Ast tidak boleh kurang dari 0,01 Ag dan tidak lebih dari 0,06 Ag

$$\rho_g = \frac{8D22}{500 \times 500} = \frac{3040}{250000} = 0.01216$$

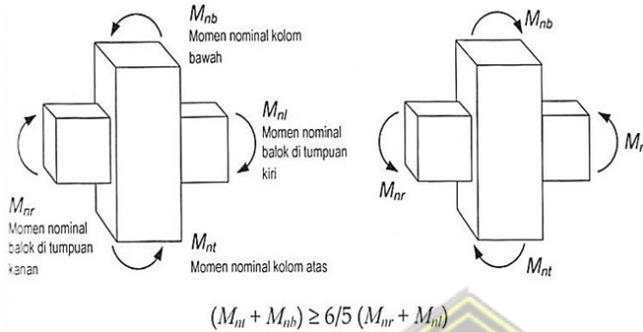
$$0.01 < 0.01824 < 0.06 \quad \text{OK}$$

4. Cek Kuat Lentur minimum

Komponen Pemikul lentur dan gaya Aksial pada SRPMK

Persyaratan Tulangan lentur (pasal 18.7.2.1 SNI 2847 – 2019)

$$SMnC \geq SMnB$$



DIMENSI	300 x 600		DIMENSI	250 x 600	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
B1			B2		
TUL. ATAS	6D22	4D22	TUL. ATAS	3D22	2D22
TUL. BAWAH	4D22	6D22	TUL. BAWAH	2D22	3D22
SENGKANG	2D10-100	2D10-150	SENGKANG	D10-100	D10-150
TUL. PEMINGGANG	2D22	2D22	TUL. PEMINGGANG	2D22	2D22

Mn Balok

Momen (-)

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{6(380)(420)}{0.85(25)(30)} = \frac{957600}{6375} = 150.212 \text{ mm}$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mn = 453,801,007.06 \text{ Nmm}$$

$$= 453.80 \text{ KNm}$$

Momen (+)

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{4(380)(420)}{0.85(25)(30)} = \frac{638400}{6375} = 100.1412 \text{ mm}$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$Mn = 318,516,536.47 \text{ Nmm}$$

$$= 318.52 \text{ KNm}$$

$$MnB, Ki = 453.80 \text{ KNm}$$

$$MnB, Ka = 318.52 \text{ KNm}$$

$$Mn \text{ Kolom} = \frac{Kolomatas(K2)}{Kolombawah} = \frac{23.70KN}{8.8601KN}$$

Diagram Interaksi Kolom

$$Pu = 1,007.49 \text{ KN}$$

$$Mu = 22.8974 \text{ KNm}$$

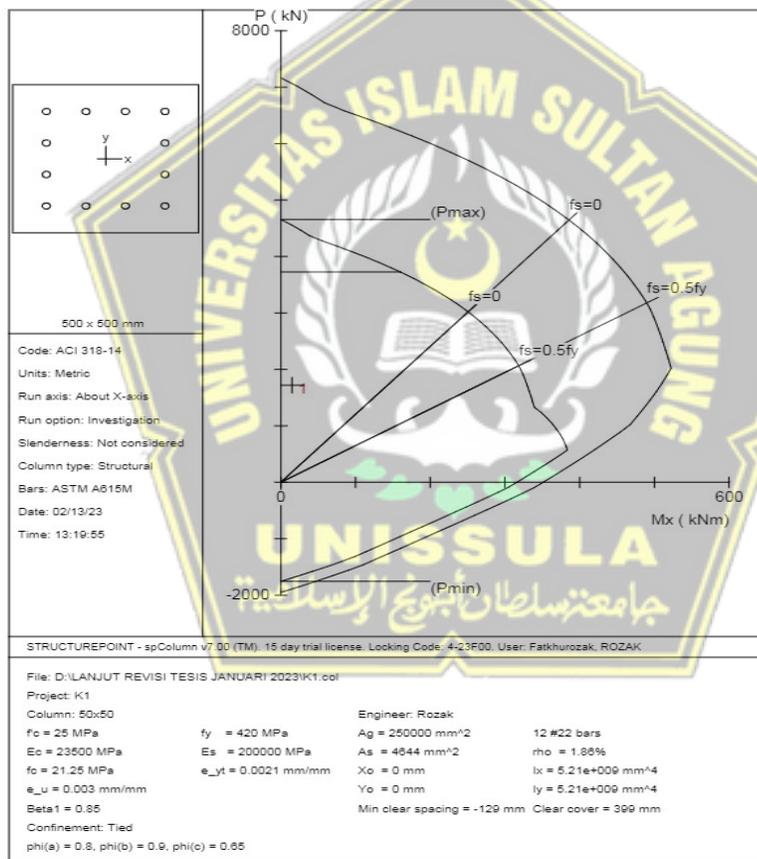
$$Es = 210000 \text{ MPa}$$

$$f'c = 25 \text{ MPa} = 0.025 \text{ KN/mm}^2$$

$$fy = 420 \text{ MPa} = 0.42 \text{ KN/mm}^3$$

$$ey = fy/Es = 0.002$$

$$A1 = A2 = 5 \cdot (1/4) \pi \cdot 22^2 = 7605.7143$$



Beban masih berada di kuat rencana

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacity Ratios

NOTE: Calculations are based on "Moment Capacity" Method.

NO.	Demand		Capacity		Parameter at Capacity			Capacity Ratio
	Pu kN	Mux kNm	ϕP_n kN	ϕM_{nx} kNm	NA Depth mm	ϵ_t	ϕ	
1	1719.63	8.86	1719.63	329.74	273	0.00151	0.650	0.03
2	1007.49	19.29	1007.49	365.07	197	0.00324	0.749	0.05

$$\phi M_n = 365.07 \text{ KNm} \quad \phi M_n = 329.74 \text{ KNm}$$

$$M_{nc,b} = \phi M_{nx} / 0,65 \quad M_{nc,b} = \phi M_{nx} / 0,65$$

$$561.65 \text{ KNm} \quad 507.29 \text{ KNm}$$

kekuatan lentur minimum kolom (SNI 2847 : 2019 Pasal 18.7.3)

18.7.3.1 Kolom-kolom harus memenuhi 18.7.3.2 atau 18.7.3.3

18.7.3.2 Kekuatan lentur kolom harus memenuhi

$$SM_{nc} \geq 1.2 SM_{nb}$$

$$1,068.65 > 926.7810522 \text{ OK}$$

Strong Column Weak Beam terpenuhi

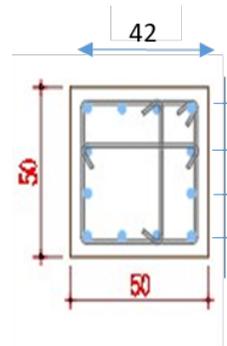
2.b. Tulangan Transversal (SNI 2847 : 2019 Pasal 18.7.5.4)

$$P_u > 0.3 A_g f'_c$$

$$1,007.49 \text{ KN} < 0.3(500)(500)(25)$$

$$1,007.49 \text{ KN} < 1875 \text{ KN}$$

Tulangan transversa I	Kondisi	Persamaan yang berlaku
A_{sh}/sb_c untuk sengkang pengekaang persegi	$P_u \leq 0,3A_g f_c$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b) $0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$ (a) $0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}}$ (b)
	$P_u > 0,3A_g f_c$ atau $f_c' > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b) dan (c) $0,2k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (c)



$$bc = 500 - 2(40) = 420 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = 420 \times 420 = 176,400 \text{ mm}^2$$

$$A_g = 500 \times 500 = 250,000 \text{ mm}^2$$

$$x_1 = (500 - 2(40) - 2(10) - 25) / 3 = 126 \text{ mm}$$

jumlah tulangan transversal harus sesuai table 18.7.5.4

factor kekuatan balok beton k_f dan factor keefektifan pengekaang k_n dihitung berdasarakan persamaan 18.7.5.4a dan 18.7.5.4b

$$a. \quad k_f = (f_c' / 175) + 0.6 \geq 1,0 \quad (18.7.5.4a)$$

$$b. \quad k_n = \frac{nl}{nl - 2} \quad (18.7.5.4b)$$



Dimensi x_i antara sumbu-sumbu penampang tulangan longitudinal yang ditopang secara lateral tidak melebihi 200 mm. Nilai h_x dalam Pers. (18.7.5.3) diambil sebagai nilai terbesar dari x_i .

$$0.3 \left[\frac{Ag}{Ach} - 1 \right] \frac{f'c}{fyt} = 0.00745$$

$$Ash/Sbc = \max$$

$$0.09 \cdot \frac{f'c}{fyt} = 0.00536$$

Syarat jarak tulangan transversal (SNI 2847 : 2019 pasal 18.7.5.3)

- $\frac{1}{4}$ dimensi terkecil komponen struktur = $\frac{1}{4}$ (500) = 125 mm
- 6 kali diameter tulangan memanjang = 6(22) = 132 mm
- $S_o = 100 + \frac{350 - 126}{3} = 174.667$ mm

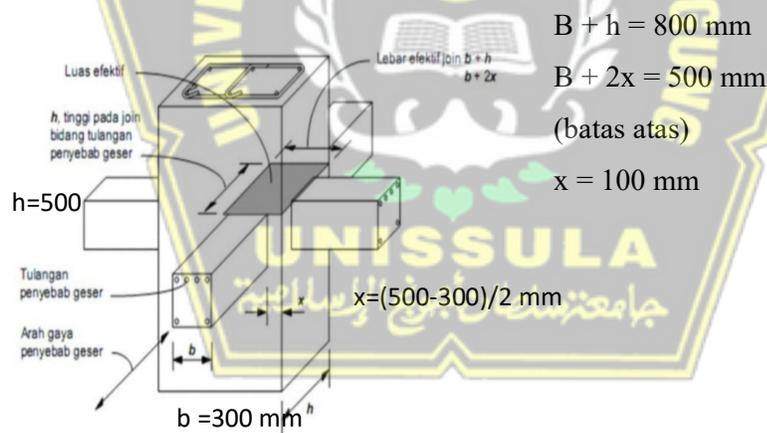
Ambil jarak maksimum tulangan transversal 100 mm

$$Ash/S = bc \cdot (0.00904) = 2.25$$

$$Ash = 2.25 \cdot 100 = 225 \text{ mm}^2$$

Sehingga digunakan sengkang tertutup dan ikat silang diameter 10 mm dengan luas tampang diatas 225 mm² (3P10 = 236 mm²) dapat disimpulkan sengkang tersebut adalah (3P – 100) OK.

Hubungan Balok Kolom pada SRPMK



SNI 2847 : 2019 pasal 18.8.4.3

Luas tampang efektif dalam suatu joint, A_j , harus diitung dari tinggi joint kali lebar joint efektif. Tinggi joint harus selebar kolom, h . lebar joint efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar joint efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) dan b) :

1. Lebar balok ditambah tinggi joint

2. $2x$ jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.

EVALUASI TULANGAN TRANSVERSAL (HBK)

- Terdapat empat buah balok yang merangka pada keempat sisi HBK OK
- Lebar balok ($=300$ mm) menutupi $\frac{3}{4}$ lebar kolom ($=\frac{3}{4} \times 500 = 375$ mm)
OK

Jumlah tulangan transversal dapat diambil $\frac{1}{2}$ dari kebutuhan tulangan transversal pada daerah sendi plastis kolom

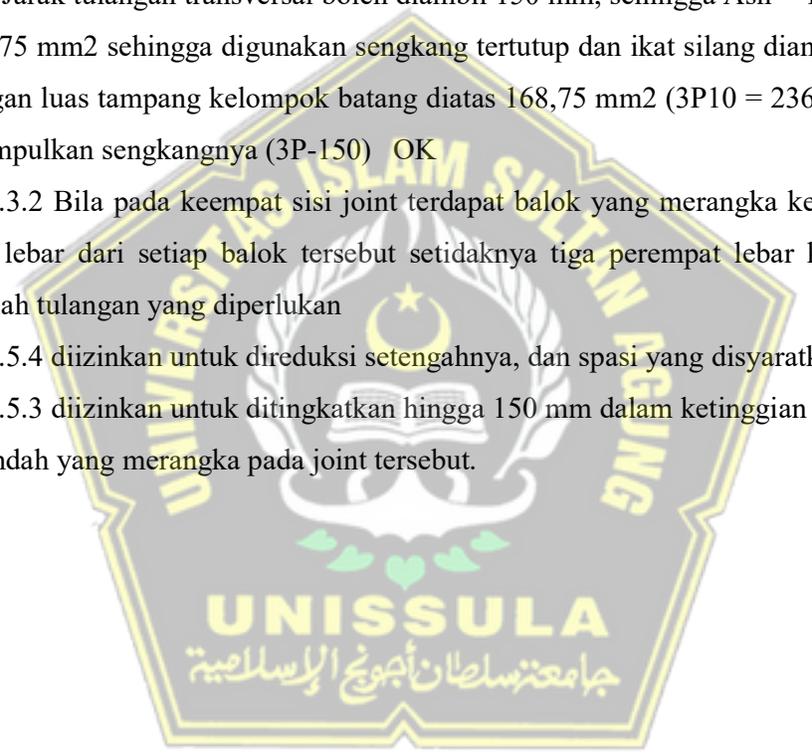
$$A_{sh}/s = 0.5 \times 2.25 = 1.125 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jarak tulangan transversal boleh diambil 150 mm, sehingga $A_{sh} = 150 (1.125) = 168.75 \text{ mm}^2$ sehingga digunakan sengkang tertutup dan ikat silang diameter 10 mm, dengan luas tampang kelompok batang diatas $168,75 \text{ mm}^2$ ($3P10 = 236 \text{ mm}^2$) dapat disimpulkan sengkangnya (3P-150) OK

18.8.3.2 Bila pada keempat sisi joint terdapat balok yang merangka kepadanya dan bila lebar dari setiap balok tersebut setidaknya tiga perempat lebar kolom, maka jumlah tulangan yang diperlukan

18.7.5.4 diizinkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang disyaratkan

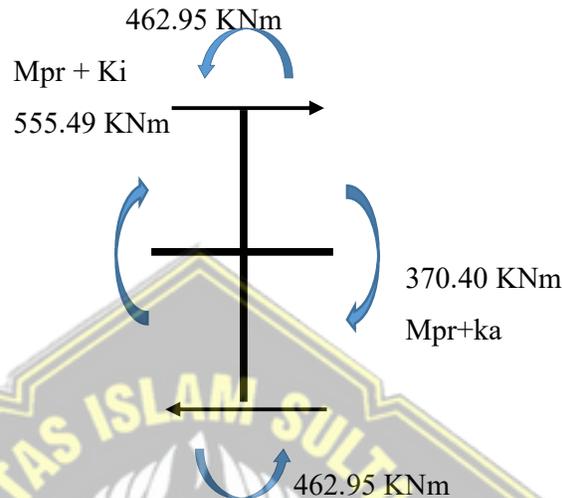
18.7.5.3 diizinkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian balok h yang terendah yang merangka pada joint tersebut.



EVALUASI KUAT GESER

Karena kolom dianggap memiliki kekakuan yang sama, maka faktor distribusi, DF, diambil sebesar 0,5 dan momen yang timbul pada kolom diatas HBK adalah :

$$M_c = 0.5 \quad 555.485 + \quad 370.405 = \quad 462.95 \quad \text{kNm}$$



Gaya geser dari kolom sebelah atas adalah sebesar :

$$V_{\text{goyangan}} = \frac{462.95 + 462.95}{4.5} = 205.75 \text{ KNm}$$

Luas tulangan atas adalah 6D22 ($A_s = 2281 \text{ mm}^2$), sehingga gaya yang bekerja pada tulangan atas Pada sebelah kiri HBK adalah :

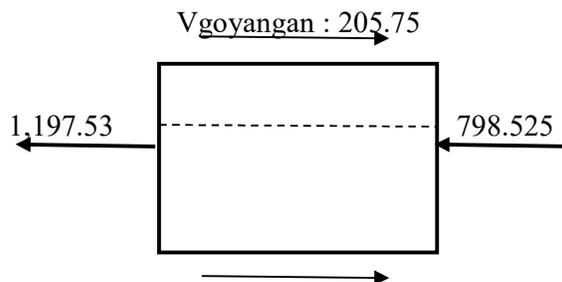
$$T_1 = 1.25 A_g \cdot f_y = 1,197,525.00 \quad \text{N} = 1,197.53 \text{ KN}$$

Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kiri HBK, sebesar : $C_1 = T_1 = 1,197.53 \text{ N}$

Dengan cara yang sama untuk sisi kanan HBK ($A_s = 4D22 = 1521 \text{ mm}^2$) diperoleh

+

$$T_2 = C_2 = 798525 \text{ N} = 798.525 \text{ KN}$$

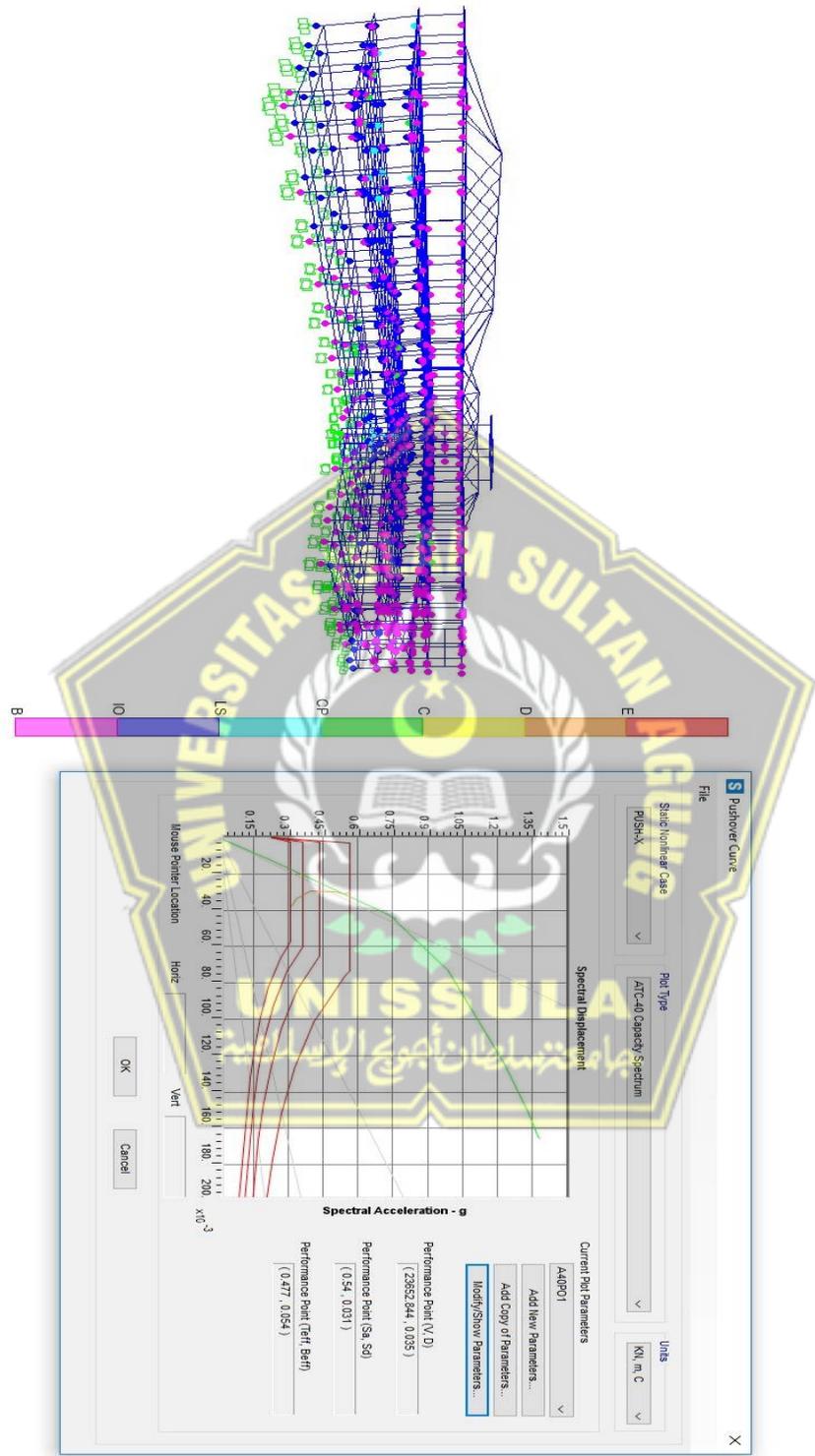


4.8 Analisis Statik Nonlinier (Pushover Analysis)

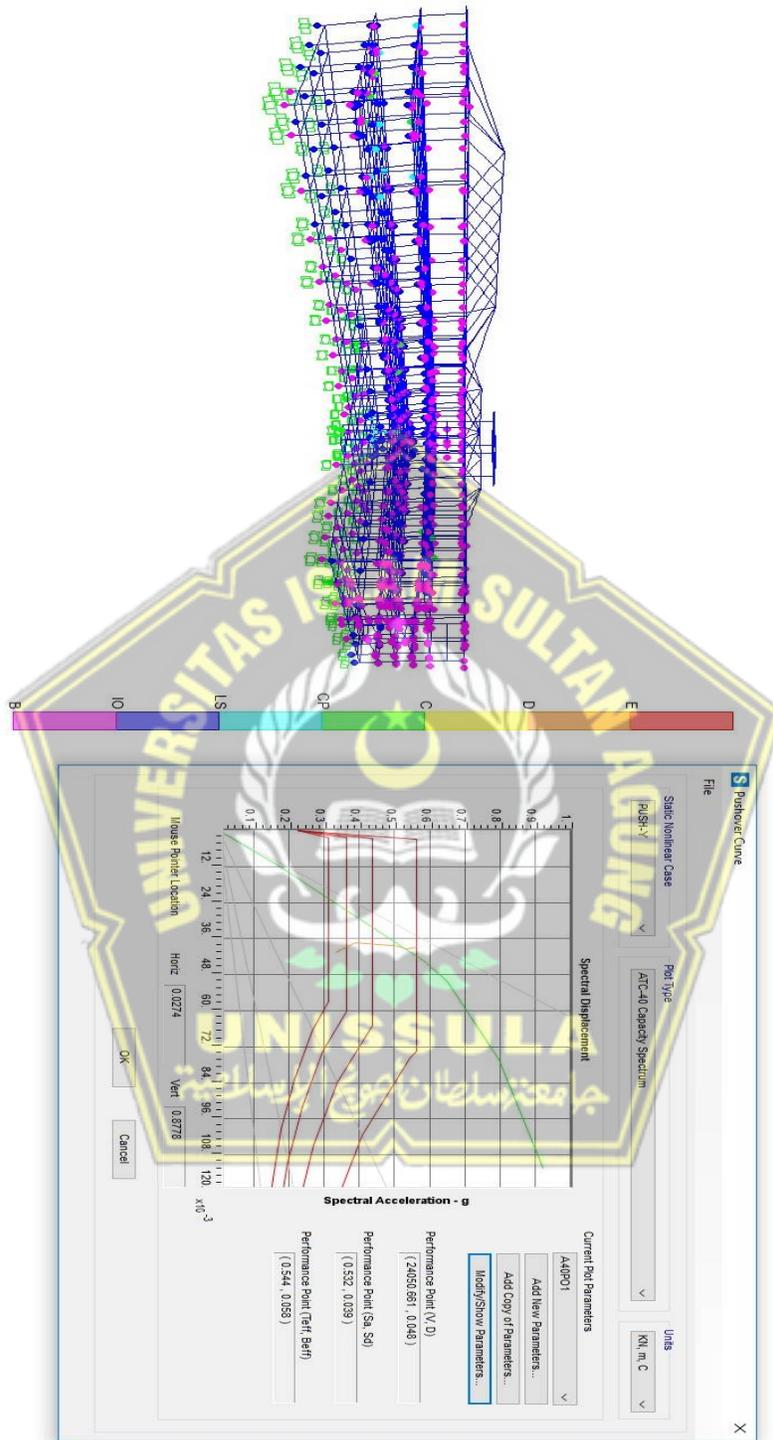
Level kinerja struktur ditentukan berdasarkan Table 5.5.4 ATC-40. Level kinerja struktur secara global dapat ditentukan berdasarkan rasio nilai perpindahan atap saat *performance point* dengan tinggi total bangunan. Sesuai ATC-40 level kinerja struktur secara keseluruhan dapat ditentukan melalui table berikut :

Tabel 4.6 Batas Simpangan pada tingkat Kinerja Struktur (ATC-40,1996 11-4)

Tingkat Kinerja Struktur				
Batas simpangan Antar Lantai	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,33 Vi/Pi
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005 – 0,015	No limit	No limit



Gambar 4.17 Spektrum Kapasitas Arah x-x pada step 12



Gambar 4.18 Spektrum Kapasitas Arah y-y pada step 12

Tabel 4.7 Level Kinerja Struktur RSUD Suradadi sesuai ATC-40

Peraturan Acuan	V (KN)	D (m)	Level Kinerja Struktur
ATC-40 arah X	23652.84	0.035	IO
ATC-40 arah Y	24050.66	0.048	IO

Selanjutnya untuk menentukan tingkat kinerja parameter yang diperlukan adalah nilai perpindahan atap saat performance point dan nilai perpindahan atap saat beban dorong step ke-1 dimana tinggi total bangunan = 12.9 m

~ Simpangan total Maksimum

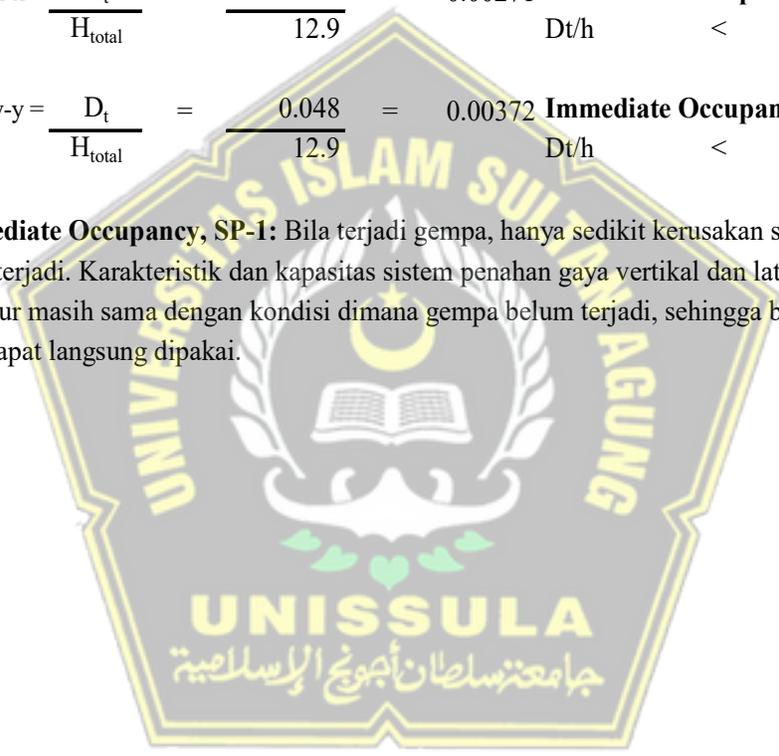
$$\text{Arah x-x} = \frac{D_t}{H_{\text{total}}} = \frac{0.035}{12.9} = 0.00271 \text{ Immediate Occupancy}$$

$$D_t/h < 0.01$$

$$\text{Arah y-y} = \frac{D_t}{H_{\text{total}}} = \frac{0.048}{12.9} = 0.00372 \text{ Immediate Occupancy}$$

$$D_t/h < 0.01$$

Immediate Occupancy, SP-1: Bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai Inelastic Drift arah sumbu x (lantai 1 = 19.204 mm, lantai 2 = 9.693 mm, serta lantai 3 = 13.020 mm) dan arah sumbu y (lantai 1 = 20.742 mm, lantai 2 = 16.568 mm, serta lantai 3 = 25.527 mm) masih dibawah Drift limit lantai 2 dan lantai 3 (**32,308 mm**) dan lantai 1 (**34,615 mm**) yang artinya simpangan antar tingkat **Sesuai / Memenuhi Syarat pada SNI 1726-2019 Pasal 7.12**
 2. Batas Stabilitas Struktur θ_{max} (0.200) lebih besar dari Batas Pengaruh P-Delta (0.100) & Koefisien stabilitas arah x (lantai 1 = 0.0371, lantai 2 = 0.0093 serta lantai 3 = 0.0123) dan arah y (lantai 1 = 0.040, lantai 2 = 0.0160 serta lantai 3 = 0.0241) artinya **struktur Sesuai / Memenuhi Syarat Pada SNI 1847-2019 Pasal 6.2.1**
 3. 1. ketidakberaturan horizontal
 - a. Pada As A''' terdapat re entrance corner sebesar $(7 \times 6 = 42 \text{ m})$, $(42/75) \times 100\% = 56\%$ terhadap panjang 75m >15%
 - Pada As 13' terdapat re entrance corner sebesar 23m, $(23/44) \times 100\% = 52,3\%$ terhadap panjang 44m >15%

Ditemukan irregularitas horizontal type 2 (Ketidakberaturan sudut dalam)

 - b. Pada Gambar 4.2 Denah Bangunan (lantai 1), Gambar 4.3 Denah Bangunan (lantai 2) , Gambar 4.4 Denah Bangunan (lantai 3), Gambar 4.4 Denah Lantai dak atap. Dinding geser As 1 geser keluar bidang sejauh 2,5m arah bidang X (ke kiri), Dinding geser As I geser keluar bidang sejauh 2,5m arah bidang Y (ke bawah), maka **ditemui ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang.**
- dimana untuk ketidakberaturan yang terjadi, struktur dilakukan perbaikan sebagai berikut :
1. Gaya Desain berdasarkan prosedur statik ditingkatkan 25%.
 2. Kalikan momen torsi tak terduga (M_{ta}) dimasing-masing tingkat dengan

faktor pembesaran torsi.

- Untuk Arah X tidak mengalami Pembesaran Torsi sehingga dapat diasumsikan faktor pembesaran torsi semua tingkat diambil sebesar 1.
- Untuk Arah Y faktor pembesaran torsi dikalikan dengan momen torsi takterduga di masing-masing tingkat, dengan faktor pembesaran torsi terbesar pada arah Y yaitu sebesar 1,04

3. Melakukan Analisis dinamik 3D, dengan memperhitungkan pengaruh P- Δ .

4. Menghitung Simpangan antar lantai, dengan persyaratan sesuai SNI 1726 -2019

5. Menggunakan model analisis yang diijinkan. Dimana struktur diijinkan dengan Analisis Spektrum Respons Ragam.

2. Ketidakberaturan vertikal

Gedung tersebut teratur dari sisi ketidakberaturan vertikal

4. Terhadap syarat kekuatan lentur kolom $\sum M_n C \geq 1,2 \sum M_n B$ terpenuhi yakni $(507,00 + 561.65) = 1068,94 \text{ KNm} > (1,2 \times (453.80+318.52)) = 926,781 \text{ KNm}$ yang artinya memenuhi persyaratan tulangan lentur SNI 2847-2019 pasal 18.7.3.2.
5. Untuk level kinerja struktur berdasarkan rasio nilai perpindahan atap saat performance point dengan tinggi total bangunan batas simpangan pada tingkat kinerja struktur termasuk dalam **Immediate Occupancy**. bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktur yang terjadi.

5.2 SARAN

1. Disarankan pada setiap perencanaan maupun evaluasi kinerja struktur gedung bertingkat, Konsep desain strong colum weak beam harus terpenuhi, dengan ditunjukkan terbentuknya sendi plastis yang diawali dari elemen balok, dimana saat mencapai performance point mayoritas elemen balok terbentuk sendi plastis kemudian sebagian elemen kolom mencapai kondisi batas inelastis.
2. Disarankan dalam proses desain struktur bangunan baru ataupun evaluasi kinerja struktur bangunan yang telah berdiri harus memperhatikan kondisi pasca elastik untuk memperoleh tingkat kinerja struktur sesungguhnya, terutama dalam menahan beban gempa. Pemilik bangunan, insinyur perencana maupun pemakai bangunan bertingkat agar menggunakan perencanaan berbasis kinerja sehingga dapat mengetahui perilaku dari struktur bangunan dan dapat memberikan informasi sejauh mana suatu gempa akan mempengaruhi struktur, selain itu perlu adanya kebijakan pemerintah kabupaten maupun kota setempat untuk khususnya dinas-dinas yang terkait untuk memberikan perhatian khusus pada bangunan bangunan yang telah berdiri diatas 25 tahun untuk melaksanakan pemeriksaan kinerja struktur, sehingga masyarakat pemilik dan pengguna bangunan merasa nyaman akan struktur bangunan yang dipergunakan.
3. Disarankan untuk penelitian lebih lanjut apabila ingin mengambil studi kasus yang serupa, bias menambahkan dengan analisis engineering value atau perbandingan kelas tanah yang berbeda dari struktur bangunan yang dievaluasi.

DAFTAR PUSTAKA

- ATC-40, 1996, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Vol 1*, Applied Technology Council, Redwood City, California, USA
- FEMA 306, 1998, *Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings*, Federal Emergency Management Agency, USA.
- FEMA 310, 1998, *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, USA.
- FEMA 356, 2000, *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- SNI 1726-2019, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung*, Badan Standardisasi Nasional BSN, Jakarta.
- SNI 2847-2019, *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional BSN, Jakarta.
- SNI 1727-2020 *tentang pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional BSN, Jakarta.
- SNI 1729-2020 *tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*, Badan Standardisasi Nasional BSN, Jakarta.
- Dewobroto, Wiryanto. 2006. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000. Vol 3, No 1*. Universitas Pelita Harapan.
- Pranata, Y.A. 2006. *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440)*. Jurnal Teknik Sipil Vol. 3 No. 1. Universitas Kristen Maranatha Bandung
- Wibowo, Purwanto, Edy. dan Yanto, Dwi 2010. *Menentukan Level Kinerja Struktur Beton Bertulang Pasca Gempa*. Media Teknik Sipil.
- Febriana, dkk. 2016. *Analisis Pushover untuk Performance Based Design (Studi Kasus Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Pawirodikromo, Widodo. 2012. *Seismologi Teknik Rekayasa Kegempaan*. Pusaka Pelajar. Yogyakarta
- Dewobroto, Wiryanto. 2007 dalam Afandi, Nur, Rachmad. 2010. *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program*

SAP2000. Skripsi Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Clough & Penzien, 1993, *Dynamic of Structures, Second Edition*, Mc. Graw-Hill, Inc., New York

<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>

<https://www.maps.google.com>

<https://www.situstekniksipil.com> : 2017

