

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH DILATASI BANGUNAN GEDUNG TINGGI
MENGUNAKAN ETABS PADA BANGUNAN 6 LANTAI BERDENAH T**

*Diajukan sebagai salah satu syarat akademik
Untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil Strata Satu (S1)*



Oleh

Dwi Hermawan
181000222201037

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT
2022

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH DILATASI BANGUNAN GEDUNG TINGGI
MENGUNAKAN ETABS PADA BANGUNAN 6 LANTAI BERDENAH T

Oleh:

Dwi Hermawan

181000222201037

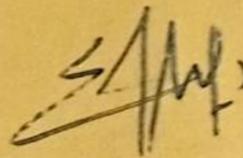
Dosen Pembimbing I



Masril, S.T., M.T.

NIDN. 1005057407

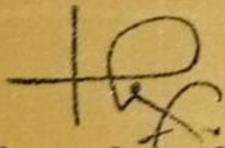
Dosen Pembimbing II



Elfania Bastian, S.T., M.T.

NIDN. 1005057407

Ketua Program Studi
Teknik Sipil



Helga Yermadona, S.Pd, M.T.

NIDN. 1013098502

Dekan Fakultas Teknik
UM Sumatera Barat



Masril, S.T., M.T.

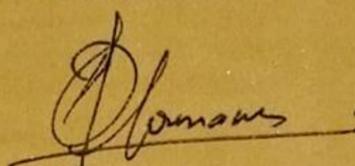
NIDN. 1005057407

LEMBAR PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Penguji pada ujian tertutup tanggal 13 Agustus 2022 di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Bukittinggi, 27 Agustus 2022

Mahasiswa



Dwi Hermawan

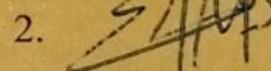
181000222201037

Disetujui Tim Penguji Skripsi 03 September 2022:

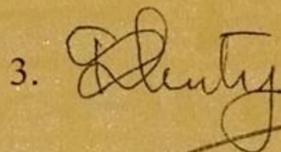
1. Masril, S.T., M.T.



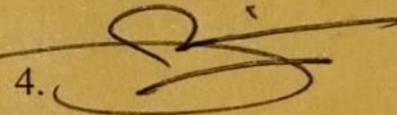
2. Elfania Bastian, S.T., M.T.



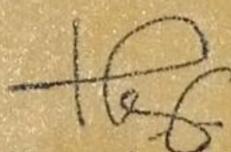
3. Ir. Ana Susanti Yusman, M.Eng.



4. Jon Hafnil, S.T., M.T.



Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Sipil,



Helga Yermadona, S.Pd, M.T.

NIDN. 1013098502

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dwi Hermawan
Tempat dan tanggal lahir : Tangerang, 25 Desember 1999
NIM : 181000222201037
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Dilatasi Pada Bangunan Gedung Tinggi Menggunakan ETBAS Pada Bangunan 6 Lantai Berdenah T

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Bukittinggi, 27 Agustus 2022



Dwi Hermawan

181000222201037

ABSTRAK

Gempa adalah permasalahan utama di Indonesia, terlebih lagi di Sumatera Barat yang merupakan termasuk daerah rawan gempa. Berada di jalur gempa teraktif di dunia karena berada pada jalur cincin api pasifik. Indonesia sendiri memiliki peluang besar untuk terjadinya gempa besar untuk sekarang atau suatu saat nanti. Pegerakan lempeng tektonik membuat permukaan tanah bergoyang sehingga membuat kerugian fisik ataupun mengancam jiwa manusia. Besarnya kerugian dari bencana gempa bumi adalah bangunan terlebih bangunan asimetris bertingkat tinggi yang memiliki potensi besar untuk mengakami perpindahan secara horizontal ataupun vertical. Untuk mencegah hal itu terjadi, struktur bangunan yang dibuat harus diberi dilatasi untuk mengurangi ketidakberaturan yang terjadi akibat gempa. Analisis dilakukan terhadap bangunan berdenah T dimana bangunan berada pada daerah yang beresiko gempa yaitu di Kota Bukittinggi, Sumatera Barat. Analisis dilakukan bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur yang diberi dilatasi dengan memperhatikan nilai dari simpangan antar lantai untuk dapat mengetahui jarak dilatasi yang aman digunakan. Analisa dikerjakan dengan menggunakan tiga model bangunan dimana model pertama adalah bangunan utuh berdenah T sedangkan model dua dan tiga adalah pemisahan dari bangunan utuh yang didilatasi menggunakan dua kolom. Bangunan terdiri dari enam lantai dengan masing-masing tinggi lantainya 4 meter. Dalam perhitungan yang terjadi pada simpangan antar lantainya menggunakan program analisa struktur Etabs versi 2020. Data gempa yang digunakan berpedoman pada data gempa *Time History* Kota Bukittinggi. Dari hasil analisa didapatkan jarak dilatasi yang aman yaitu 100 mm dari jarak aman minimalnya yaitu 75 mm.

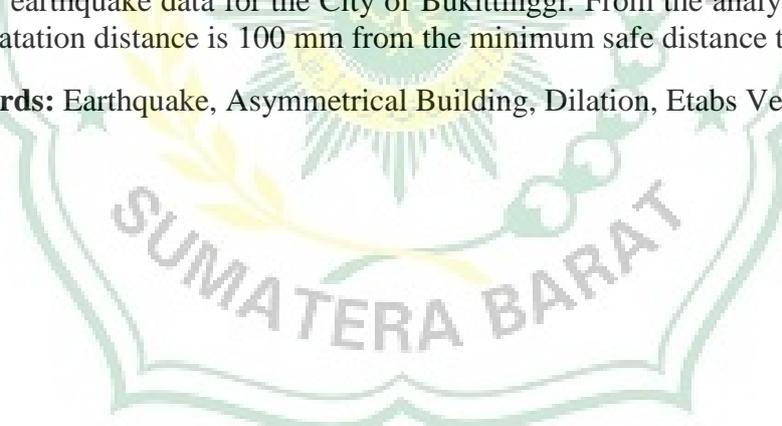
Kata kunci: Gempa, Bangunan Asimetris, Dilatasi, Etabs Versi 2020

SUMATERA BARAT

ABSTRACT

Earthquakes are a major problem in Indonesia, especially in Sumatra West, which is an earthquake-prone area. Being on the path of the earthquake most active in the world because it is in the path of the Pacific Ring of Fire. Indonesia alone have a great chance of a big earthquake happening now or sometime later. The movement of tectonic plates makes the ground surface sway causing physical harm or threatening human life. the size the disadvantage of the earthquake disaster is the building, especially the asymmetrical building high-rise that has great potential to accept displacement horizontally or vertically. In order to prevent that from happening, the structure buildings that are made must be dilated to reduce irregularities that occurred as a result of the earthquake. The analysis was carried out on the building with a plan of T where the building is located in an earthquake risk area, namely in the City of Bukittinggi, West Sumatra. The analysis was carried out with the aim of knowing behavior of the structure that is given a dilation by taking into account the value of the deviation between floors to be able to determine the safe dilatation distance to use. Analysis carried out using three building models where the first model is a complete building with a T plan while models two and three are separation of the dilated intact building using two columns. The building consists of six floors with each floor height of 4 meters. In the calculation that occurs in the deviation between the floors using Etabs structural analysis program version 2020. Earthquake data used based on the Time History earthquake data for the City of Bukittinggi. From the analysis results The safe dilatation distance is 100 mm from the minimum safe distance that is 75 mm.

Keywords: Earthquake, Asymmetrical Building, Dilation, Etabs Version 2020



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala berkat yang telah diberikan-Nya, sehingga skripsi dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan salah satu kewajiban yang harus diselesaikan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini, yaitu kepada:

1. Bapak Masril, S.T. M.T selaku Dekan Fakultas Teknik UMSB, Dosen Pembimbing Akademik, dan Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan masukan kepada penulis;
2. Ibu Helga Yermadona, S.Pd, M.T selaku Ketua Prodi Teknik Sipil;
3. Ibu Elfania Bastian, S.T. M.T selaku Dosen Pembimbing 2 telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis;
4. Orang tua, kakak, dan adik yang telah memberikan dukungan moril, doa, dan kasih sayang;
5. Pemimpin Dunia Akhirat yang sudah membantu sedikit banyaknya untuk skripsi ini.
6. Teman-teman PKL di Sijunjung yang bersedia menanggung segala keluh kesah untuk skripsi ini dan urusan lainnya.
7. Teman-Teman kelas A1 yang sudah menemani sejak semester awal hingga akhirnya bisa lulus sama-sama.
8. Tukang Fotokopi yang sudah bersedia direpotkan dalam segala urusan skripsi yang tidak selesai-selesai.
9. Semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa mungkin masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, saran dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi penulis. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya, khususnya mahasiswa teknik sipil.

Bukittinggi, 23 Maret 2022

Penulis



DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

ABSTRAK

KATA PENGANTAR..... i

DAFTAR ISI..... iii

DAFTAR GAMBAR..... v

DAFTAR NOTASI..... vii

DAFTAR TABEL x

BAB I PENDAHULUAN..... 1

1.1. Latar Belakang..... 1

1.2. Rumusan Masalah 2

1.3. Batasan Masalah 2

1.4. Tujuan Penelitian..... 3

1.5. Manfaat Penelitian..... 3

1.6. Sistematika Penulisan..... 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 5

2.1. Bangunan Asimetris atau Tidak Beraturan..... 5

2.2. Gaya Lateral 5

2.3. Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik 4

2.4. Pengaruh Beban Seismik 7

2.5. Pengaruh Beban Seismik Termasuk Faktor Kuat Lebih 7

2.6. Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen 8

2.7. Kolom 15

2.8. Dilatasi Bangunan	17
2.9. Pembebanan.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1. Lokasi Penelitian	32
3.2. Data Penelitian.....	32
3.3. Metode Analisa Data	32
3.4. Bagan Alir Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1. Deskripsi Umum Struktur.....	34
4.2. Pemodelan Struktur	65
4.3. Pengecekan Perilaku Struktur.....	67
BAB V PENUTUP	74
5.1. Kesimpulan.....	74
5.2. Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN.....	77



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penentuan simpangan antar tingkat	14
Gambar 2.2 Dilatasi 2 kolom.....	18
Gambar 2.3 Dilatasi balok kantilever	19
Gambar 2.4 Dilatasi balok gerber	19
Gambar 2.5 Dilatasi konsol	20
Gambar 2.6 Denah dilatasi yang aman dan kurang aman	21
Gambar 2.7 Peta gempa Indonesia SNI 03-1726-2019	26
Gambar 3.1 Bagan alir.....	32
Gambar 4.1 Momen dalam pelat persegi.....	36
Gambar 4.2 Momen dalam pelat persegi.....	45
Gambar 4.3 Respon spectrum terhadap <i>Time History</i>	64
Gambar 4.4 <i>Time History</i> untuk Kota Bukittinggi kelas tanah lunak (SE).....	65
Gambar 4.5 Denah Model 1, Model 1a. dan Model 1b	65
Gambar 4.6 Pemodelan struktur utuh bangunan berdenah T (Model 1)	66
Gambar 4.7 Pemodelan struktur utuh dengan pemisahan menggunakan dua kolom (Model 1a).....	66
Gambar 4.8 Pemodelan struktur dengan pemisahan menggunakan dua kolom (Model 1b).....	67
Gambar 4.9 Simpangan antar lantai bangunan 1 akibat gempa	68
Gambar 4.10 Pengaruh P-Delta pada bangunan 1	69
Gambar 4.11 Simpangan antar lantai bangunan 1a akibat gempa.....	70

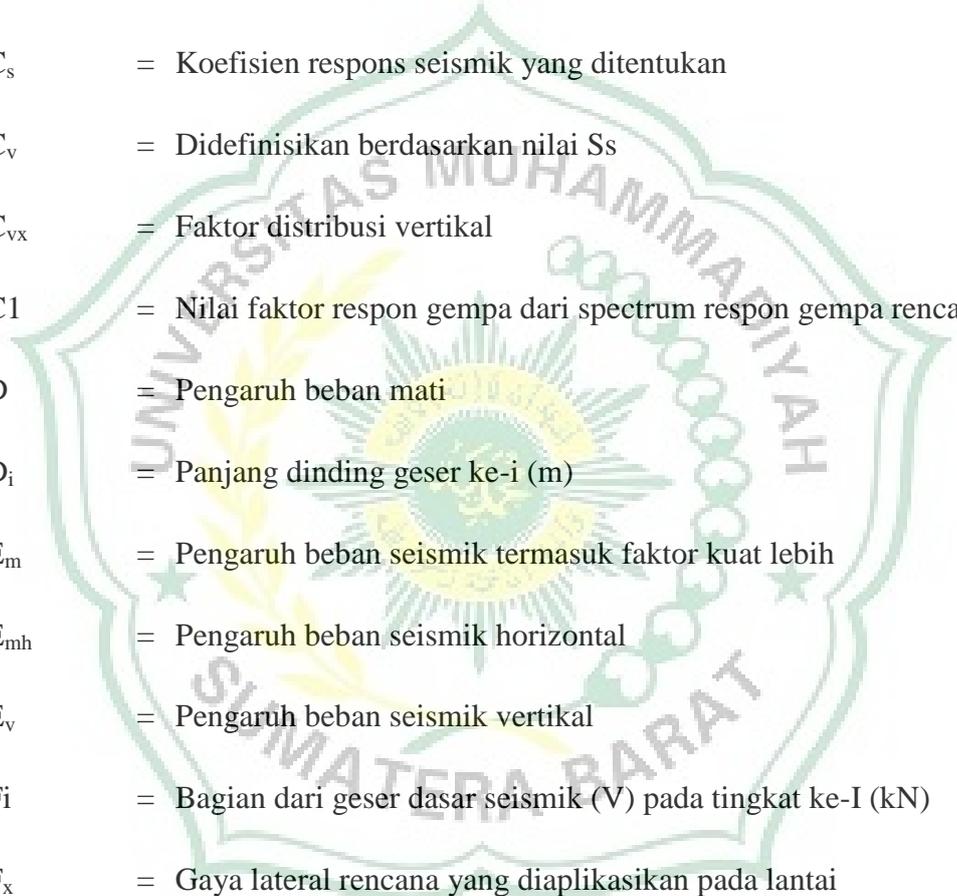
Gambar 4.12 Pengaruh P-Delta pada bangunan 1a 71

Gambar 4.13 Simpangan antar lantai bangunan 1b akibat gempa 72

Gambar 4.14 Pengaruh P-Delta pada bangunan 1b..... 73



DAFTAR NOTASI



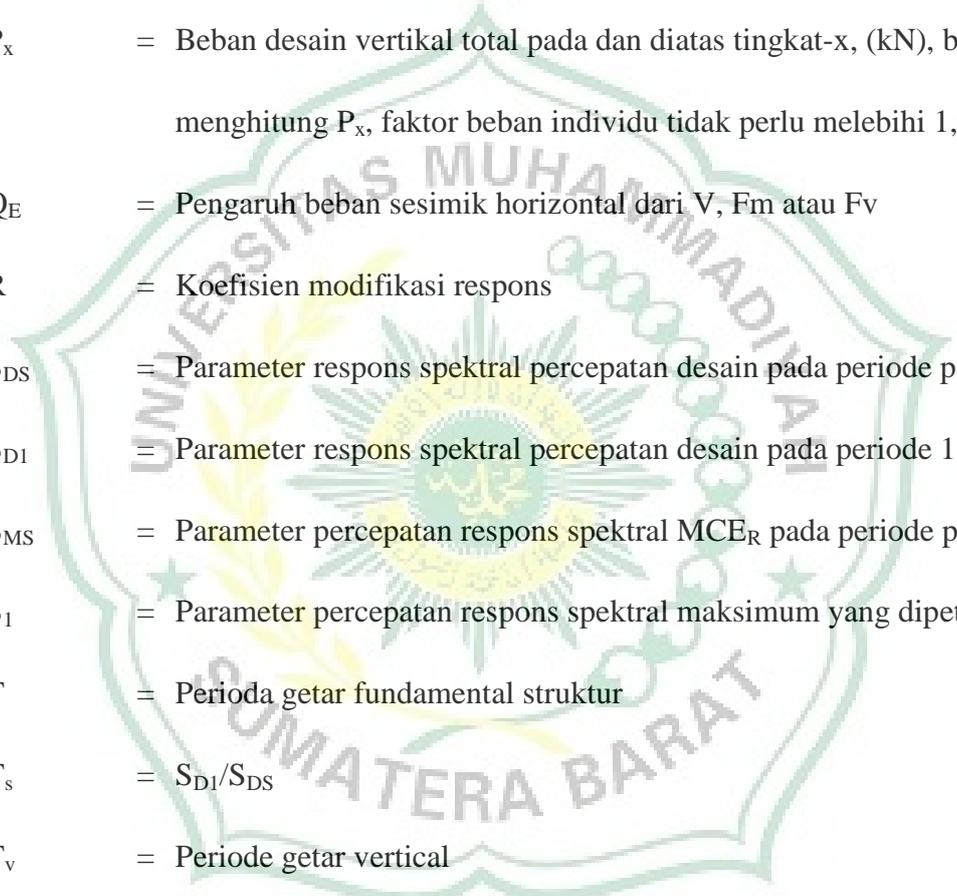
A_B	= Luas dasar srtuktur (m ²)
A_i	= Luas badan dinding geser ke-i (m ²)
C_d	= Faktor pembesaran simpangan lateral
C_d	= Faktor pembesaran defleksi
C_s	= Koefisien respons seismik yang ditentukan
C_v	= Didefinisikan berdasarkan nilai S_s
C_{vx}	= Faktor distribusi vertikal
C_l	= Nilai faktor respon gempa dari spectrum respon gempa rencana
D	= Pengaruh beban mati
D_i	= Panjang dinding geser ke-i (m)
E_m	= Pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih
E_{mh}	= Pengaruh beban seismik horizontal
E_v	= Pengaruh beban seismik vertikal
F_i	= Bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke-I (kN)
F_x	= Gaya lateral rencana yang diaplikasikan pada lantai
h_i dan h_x	= Tinggi dari dasar sampai tingkat i dan x (m)
h_n	= Ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi
h_{sx}	= Tinggi tingkat di bawah tingkat x (mm)
I_e	= Faktor keutamaan gempa yang ditentukan
k	= Eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai

berikut:

Untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$

Untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$

Untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2



N	= Jumlah tingkat
P_x	= Beban desain vertikal total pada dan diatas tingkat-x, (kN), bila menghitung P_x , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0
Q_E	= Pengaruh beban sesimik horizontal dari V, F_m atau F_v
R	= Koefisien modifikasi respons
S_{DS}	= Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek
S_{D1}	= Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik
S_{MS}	= Parameter percepatan respons spektral MCE_R pada periode pendek
S_1	= Parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan
T	= Periode getar fundamental struktur
T_s	= S_{D1}/S_{DS}
T_v	= Periode getar vertical
T_0	= $0,2 \times (S_{D1}/S_{DS})$
V	= Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)
V_x	= Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x - 1 (kN)
W	= Berat seismik efektif
W_i	= Berat lantai tingkat ke-I, termasuk beban hidup

- w_i dan w_x = Bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x
- W_x = Bagian beban mati total struktur, D , yang bekerja pada lantai
- x = Jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif memikul gaya lateral dalam arah yang ditinjau
- Z_i = Ketinggian lantai tingkat ke- i diukur dari tarip penjepit lateral
- ρ = Faktor redudansi
- Δ = Simpangan antar tingkat desain, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)
- Δ_{xe} = Simpangan ditingkat- x yang disyaratkan pada pasal ini, yang ditentukan dengan analisis elastic
- Ω_0 = Faktor kuat lebih
- δ_{max} = Perpindahan maksimum ditingkat x (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ (mm)
- δ_{avg} = Rata-rata perpindahan dititik-titik terjauh struktur ditingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ (mm)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	9
Tabel 2.2	Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x	10
Tabel 2.3	Nilai koefisien vertical C_v	23
Tabel 2.4	Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan pencak muka tanah	27
Tabel 2.5	Jenis-jenis tanah	28
Tabel 2.6	Koefisien C yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung	30
Tabel 2.7	Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	30
Tabel 4.1	Material yang digunakan pada perhitungan beban mati	63
Table 4.2	Simpangan antar lantai bangunan 1	67
Tabel 4.3	Pengaruh P-Delta bangunan 1	68
Table 4.4	Simpangan antar lantai bangunan 1a	69
Tabel 4.5	Pengaruh P-Delta bangunan 1a	70
Tabel 4.6	Simpangan antar lantai bangunan 1b	71
Tabel 4.7	Pengaruh P-Delta bangunan 1b	72

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gempa bumi diartikan sebagai suatu getaran yang berasal dari adanya pergerakan lempeng tektonik di bawah permukaan bumi. Gempa bumi juga merupakan bencana alam yang paling sering terjadi di beberapa tahun terakhir ini terutama di sepanjang jalur tektonik aktif. Kenaikan total aktivitas gempa yang drastis telah terjadi di Indonesia yaitu 4.648 peristiwa gempa tektonik selama tahun 2018 (Triyono, 2018).

Di Indonesia sendiri dilewati oleh sebagian besar wilayah Indonesia berada pada patahan aktif atau sesar. Patahan besar Sumatera yang memisahkan Aceh sampai Lampung, sesar aktif Jawa, Lembang, Yogyakarta, di utara Bali, Sumbawa, NTT, NTB, Lombok, di Sulawesi, Sorong, Memberamo, di samping Kalimantan adalah sejumlah patahan aktif tersebut (Daryono 2018).

Sumatera Barat adalah daerah yang dilewati jalur patahan Sumatera sangat berpotensi terjadinya gempa. Akibat Sumatera Barat dilalui oleh tiga asal resiko gempa bumi yaitu zona sesar Sumatera (*Sumatera Fault Zone*), sesar Mentawai dan zona subduksi pertemuan antara lempeng tektonik India-Australia dengan lempeng Eurasia maka hal tersebut yang menyebabkan terjadinya gempa (*Mentawai Fault Zone*) (Sean 2018).

Dari sekian dampak dari bencana gempa bumi adalah kerusakan terhadap bangunan. Gempa yang terjadi di permukaan bumi akan menggetarkan bangunan yang berdiri di atasnya. Salah satu cara penerapan desain suatu bangunan tinggi dan memanjang agar mempunyai kekuatan pada strukturnya pada saat terjadi gempa adalah pemberian dilatasi pada bangunan. Mia Karlina Mierza dan Besman Surbakti (2017) menyebutkan bahwa dalam bidang perencanaan bangunan dilatasi sangat baik diterapkan pada bangunan yang memanjang. Mendukung hal tersebut penelitian S. W. Prabowo dkk. (2018) menyebutkan bahwa dalam bidang

perencanaan bangunan sistem dilatasi sangat baik digunakan untuk bangunan dengan bentang memanjang dikarenakan fungsi dilatasi itu sendiri dapat menghindari efek domino dari beban gempa yang diterima. Dilatasi sendiri merupakan sebuah sambungan atau pemisah pada struktur yang berbeda dengan maksud menghindari keretakan pada bangunan yang ditimbulkan oleh getaran horizontal maupun vertikal.

Getaran yang diakibatkan oleh beban gempa sangat berpengaruh terhadap perilaku struktur bangunan contohnya pada bangunan asimetris dengan denah berbentuk T. Bangunan asimetris dimana kondisi titik berat bangunan tidak berada ditengah bangunan mendatangkan dampak puntir yang begitu besar ketika bangunan mendapat beban horizontal seperti beban gempa. Semakin lama beban gempa mempengaruhi bangunan maka semakin besar puntir dan deformasi sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada bangunan.

Hal yang bisa dilakukan untuk mengurangi dampak puntir yaitu memberi pemisahan elemen struktur atau yang disebut juga dengan dilatasi dengan balok kantilever pada struktur asimetris tersebut. Setelah dilakukan pemberian dilatasi maka dapat dianalisis bangunan mengalami benturan atau tidak. Direncanakan bangunan perkantoran dengan panjang 30 m dan lebar 30 m.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang dikaji adalah analisis pengaruh penggunaan dilatasi dan tanpa dilatasi pada gedung asimetris dengan studi kasus gedung denah berbentuk T.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah Tugas akhir ini lebih menitik beratkan atas:

1. Analisa dikerjakan pada bangunan denah berbentuk T menggunakan dilatasi dan tanpa dilatasi dimana bangunan merupakan bangunan hasil desain sendiri.
2. Bangunan yang di analisis adalah bangunan enam lantai dengan ketinggian masing-masing lantai 4 meter yang berfungsi sebagai bangunan perkantoran.
3. Analisa menggunakan Program ETABS Versi 20.
4. Data Gempa dipakai *Time History* kota Bukittinggi.
5. Pedoman Penyusunan Tugas Akhir
 - a. SNI 2847-2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.
 - b. SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.
 - c. SNI 1727-2020 tentang beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain.
6. Analisa hanya untuk mengetahui perilaku stuktur yang terjadi pada bangunan tanpa dilatasi dan bangunan dengan dilatasi. Tidak menghitung efisiensi biaya dan waktu.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan menganalisis jarak dilatasi yang aman digunakan yang mengacu pada beban *time history* Kota Bukittinggi. Jarak dilatasi direncanakan mengacu dari nilai perpindahan horizontal bangunan yang telah dipisah dengan dua kolom.

1.5. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diperoleh manfaat yaitu mengetahui apakah bangunan asimetsris dengan denah berbentuk T aman menggunakan dilatasi atau tanpa

dilatasi di daerah rawan gempa yang dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian berikutnya.

1.6. Sistematika Penulisan

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini mengemukakan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori dan rumus-rumus yang dipakai untuk dibahas.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas proses pengambilan data dan metode analisis.

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas perhitungan dan langkah-langkah dalam menganalisis permasalahan yang dianalisis dalam penelitian ini.

BAB V : PENUTUP

Bab ini merangkum kesimpulan yang dapat ditarik dalam penelitian ini serta saran-saran yang dapat diberikan mengenai penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bangunan Asimetris atau Tidak Beraturan

Peraturan SNI 1726-2019 menyatakan bahwa klasifikasi bangunan tidak beraturan dilihat pada perpindahan horizontal dan vertikal dari struktur bangunan. Pada peraturan SNI 1726-2019 dan pada peraturan SNI 1726-2019 juga memuat ketentuan-ketentuan bangunan asimetris. Pengaruh beban gempa rencana untuk struktur bangunan beraturan diamati jadi akibat beban gempa statik ekuivalen, sedangkan pengaruh beban gempa rencana untuk struktur bangunan tidak beraturan diamati jadi akibat pembebanan gempa dinamik.

2.2. Gaya Lateral

Setiap struktur harus dianalisis untuk pengaruh gaya lateral statik yang diaplikasikan secara independen pada kedua arah ortogonal. Pada setiap arah yang ditinjau, gaya lateral statik harus diaplikasikan secara simultan pada tiap lantai. Untuk tujuan analisis, gaya lateral pada tiap lantai dihitung sebagai berikut:

$$F_x = 0,01 \cdot W_x \dots\dots\dots 2.1$$

2.3. Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik

Apabila suatu struktur menerima pengaruh beban seismik, maka kombinasi-kombinasi beban berkut harus diperhitungkan bersama dengan kombinasi beban dasar di atas. Pengaruh beban seismik yang saling menentukan harus ditinjau, tetapi tidak perlu diperhitungkan secara bersamaan dengan beban angin.

Apabila pengaruh beban seismik yang dimaksud, $E = f(E_v, E_h)$ dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik yang harus digunakan adalah:

1. $1,2 D + E_v + E_h + L$
2. $0,9 D - E_v + E_h$

Apabila pengaruh beban seismik dengan kuat lebih yang ditinjau $E_m = f(E_v, E_{mh})$ dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik untuk struktur yang harus digunakan adalah:

1. $1,2 D + E_v + E_{mh} + L$
2. $0,9 D - E_v + E_{mh}$

Apabila suatu struktur menerima pengaruh beban seismik, maka kombinasi-kombinasi beban berikut harus diperhitungkan bersama dengan kombinasi beban dasar di atas. Apabila pengaruh beban seismik yang dimaksud, $E = f(E_v, E_h)$ dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik yang harus digunakan adalah:

1. $1,0 D + 0,7 E_v + 0,7 E_h$
2. $1,0 D + 0,525 E_v + 0,525 E_h + 0,75 L$
3. $0,6 D - 0,7 E_v + 0,7 E_h$

Apabila pengaruh beban seismik dengan kuat lebih yang ditinjau $E_m = f(E_v, E_{mh})$ dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik untuk struktur yang harus digunakan adalah:

1. $1,0 D + 0,7 E_v + 0,7 E_{mh}$
2. $1,0 D + 0,525 E_v + 0,525 E_{mh} + 0,75 L$
3. $0,6 D - 0,7 E_v + 0,7 E_{mh}$

Apabila metode tegangan izin digunakan bersamaan dengan pengaruh beban seismik dan diaplikasikan pada kombinasi beban, tegangan izin diperbolehkan untuk ditingkatkan sebesar 1,2 kali. Peningkatan ini tidak boleh dikombinasikan

dnegan peningkatan pada tegangan izin atau pernguarangan kombinasi beban kecuali diizinkan oleh peraturan.

2.4. Pengaruh Beban Seismik

1. Pengaruh beban seismik horizontal

Pengaruh beban seismik horizontal, E_h harus ditentukan sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_h = \rho Q_E \dots\dots\dots 2.2$$

2. Pengaruh beban seismik vertikal

Pengaruh beban seismik horizontal, E_v harus ditentukan sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_v = 0,3 \cdot S_{DS} \cdot D \dots\dots\dots 2.3$$

2.5. Pengaruh Beban Seismik Termasuk Faktor Kuat Lebih

Jika disyaratkan secara spesifik, kondisi yang mensyaratkan penerapan faktor kuat lebih harus ditentukan sesuai dengan berikut:

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 6 dalam 4.2.2 atau kombinasi beban 4.2.3, E harus diambil sama dengan E_{mh} seperti persamaan berikut:

$$E_m = E_{mh} + E_v \dots\dots\dots 2.4$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 dalam 4.2.2 atau kombinasi beban dalam 4.2.3 harus diambil sama dengan E_m seperti yang ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$E_m = E_{mh} - E_v \dots\dots\dots 2.5$$

2.5.1. Pengaruh beban seismik horizontal dengan faktor kuat lebih

Pengaruh beban seismik horizontal dengan faktor kuat lebih, E_{mh} , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$E_{mh} = \Omega_0 \cdot Q_E \dots\dots\dots 2.6$$

2.6. Prosedur Gaya Lateral Ekivalen

2.6.1. Geser dasar seismik

Gaya geser dasar seismik, V , dalam arah ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots 2.7$$

2.6.1.1. Perhitungan koefisien respons seismik

Koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots 2.8$$

Nilai C_s , yang dihitung sesuai dengan persamaan, tidak perlu melebihi berikut ini:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots 2.9$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots 2.10$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots 2.11$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5 \cdot S_1}{\left(\frac{R}{I_c}\right)} \dots\dots\dots 2.12$$

2.6.2. Penentuan periode

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung dan periode fundamental pendekatan, T_a . Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a .

Tabel 2.1 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung

2.6.2.1. Periode fundamental pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_{\alpha} = C_t h_n^x \dots\dots\dots 2.13$$

Tabel 2.2 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	X
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
1. Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
2. Rangka beton pemikul beton	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung

Sebagai alternatif, diizinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem pemikul gaya seismik terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya beton atau seluruhnya baja dan rata-rata tinggi tingkat sekurang-kurangnya 3 m:

$$T_{\alpha} = 0,1 N \dots\dots\dots 2.14$$

Untuk struktur dinding geser batu bata atau dinding geser beton dengan tinggi tidak melebihi 36,6 m, perhitungan periode fundamental pendekatan, T_{α} , diizinkan menggunakan persamaan berikut:

$$T_{\alpha} = \frac{0,00058}{\sqrt{C_w}} h_n \dots\dots\dots 2.15$$

Dimana h_n didefinisikan di atas dan C_w dihitung dari persamaan berikut:

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_n}{D_i}\right)^2\right]} \dots\dots\dots 2.16$$

2.6.3. Distribusi vertikal gaya seismik

Gaya seismik lateral, F_x , (kN) diseberang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} V \dots\dots\dots 2.17$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots 2.18$$

2.6.4. Distribusi horizontal gaya seismik

Geser tingkat desain seismik di semua tingkat, V_x (kN), harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \dots\dots\dots 2.19$$

Geser tingkat desain seismik, V_x (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen pemikul vertikal dan diafragma.

2.6.4.1. Torsi bawaan

Untuk diafragma yang tidak fleksibel, distribusi gaya lateral di masing-masing tingkat harus memperhitungkan pengaruh momen torsi bawaan, M_t , akibat eksentrisitas antara lokasi pusat massa dan pusat kekakuan. Untuk diafragma fleksibel, distribusi gaya ke elemen vertikal harus memperhitungkan posisi dan distribusi massa yang didukungnya.

2.6.4.2. Torsi tak terduga

Jika diafragma tidak fleksibel, desain harus menyertakan momen torsi bawaan (M_t) yang dihasilkan dari lokasi massa struktur ditambah momen torsi tak terduga (M_{ta}) akibat perpindahan pusat massa dari lokasi aktualnya yang diasumsikan pada masing-masing arah dengan jarak sebesar 5% dimensi struktur tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan.

Jika gaya gempa diterapkan secara serentak dalam dua arah ortogonal, perpindahan pusat massa 5% yang disyaratkan tidak perlu diterapkan dalam kedua arah ortogonal pada saat bersamaan, tetapi harus diterapkan dalam arah yang menghasilkan pengaruh yang lebih besar.

Torsi tak terduga harus diaplikasikan ke semua struktur untuk menentukan keberadaan ketidakberaturan horizontal. Momen torsi tak terduga (M_{ta}) tidak perlu diperhitungkan pada saat menentukan gaya seismik E pada perencanaan struktur dan pada saat menentukan simpangan antar tingkat kecuali untuk struktur-struktur berikut:

1. Struktur dengan kategori desain seismik B dengan ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1b
2. Struktur dengan kategori desain seismik C, D, E, dan F dengan ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1a dan tipe 1b

2.6.4.3. Pembesaran momen torsi tak terduga

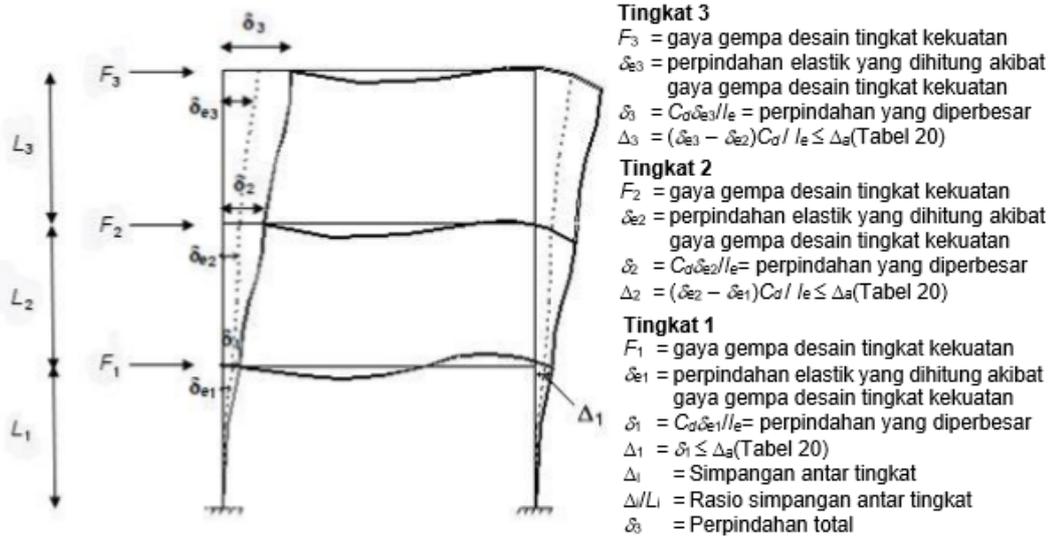
Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, di mana ketidakberaturan torsi tipe 1a atau 1b terjadi harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan M_{ta} di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi (A_x) dan ditentukan dari persamaan berikut:

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

Faktor pembesaran torsi (A_x) tidak boleh kurang dari 1 dan tidak perlu melebihi 3,0. Pembebanan yang lebih parah untuk masing-masing elemen harus ditinjau untuk desain.

2.6.5. Penentuan simpangan antar tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan dalam 7.8 tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.



Gambar 2.1 Penentuan simpangan antar tingkat

Sumber: SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung

Bagi struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1a atau 1b, simpangan antar tingkat desain, Δ , harus dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik-titik yang segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur, di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau.

Simpangan pusat massa ditingkat-x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots 2.21$$

2.6.6. Pengaruh P-delta

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

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta I_c}{V_x h_{sx} C_d} \dots\dots\dots 2.22$$

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

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \dots\dots\dots 2.23$$

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 0,10 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 $\frac{1,0}{(1-\theta)}$

Jika θ lebih besar dari θ_{max} , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang. Jika pengaruh P-delta disertakan dalam analisis otomatis, persamaan 16 tetap harus dipenuhi, akan tetapi nilai θ yang dihitung dari persamaan 15 menggunakan hasil analisis P-delta diizinkan dibagi dengan $(1 + \theta)$ sebelum diperiksa dengan persamaan (16).

2.7. Kolom

2.7.1. Pengertian Kolom

Menurut Muin, dalam penelitian Simatupang P.H. (2018), kolom beton bertulang merupakan elemen struktur vertikal yang terbuat dari beton dan baja tulangan yang tahan terhadap gaya tekan dan gaya tarik. Kolom berfungsi untuk menyalurkan beban aksial tekan, dengan atau tanpa adanya momen, dari struktur di atasnya hingga ke tanah melalui pondasi.

Kolom dapat mengalami ragam kegagalan material sebagai berikut:

1. Keruntuhan tarik (*under-reinforced*)

Keruntuhan tarik terjadi pada saat regangan tulangan tarik melebihi batas leleh ($\epsilon_s > \epsilon_y$) sehingga kekuatan penampang kolom ditentukan oleh kuat leleh tulangan tarik.

2. Keruntuhan berimbang (*balanced*)

Pada kondisi ini, tulangan tarik mencapai leleh ($\epsilon_s = \epsilon_y$) bersamaan dengan regangan beton tekan mencapai batas retak atau batas ultimit ($\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0,003$)

3. Keruntuhan tekan (*over-reinforced*)

Keruntuhan tekan terjadi apabila regangan tekan beton telah mencapai batas ultimit ($\epsilon_{cu} = 0,003$), tulangan tekan telah mencapai leleh tetapi tulangan tarik belum leleh.

2.7.2. Jenis-jenis Kolom

1. Kolom sengkang lateral

Kolom ini mempunyai batang tulangan pokok memanjang yang pada jarak tertentu diikat dengan sengkang ke arah lateral. Tulangan ini berfungsi untuk memegang tulangan memanjang agar tetap kokoh pada tempatnya.

2. Kolom spiral

bentuk tulangannya sama dengan kolom sengkang lateral hanya saja tulangan pokok memanjangnya adalah spiral yang dililitkan sepanjang kolom dan membentuk *heliks*.

3. Kolom komposit

Kolom yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa.

4. Kolom utama

Kolom yang fungsi utamanya adalah menyangga beban suatu bangunan dan menyalurkan ke pondasi.

5. Kolom praktis

Kolom yang mempunyai fungsi sebagai pengikat dinding agar dinding menjadi stabil.

2.7.3. Syarat perencanaan kolom

Suatu kolom harus direncanakan sesuai peraturan yang ada agar dapat bekerja untuk menjalankan fungsinya dalam suatu struktur bangunan dan mempunyai kekuatan yang telah direncanakan. Perencanaan kolom sendiri ada di dalam SNI 2847-2019. Dimana pada struktur kolom harus memenuhi persamaan berikut:

$$\phi P_n \geq P_u$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$\phi T_n \geq T_u$$

2.8. Dilatasi Bangunan

2.8.1. Pengertian Dilatasi

Dilatasi adalah sebuah sambungan atau pemisah pada suatu bangunan yang karena suatu akibat memiliki sistem struktur yang berbeda dengan maksud menghindari keretakan pada bangunan yang ditimbulkan oleh getaran horizontal maupun vertikal. Dilatasi digunakan untuk memperkecil momen puntir suatu bangunan yang dapat mengakibatkan keretakan pada bangunan atau yang lebih parah bisa berakibat pada keruntuhan bangunan itu sendiri yang biasanya diakibatkan oleh gaya geser atau saat terjadinya gempa.

2.8.2. Fungsi Dilatasi

Pada struktur bangunan dilatasi memiliki fungsi diantaranya:

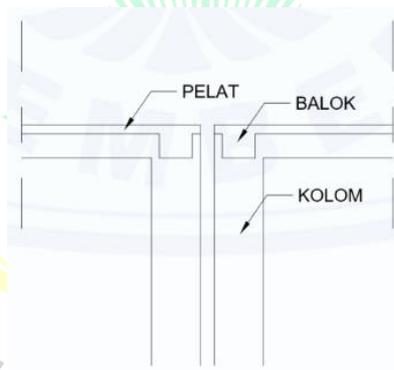
1. Memperkecil terjadinya keruntuhan suatu bangunan akibat terjadinya gempa.
2. Memperkecil momen puntir yang terjadi pada saat terjadi gempa.

2.8.3. Jenis-jenis Dilatasi pada Bangunan

Dilatasi pada struktur bangunan memiliki jenis-jenis diantaranya:

1. Dilatasi 2 kolom

Dilatasi 2 kolom adalah dilatasi yang menggunakan 2 kolom yang dipasang secara berdampingan. Dilatasi 2 kolom pada sebuah bangunan biasanya dipakai pada bangunan yang mempunyai bentuk memanjang. SNI 1726-2019 menyebutkan bahwa bangunan yang dipisahkan secara struktural dengan jarak yang memadai untuk menghindari kerusakan akibat benturan. Jarak dari kedua bangunan tersebut harus bisa dibuktikan secara rasional berdasarkan respon inelastik. Pada dilatasi 2 kolom sendiri untuk jarak bangunan yang dipisahkan tidak dibatasi jaraknya asalkan bangunan tersebut ketika terjadinya suatu getaran atau terjadinya gempa tidak berbenturan antara bangunan yang satu dengan yang lainnya.



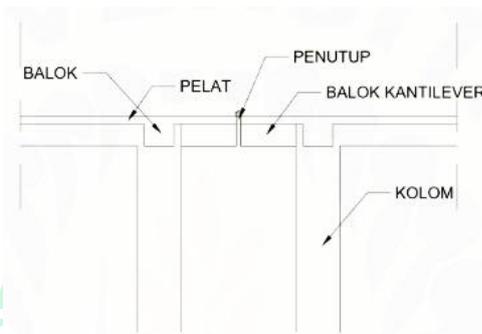
Gambar 2.2 Dilatasi 2 Kolom

Sumber: Analisis Perbandingan Efektivitas Penggunaan Dilatasi Balok Kantilever dan Dilatasi 2 Kolom pada Proyek Gedung Parkir Bertingkat Kampus B Universitas Airlangga (2021)

2. Dilatasi balok kantilever

Dilatasi balok kantilever adalah sebuah dilatasi yang pada salah satu ujung baloknya memiliki perletakan jepit dan ujung balok yang lainnya bebas. Sifat-sifat tumpuan jepit diantaranya adalah tidak dapat bergeser

(vertikal maupun horizontal) dan berputar, dapat menahan gaya horizontal, gaya vertikal dan momen. Dilatasi balok kantilever biasanya ditemukan pada konstruksi bangunan gedung pada balkon dan juga pada konstruksi bangunan jembatan. Balok kantilever mempunyai panjang maksimal $\frac{1}{3}$ dari balok induk.

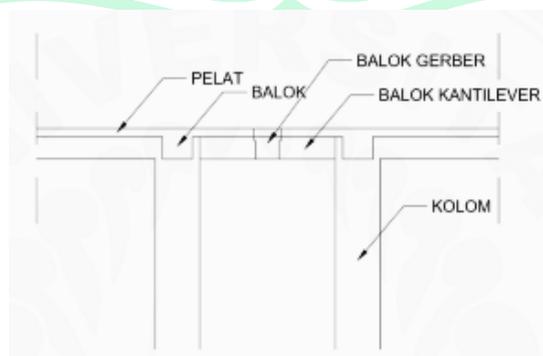


Gambar 2.3 Dilatasi balok kantilever

Sumber: Analisis Perbandingan Efektivitas Penggunaan Dilatasi Balok Kantilever dan Dilatasi 2 Kolom pada Proyek Gedung Parkir Bertingkat Kampus B Universitas Airlangga (2021)

3. Dilatasi balok gerber

Dilatasi balok gerber adalah dilatasi yang digunakan apabila jarak kolom diinginkan tetap sama dan mempunyai kekurangan apabila ada beban horizontal yang cukup besar atau adanya geseran waktu terjadinya gempa bumi maka bisa berakibat balok gerber terlepas dan akhirnya jatuh.

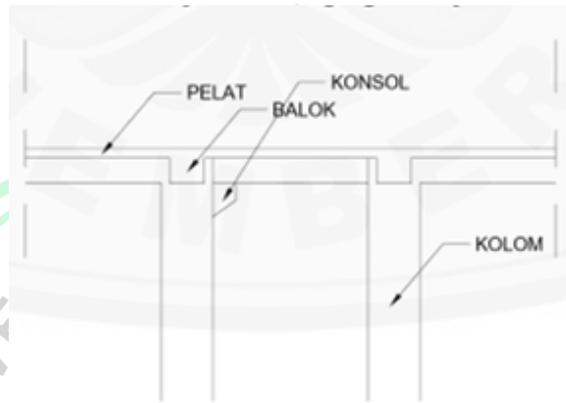


Gambar 2.4 Dilatasi balok gerber

Sumber: Analisis Perbandingan Efektivitas Penggunaan Dilatasi Balok Kantilever dan Dilatasi 2 Kolom pada Proyek Gedung Parkir Bertingkat Kampus B Universitas Airlangga (2021)

4. Dilatasi konsol

Dilatasi konsol dapat diterapkan pada bangunan yang memakai sistem material prefabrikasi dan apabila menginginkan jarak kolom sama.



Gambar 2.5 Dilatasi konsol

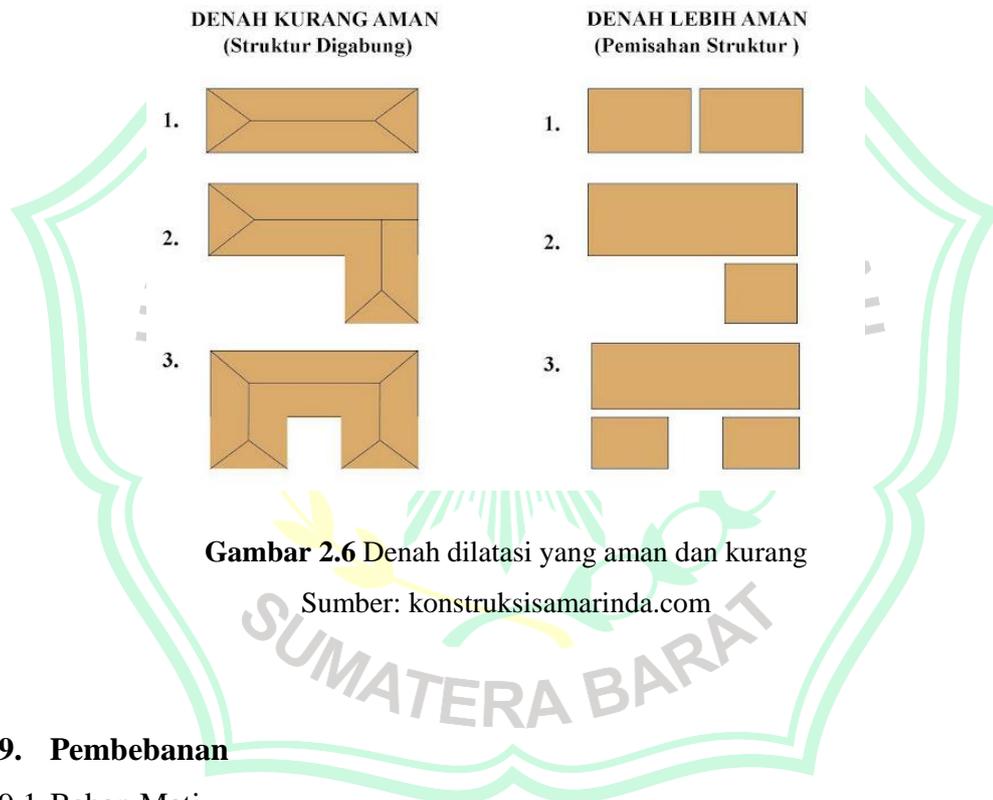
Sumber: Analisis Perbandingan Efektivitas Penggunaan Dilatasi Balok Kantilever dan Dilatasi 2 Kolom pada Proyek Gedung Parkir Bertingkat Kampus B Universitas Airlangga (2021)

2.8.4. Penerapan Dilatasi

Penerapan dilatasi memperhatikan dan memperhitungkan jarak dalam bangunan dan juga perlu dipertimbangkan penempatan letak dilatasi pada bangunan tersebut karena akan berpengaruh terhadap kekuatan struktur bangunan itu sendiri. Dua atau beberapa gedung yang ada sistem dilatasinya akan mengalami waktu gelar alami yang berbeda, sehingga akan menyebabkan benturan antar gedung. Dilatasi juga membuat ketidakefektifan dalam pemasangan interior, seperti plafon, keramik, dan lain-lain. Dilatasi pada bangunan biasanya menggunakan karet untuk membatasi antar bangunan dan biasanya juga memakai sterofom. Pemilihan bahan ini dikarenakan kemudahan

dalam pemasangannya dan juga karet memiliki sifat elastis yang bisa meredam getaran. Dalam suatu bangunan dilatasi biasanya digunakan pada bangunan:

1. Memiliki perbedaan ketinggian bangunan.
2. Mempunyai bangunan induk dan bangunan sayap.
3. Mempunyai kelemahan pada sisi geometris.
4. Mempunyai panjang lebih dari 30 m.
5. Dibangun di atas tanah yang mempunyai elevasi berbeda.
6. Didirikan di daerah yang rentan terhadap gempa.
7. Memiliki denah berbentuk Z, T, L, O, U, dan H.



2.9. Pembebanan

2.9.1. Beban Mati

Peraturan pembebanan SNI 1727-2019 pasal 3.1.1 Menyatakan bahwa pengertian beban mati merupakan berat semua beban konstruksi bangunan yang terpasang atau lebih jelasnya berat sendiri dari struktur (balok, kolom, plat lantai dan sebagainya).

2.9.2. Beban Hidup

Peraturan pembebanan SNI 1727-2019 menyatakan bahwa pengertian beban hidup merupakan beban yang dipengaruhi oleh pemakai bangunan atau beban mati lain yang berpindah tempat dan tidak terhitung beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati.

2.9.3. Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang meneruskan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisis dinamik, maka diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleg gerakan tanah akibat beban itu.

Spektrum respon vertikal MCE_R

1. Untuk periode vertikal kurang dari atau sama dengan 0,025 detik, S_{aMv} harus mengikuti persamaan berikut:

$$S_{aMv} \dots = 0,3 \cdot C_v \cdot S_{MS} \dots \dots \dots 2.24$$

2. Untuk periode vertikal lebih besar dari 0,025 detik dan kurang dari atau sama dengan 0,05 detik, S_{aMv} harus ditentukan mengikuti persamaan berikut:

$$S_{aMv} = 20 \cdot C_v \cdot S_{MS} (T_v - 0,025) + 0,3 \cdot C_v \cdot S_{MS} \dots \dots \dots 2.25$$

3. Untuk periode vertikal lebih besar dari 0,05 detik dan kurang dari atau sama dengan 0,15 detik, S_{aMv} harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S_{aMv} = 0,8 \cdot C_v \cdot S_{MS} \dots \dots \dots 2.26$$

4. Untuk periode vertikal lebih besar dari 0,15 detik dan kurang dari atau sama dengan 2,0 detik, S_{aMv} harus ditentukan mengikuti persamaan berikut:

$$S_{aMv} = 0,8 \cdot C_v \cdot S_{MS} \left(\frac{0,15}{T_v} \right)^{0,75} \dots \dots \dots 2.27$$

Tabel 2.3 Nilai Koefisien Vertikal C_v

Parameter spektral respons MCE_R terpetakan pada periode pendek	Kelas situs A, B	Kelas situs C	Kelas situs D, E, F
$S_S \geq 2,0$	0,9	1,3	1,5
$S_S = 1,0$	0,9	1,1	1,3
$S_S = 0,6$	0,9	1,0	1,1
$S_S = 0,3$	0,8	0,8	0,9
$S_S \leq 0,2$	0,7	0,7	0,7

Sumber: SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung

2.9.3.1. Beban Gempa Respon Spektrum

1. Definisi Kelas Situs

Peraturan gempa SNI 1726-2019 menjelaskan bahwa harus ditetapkan tipe kelas situs.

2. Parameter *Respons Spectral*

Peraturan gempa SNI 1726-2019 menjelaskan pengertian parameter S_S adalah parameter respon spektral percepatan gempa MCE terpetakan untuk period pendek sedangkan S_1 merupakan parameter respon spektral percepatan gempa MCE terpetakan untuk periode 1,0 detik.

3. Koefisien Situs

Bersumber pada peraturan gempa SNI 1726-2019 Koefisien situs F_a merupakan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek sedangkan koefisien situs F_v merupakan faktor amplifikasi tergantung percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik yang masing-masingnya merupakan faktor amplifikasi untuk penentuan respons spektral percepatan gempa

maksimum yang diestimasi resiko-tertarget (MCE_R) di permukaan tanah.

Untuk nilai F_a dan F_v dilihat dari aplikasi online. Dari nilai F_a dan F_v didapatkan nilai parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}). Mencari periode pendek dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$S_{MS} = F_a \times S_S \dots\dots\dots 2.28$$

Sementara itu untuk mencari nilai periode 1 detik dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots 2.29$$

4. Parameter Percepatan Spektral Desain

Bersumber pada peraturan gempa SNI 1726-2019 parameter percepatan spektral desain terdiri dari parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek S_{DS} dan perioda 1 detik S_{D1} .

Untuk nilai dari S_{DS} dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \dots\dots\dots 2.30$$

Untuk mencari nilai dari S_{D1} dapat menggunakan persamaan ini:

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \dots\dots\dots 2.31$$

5. Spektrum Respon Desain

Peraturan gempa SNI 1726-2019 menyatakan bahwa bila spektrum respons desain dibutuhkan dan prosedur gerak tanah dari spesifik siklus tidak dipakai.

a. Untuk $T < T_0$ maka respons percepatan desain, S_a

$$S_a = S_{DS} \times \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}\right) \dots\dots\dots 2.32$$

b. Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$

$$S_a = S_{DS} \dots\dots\dots 2.33$$

c. $T > T_s$

$$S_a = S_{D1} / T \dots\dots\dots 2.34$$

Berdasarkan SNI 1726-2019, kombinasi pembebanan antara lain:

1. 1,4 D 2.35
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr atau R)..... 2.36
3. 1,2 D + 1,6 (Lr atau R) + (L atau 0,5 W)..... 2.37
4. 1,2 D + E_v + E_h + L..... 2.38
5. 0,9 D – E_v + E_h..... 2.39

2.9.4. Perencanaan ketahanan gempa untuk gedung

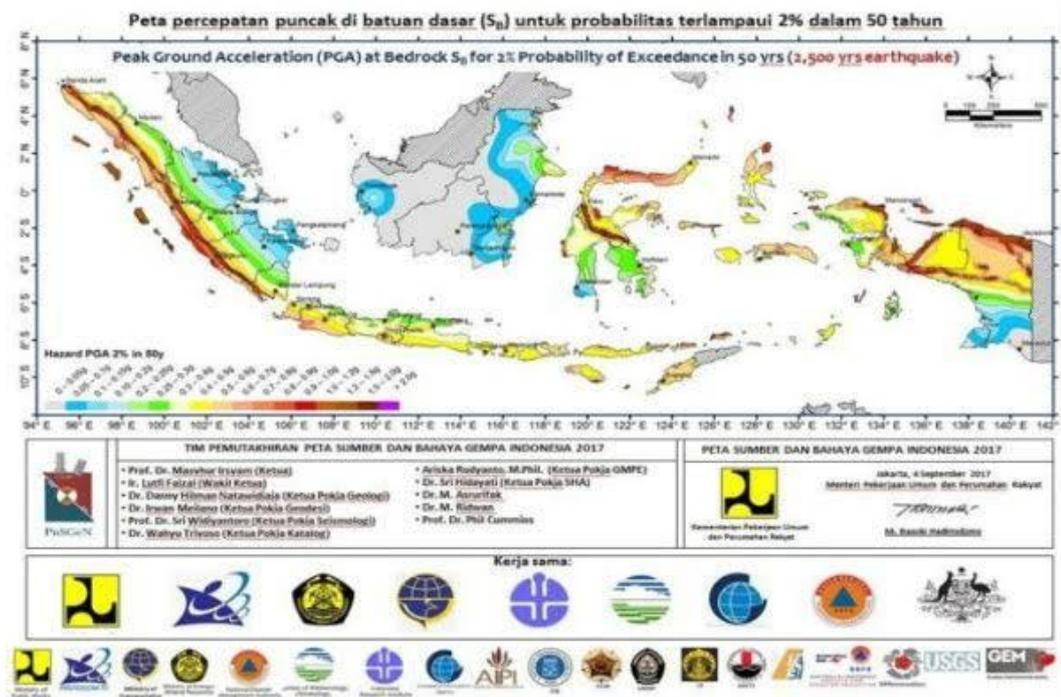
2.9.4.1. Gaya geser dasar (nominal)

$$V = (C_t \cdot I/R) W_t \dots\dots\dots 2.40$$

Dimana C_t adalah koefisien respons percepatan pada waktu getar alami fundamental T₁ yang didapatkan dari respon spektra gempa rencana sesuai dengan daerah gempa tempat bangunan didirikan. I adalah faktor keutamaan yang besarnya antara 1 dan 1,6, sedangkan W_t adalah berat total bangunan. R adalah koefisien reduksi yang merupakan perkalian antara faktor kuat lebih beban f₁ dengan daktilitas struktur μ seperti persamaan berikut:

$$R = f_1 \cdot \mu \dots\dots\dots 2.41$$

Faktor kuat lebih beban f₁ diambil sebesar 1,6 sedangkan daktilitas struktur μ bervariasi dari 1 untuk struktur yang elastik penuh sampai 5,3 untuk struktur yang daktil penuh.



Gambar 2.7 Peta gempa Indonesia SNI 03-1726-2019

Sumber: Badan Standarisasi (2019)

2.9.4.2. Peraturan perencanaan

Syarat-syarat perancangan struktur gedung tahan gempa yang ditetapkan dalam standar ini tidak berlaku untuk bangunan sebagai berikut:

1. Gedung dengan sistem struktur yang tidak umum atau masih memerlukan pembuktian tentang kelayakan
2. Gedung dengan sistem isolasi landasan (base isolation) untuk meredam pengaruh gempa terhadap struktur atas
3. Bangunan teknik sipil seperti jembatan, bangunan air, dinding, dan dermaga pelabuhan, anjungan lepas pantai dan bangunan non-gedung lainnya
4. Rumah tinggal satu tingkat dan gedung-gedung non-teknis lainnya.

2.9.4.3. Wilayah gempa dan respon spektrum

Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 Wilayah Gempa seperti ditunjukkan dalam gambar 2.3, di mana Wilayah Gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan Wilayah Gempa 6 dengan kegempaan paling tinggi. Pembagian Wilayah Gempa ini berdasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh Gempa Rencana dengan perioda ulang 500 tahun, yang nilai ratanya untuk setiap Wilayah Gempa ditetapkan di dalam tabel berikut:

Tabel 2.4 Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka Tanah

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan geser ('g')	Percepatan Puncak Muka Tanah A0 ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

Sumber: SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung

Untuk masing-masing Wilayah Gempa ditetapkan respon spektrum gempa rencana adalah faktor respon gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi dan T adalah waktu getar alami struktur gedung dinyatakan dalam detik. Untuk $T = 0$ nilai C menjadi sama dengan A0, dimana A0 merupakan percepatan puncak pada permukaan tanah.

2.9.4.4. Jenis-Jenis Tanah

Jenis tanah dikelompokkan menjadi 4 bagian, dengan pembagiannya berdasarkan besaran kecepatan rambat gelombang geser rata-rata (v_s), nilai hasil tes penetrasi standar rata-rata (N), dan kuat geser nilai rata-rata.

Tabel 2.5 Jenis-jenis tanah

Jenis Tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata (m/det)	Nilai hasil tes penetrasi standar rata-rata	Kuat geser niralir rata-rata (kPa)
Tanah keras	$V_s \geq 350$	$N \geq 350$	$S_\mu \geq 350$
Tanah Sedang	$175 \leq v_s < 350$	$175 \leq N < 350$	$175 \leq S_\mu < 350$
Tanah Lunak	$V_s < 175$	$N < 175$	$S_\mu < 175$
	Atau, setiap profil dengan tanah lunak yang tebal total lebih dari 3 m dengan $PI > 2$, $w_n \geq 40\%$ dan $S_\mu < 25$ kPa		
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus disetiap lokasi		

Sumber: SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung

2.9.4.5. Daktilitas struktur

Faktor daktilitas struktur gedung μ adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya perlelahan pertama d , yaitu:

$$1,0 \leq \mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} \mu \dots\dots\dots 2.42$$

Dalam persamaan di atas, $\mu = 1,0$ adalah nilai faktor daktilitas untuk struktur gedung yang berperilaku elastik penuh, sedangkan

μ adalah nilai faktor daktilitas maksimum yang dapat dikerahkan oleh sistem struktur gedung yang bersangkutan menurut SNI 1726-2019.

2.9.4.6. Gaya geser dasar gempa dan beban lateral gempa

Berdasarkan SNI 03-1726-2019, struktur gedung beraturan dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat gempa rencan dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur tersebut, berupa beban gempa nominal static ekuivalen. Beban geser dasar nominal statik yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung dengan persamaan:

$$V = \frac{C_1 \cdot I}{R} W_t \dots\dots\dots 2.43$$

Beban geser nominal di atas harus didistribusikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban nominal static ekuivalen, F_i , yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke-I dengan persamaan:

$$F_1 = \frac{W_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot z_i} V \dots\dots\dots 2.44$$

Apabila rasio antara tinggi struktur gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa sama dengan atau melebihi 3, maka 0,1 harus dianggap sebagai beban horizontal terpusat yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat paling atas, sedangkan 0,9 sisanya harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal static ekuivalen.

2.9.4.7. Waktu getar alami fundamental

Tabel 2.6 Koefisien C yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung

Wilayah Gempa	Z
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

Sumber: SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung

Periode struktur fundamental, T, yang ditinjau harus diperoleh dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental, T, tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan (T_a). Sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental, T, diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a , yang dihitung sesuai dengan persamaan:

Tabel 2.7 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respon spectral desain pada 1 detik	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur
bangunan gedung dan non gedung



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini mengambil data gempa di Kota Bukittinggi.

3.2. Data Penelitian

Sumber data penelitian ini bersumber dari bangunan desain sendiri dengan ukuran bangunan 30 m x 30 m dengan denah berbentuk T.

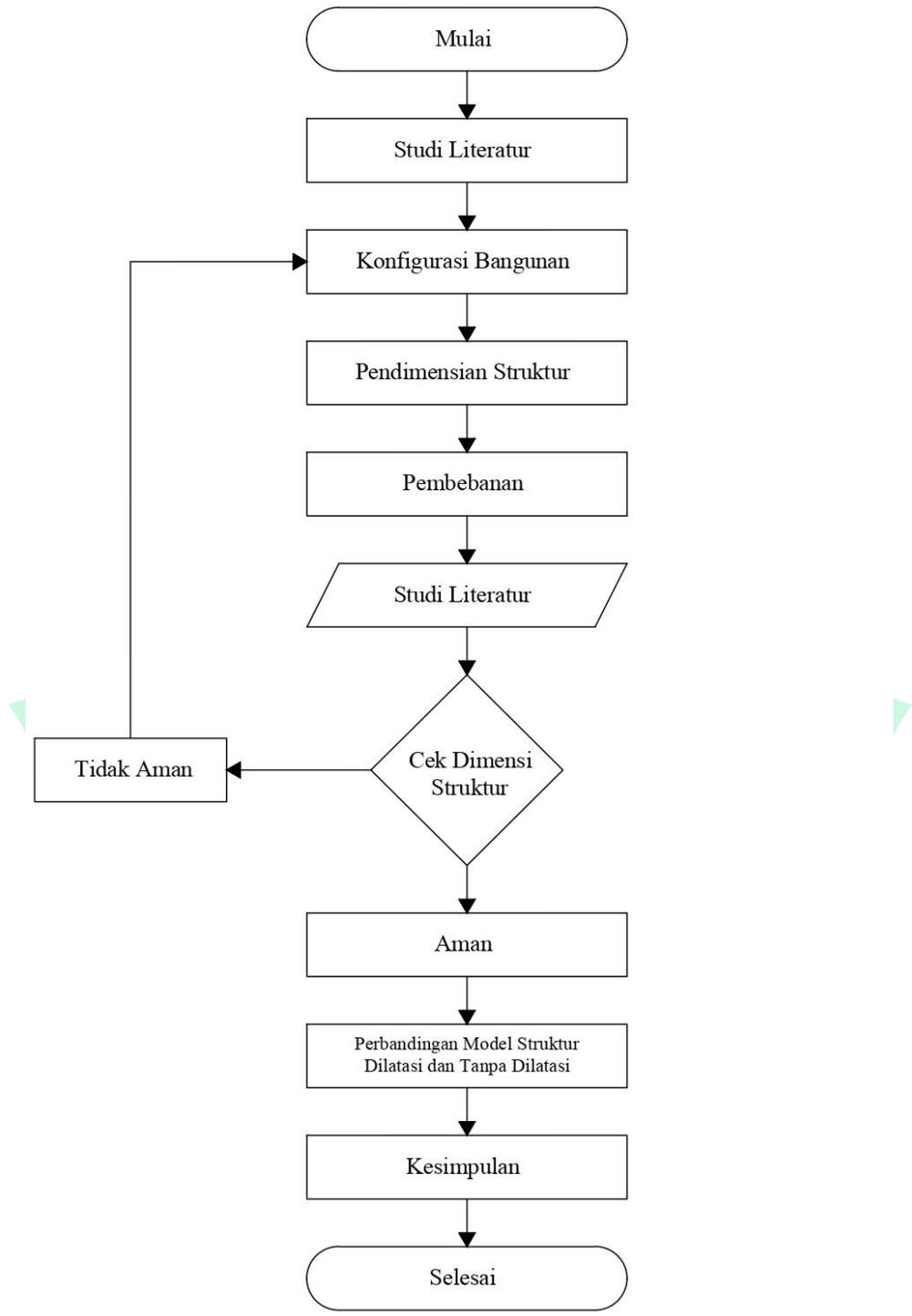
3.3. Metode Analisa Data

Analisis data adalah proses pengorganisasian dan pengurutan data ke dalam pola, kategori dan satuan urai dasar. Tujuan analisis adalah untuk menyederhanakan data ke dalam bentuk yang mudah dibaca dan diimplementasikan.

Analisis dimulai dengan beberapa tahapan, dimulai dari mendesain bangunan, pengolahan data, dan perbandingan data terhadap bangunan yang tidak menggunakan dilatasi dan bangunan yang menggunakan dilatasi. Di sini penelitian untuk bangunan yang didilatasi menggunakan dilatasi dengan 2 kolom.

3.4. Bagan Alir Penelitian

Agar hasil penelitian dapat dipertanggungjawabkan dan memuaskan, maka penulisan penelitian dan petunjuk pelaksanaan pada bagan alir di bawah dapat menggambarkan lebih jelas alur penelitian.



Gambar 3.1 Bagan alir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Deskripsi Umum Struktur

4.1.1. Keterangan umum bangunan

Struktur yang digunakan adalah struktur bangunan perkantoran di Kota Bukittinggi yang terdiri dari 6 lantai. Dimana syarat gedung dikatakan bangunan tinggi yaitu terdiri dari 6 lantai.

4.1.2. Data struktur

4.1.2.1. Sistem struktur

Dengan berpedoman pada peraturan SNI 2847-2019 tentang persyaratan struktur tahan gempa, maka Kota Bukittinggi dikategorikan tingkat resiko kegempaan tinggi. Digunakan Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

4.1.2.2. Tinggi antar lantai

Lantai 1 – lantai 6 : 4 meter

Tinggi total bangunan : 24 meter

4.1.2.3. Pelat

Berpedoman pada peraturan SNI 2847-2019 diperoleh dimensi pelat sebagai berikut:

Tebal pelat: 120 mm

Berikut perhitungan pelat atap dan lantai

1. Pelat atap

a. Beban hidup (LL)

Berdasarkan SNI 1727-2020

$$\text{Gedung} = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

b. Beban mati (DL)

1) Beban Plat lantai sendiri	= 0,10 x 24 = 2,40 kN/m ²
2) Beban waterproofing (t = 2 cm)	= 0,02 x 24 = 0,48 kN/m ²
3) Beban plafond dan penggantung	= 0,20 kN/m ²
4) Beban instalasi ME	= <u>0,25 kN/m²</u>
Total	DL = 3,33 kN/m ²

c. Beban terfaktor (Wu)

$$\begin{aligned} W_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 \times 3,33 + 1,6 \times 1,0 \\ &= 5,596 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

d. Perhitungan momen

Bentang bersih:

$$\begin{aligned} l_y &= l_y - \left(\frac{1}{2} \times b_i + \frac{1}{2} \times b_i\right) \\ &= 5000 - \left(\frac{1}{2} \times 600 + \frac{1}{2} \times 600\right) \\ &= 4400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_x &= l_x - \left(\frac{1}{2} \times b_i + \frac{1}{2} \times b_i\right) \\ &= 5000 - \left(\frac{1}{2} \times 600 + \frac{1}{2} \times 600\right) \\ &= 4400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\beta = \frac{l_y}{l_x} = \frac{4400}{4400} = 1 < 2 \text{ termasuk pelat dua arah}$$

Perhitungan momen pelat atap, nilai momen yang bekerja pada pelat lantai ditentukan berdasarkan nilai β pada tabel koefisien momen PBI – 1971.

		l_y/l_x	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	>2,5
I		Mlx = +0,001 qlx ² X	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	113	125
	Mly = +0,001 qlx ² X	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25	
II		Mlx = +0,001 qlx ² X	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40	41	41	41	42	42	42	42
	Mly = +0,001 qlx ² X	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	10	10	8	
III		Mlx = +0,001 qlx ² X	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83
	Mly = -0,001 qlx ² X	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	
IVa		Mlx = +0,001 qlx ² X	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63
	Mly = +0,001 qlx ² X	28	28	28	27	26	25	23	23	22	21	19	18	17	17	16	16	13	
IVb		Mlx = -0,001 qlx ² X	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125
	Mly = -0,001 qlx ² X	68	72	74	76	77	77	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79	79	
V		Mlx = +0,001 qlx ² X	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125
	Mly = +0,001 qlx ² X	32	35	37	39	40	41	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	25	
VI		Mlx = -0,001 qlx ² X	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	125
	Mly = +0,001 qlx ² X	32	34	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	
VII		Mlx = +0,001 qlx ² X	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	9	9	9	9	8	
	Mly = -0,001 qlx ² X	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	83	83	83	83	83	
VIII		Mlx = +0,001 qlx ² X	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125
	Mly = +0,001 qlx ² X	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25	
IX		Mlx = -0,001 qlx ² X	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125
	Mly = +0,001 qlx ² X	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63	
X		Mlx = +0,001 qlx ² X	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	13
	Mly = -0,001 qlx ² X	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	123	124	125
XI		Mlx = +0,001 qlx ² X	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63
	Mly = +0,001 qlx ² X	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	20	19	19	18	13	
XII		Mlx = -0,001 qlx ² X	55	65	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125
	Mly = -0,001 qlx ² X	60	65	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	79	79	
XIII		Mlx = +0,001 qlx ² X	26	29	32	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42
	Mly = +0,001 qlx ² X	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	8	
XIV		Mlx = -0,001 qlx ² X	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83
	Mly = -0,001 qlx ² X	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	

— Terletak bebas

 - - - - - Terjepit penuh

Gambar 4.1 Momen dalam pelat persegi

Sumber: PBI 1971

Berdasarkan perhitungan bersih didapatkan hasilnya 1 dengan pelat 2 arah dengan pelat terjepit keseluruhan maka untuk nilai momenya didapatkan sebagai berikut:

$$x_{lx} = 21$$

$$x_{ly} = 21$$

$$x_{lx} = 52$$

$$x_{ly} = 52$$

$$Mlx = 0,001 \cdot Wu \cdot lx^2 \cdot X = 0,001 \cdot 5,596 \cdot (4,4^2) \cdot 21 = 2,275 \text{ kN/m}$$

$$Mly = 0,001 \cdot Wu \cdot lx^2 \cdot X = 0,001 \cdot 5,596 \cdot (4,4^2) \cdot 21 = 2,275 \text{ kN/m}$$

$$Mtx = 0,001 \cdot Wu \cdot lx^2 \cdot X = 0,001 \cdot 5,596 \cdot (4,4^2) \cdot 52 = 5,633 \text{ kN/m}$$

$$Mty = 0,001 \cdot Wu \cdot lx^2 \cdot X = 0,001 \cdot 5,596 \cdot (4,4^2) \cdot 52 = 5,633 \text{ kN/m}$$

e. Penulangan Lapangan Arah x

1) Momen yang terjadi pada pelat atap:

$$Mu = 2,275 \text{ kN/m}$$

2) Tinggi efektif pelat atap

$$\begin{aligned} d &= h - ts - \frac{1}{2} D \\ &= 100 - 20 - \frac{1}{2} \times 10 = 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

3) Ditinjau pelat lantai selebar 1 m:

$$b = 1000 \text{ mm}$$

4) Momen nominal:

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{2,275}{0,8} \\ &= 2,843 \text{ kN/m} = 2\,843\,000 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

5) Koefisien tahanan:

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{2\,843\,000}{0,9 \times 1000 \times 75^2} \\ &= 0,505 \end{aligned}$$

6) Menentukan rasio tulangan perlu:

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{fy} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,003 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{0,85f_c'}{f_y} \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,505}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,0012\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{maks} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \frac{f_c'}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \frac{30}{420} \left[\frac{600}{600 + 420} \right] \\ &= 0,0228\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \rho_{min} < \rho < \rho_{max} \\ &= 0,0033 > 0,0018 < 0,0228\end{aligned}$$

Maka digunakan $\rho_{min} = 0,00333$

7) Luas tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned}A_{sperlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00333 \times 1000 \times 75 = 250 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D10

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 78,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{A_s \times b}{A_{sperlu}} \\ &= \frac{78,5 \times 1000}{250}\end{aligned}$$

$$= 314 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan lapangan arah-x D10 – 300 mm

f. Penulangan Lapangan Arah y

1) Momen yang terjadi pada atap:

$$Mu = 2,275 \text{ kN/m}$$

2) Tinggi efektif pelat atap:

$$\begin{aligned}d &= h - ts - \frac{1}{2} D \\ &= 100 - 20 - \frac{1}{2} \times 10 = 75 \text{ mm}\end{aligned}$$

3) Ditinjau pelat lantai selebar 1 m

$$b = 1000 \text{ mm}$$

4) Momen nominal

$$\begin{aligned}Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{2,275}{0,8} \\ &= 2,843 \text{ kN/m} = 2\,843\,000 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

5) Koefisien tahanan

$$\begin{aligned}Rn &= \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{2\,843\,000}{0,9 \times 1000 \times 75^2} \\ &= 0,505\end{aligned}$$

6) Rasio tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{1,4}{fy} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,003\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{0,85fc'}{fy} \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times fc'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,720}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,0018\end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \frac{fc'}{fy} \left[\frac{600}{600 + fy} \right]$$

$$= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \frac{30}{420} \left[\frac{600}{600+420} \right]$$

$$= 0,0228$$

Syarat $= \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$= 0,0033 > 0,0018 < 0,0228$$

Maka digunakan $\rho_{\min} = 0,0033$

7) Luas tulangan yang diperlukan:

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00333 \times 1000 \times 75 = 225 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D10

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_s \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$= \frac{78,5 \times 1000}{225}$$

$$= 314 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan lapangan arah-y D10 – 300 mm

g. Penulangan Tumpuan Arah x

1) Momen yang terjadi pada atap :

$$M_u = 5,633 \text{ kN/m}$$

2) Tinggi efektif pelat atap:

$$d = h - t_s - \frac{1}{2} D$$

$$= 100 - 20 - \frac{1}{2} \times 10 = 75 \text{ mm}$$

3) Ditinjau pelat lantai selebar 1 m

$$b = 1000 \text{ mm}$$

4) Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{5,633}{0,8} \\ &= 7,042 \text{ kN/m} = 7\,042\,006 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

5) Koefisien tahanan

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{7\,042\,006}{0,9 \times 1000 \times 75^2} \\ &= 1,391 \end{aligned}$$

6) Rasio tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} = 0,003 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,391}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,0044 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{maks}} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \frac{f_c}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \cdot \frac{30}{420} \left[\frac{600}{600 + 420} \right] \\ &= 0,0228 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ &= 0,003 < 0,0044 < 0,0228 \end{aligned}$$

Maka digunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0,0034$

7) Luas tulangan yang diperlukan:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,004 \times 4 \times 1000 \times 75 = 330 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D10

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_s \times b}{A_{s\text{perlu}}}$$

$$= \frac{78,5 \times 1000}{330}$$

$$= 237,87 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan tumpuan arah-x D10 – 200 mm

h. Penulangan Tumpuan Arah y

1) Momen yang terjadi pada pelat:

$$M_u = 5,633 \text{ kN/m}$$

2) Tinggi efektif pelat atap:

$$d = h - t_s - \frac{1}{2} D$$

$$= 100 - 20 - \frac{1}{2} \times 10 = 75 \text{ mm}$$

3) Ditinjau pelat lantai selebar 1 m

$$b = 1000 \text{ mm}$$

4) Momen Nominal

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{5,633}{0,8}$$

$$= 7,042 \text{ kN/m} = 7\,042\,006 \text{ N/mm}$$

5) Koefisien tahanan

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{7\,042\,006}{0,9 \times 1000 \times 75^2}$$

$$= 1,391$$

6) Rasio tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} = 0,003\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85f_c'}{f_y} \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,391}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,0044\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{maks}} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \frac{f_c'}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \frac{30}{420} \left[\frac{600}{600 + 420} \right] \\ &= 0,0228\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ &= 0,003 < 0,0044 < 0,0228\end{aligned}$$

Maka digunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0,0044$

7) Luas tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned}A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0044 \times 1000 \times 75 = 330 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D10

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{A_s \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{78,5 \times 1000}{330} \\ &= 237,87 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dipakai tulangan tumpuan arah-y D10 – 200 mm

Cara perhitungan untuk model dengan dilatasi dan tanpa dilatasi dilakukan sama. Karena bentang arah x dan y pada

pelat atap sama pada semua model struktur dan pembebanan sama.

2. Pelat lantai

a. Beban hidup (LL)

Berdasarkan SNI 1727-2020

Gedung = 4,79 kN/m²

b. Beban mati (DL)

1) Beban Plat lantai sendiri	= 0,12 x 24 = 2,88 kN/m ²
2) Beban Pasir urug (t= 1 cm)	= 0,01 x 16 = 0,16 kN/m ²
3) Beban spesi (t = 3 mm)	= 0,03 x 22 = 0,66 kN/m ²
4) Beban keramik (t = 1 cm)	= 0,01 x 22 = 0,22 kN/m ²
5) Beban plafond dan penggantung	= 0,20 kN/m ²
6) Beban instalasi ME	= 0,25 kN/m ²
7) Plafond dan penggantung	= 0,20 kN/m ²
Total DL	= 4,57 kN/m ²

c. Beban terfaktor (Wu)

$$\begin{aligned}W_u &= 1,2 DL + 1,6 LL \\ &= 1,2 \times 4,57 + 1,6 \times 4,79 \\ &= 13,148 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

d. Perhitungan momen

Bentang bersih:

$$\begin{aligned}l_y &= l_y - \left(\frac{1}{2} \times b_i + \frac{1}{2} \times b_i\right) \\ &= 5000 - \left(\frac{1}{2} \times 600 + \frac{1}{2} \times 600\right) \\ &= 4400 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}l_x &= l_x - \left(\frac{1}{2} \times b_i + \frac{1}{2} \times b_i\right) \\ &= 5000 - \left(\frac{1}{2} \times 600 + \frac{1}{2} \times 600\right)\end{aligned}$$

$$= 4400 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{l_y}{l_x} = \frac{4400}{4400} = 1 < 2 \text{ termasuk pelat dua arah}$$

Perhitungan momen pelat lantai, nilai momen yang bekerja pada pelat lantai ditentukan berdasarkan nilai β pada tabel koefisien momen PBI – 1971.

			l_y/l_x	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	>2,5
I		Mlx = +0,001 qlx ² X	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	113	125	
		Mly = +0,001 qlx ² X	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25	
II		Mlx = +0,001 qlx ² X	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40	41	41	41	42	42	42	42	
		Mly = +0,001 qlx ² X	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	11	10	10	8
		Mlx = -0,001 qlx ² X	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83
		Mly = -0,001 qlx ² X	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
III		Mlx = +0,001 qlx ² X	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63	
		Mly = +0,001 qlx ² X	28	28	28	27	26	25	23	23	22	21	19	18	17	17	16	16	13	
		Mlx = -0,001 qlx ² X	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125	
		Mly = -0,001 qlx ² X	68	72	74	76	77	77	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79	79	79
IVA		Mlx = +0,001 qlx ² X	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125	
		Mly = +0,001 qlx ² X	32	35	37	39	40	41	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	25	
		Mly = -0,001 qlx ² X	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	123	125
IVB		Mlx = +0,001 qlx ² X	32	34	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	
		Mly = +0,001 qlx ² X	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	8	
		Mlx = -0,001 qlx ² X	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	84	83	83	83	83	83
VA		Mlx = +0,001 qlx ² X	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125	
		Mly = +0,001 qlx ² X	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25	
		Mly = -0,001 qlx ² X	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125	
VB		Mlx = +0,001 qlx ² X	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63	
		Mly = +0,001 qlx ² X	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	13	
		Mlx = -0,001 qlx ² X	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	124	125	
VIA		Mlx = +0,001 qlx ² X	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63	
		Mly = +0,001 qlx ² X	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	20	19	19	18	13	
		Mlx = -0,001 qlx ² X	55	65	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125	
		Mly = -0,001 qlx ² X	60	65	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	78	79	
VIB		Mlx = +0,001 qlx ² X	26	29	32	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42	
		Mly = +0,001 qlx ² X	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	8	
		Mlx = -0,001 qlx ² X	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
		Mly = -0,001 qlx ² X	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57

— * Terletak bebas
 * Terjepit penuh

Gambar 4.2 Momen dalam pelat persegi

Sumber: PBI 1971

Berdasarkan perhitungan bersih didapatkan hasilnya 1 dengan pelat 2 arah dengan pelat terjepit keseluruhan maka untuk nilai momenya didapatkan sebagai berikut:

$$x_{lx} = 21$$

$$x_{ly} = 21$$

$$x_{tx} = 52$$

$$x_{ty} = 52$$

$$M_{lx} = 0,001 \cdot W_u \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 13,148 \cdot (5^2) \cdot 21 = 6,776 \text{ kN/m}$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot W_u \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 13,148 \cdot (5^2) \cdot 21 = 6,776 \text{ kN/m}$$

$$M_{tx} = 0,001 \cdot W_u \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 13,148 \cdot (5^2) \cdot 52 = 16,780 \text{ kN/m}$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot W_u \cdot l_x^2 \cdot X = 0,001 \cdot 13,148 \cdot (5^2) \cdot 52 = 16,780 \text{ kN/m}$$

e. Penulangan Lapangan Arah x

1) Momen yang terjadi pada pelat lantai:

$$M_u = 6,7767 \text{ kN/m}$$

2) Tinggi efektif pelat lantai

$$\begin{aligned} d &= h - t_s - \frac{1}{2} D \\ &= 120 - 20 - \frac{1}{2} \times 12 = 94 \text{ mm} \end{aligned}$$

3) Ditinjau pelat lantai selebar 1 m

$$B = 1000 \text{ mm}$$

4) Momen nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{6,7767}{0,8} \\ &= 8,470 \text{ kN/m} = 8\,470\,875 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

5) Koefisien tahanan

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{8\,470\,875}{0,9 \times 1000 \times 94^2} \\ &= 1,065 \end{aligned}$$

6) Rasio tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \end{aligned}$$

$$= 0,003$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85f_c'}{f_y} \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,065}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$= 0,002$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \frac{f_c}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

$$= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \frac{30}{420} \left[\frac{600}{600 + 420} \right]$$

$$= 0,0228$$

$$\text{Syarat} = \rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$= 0,003 > 0,002\,586 < 0,0228$$

Maka digunakan $\rho_{min} = 0,003$

7) Luas tulangan yang diperlukan:

$$A_{perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,003 \times 1000 \times 94 = 313,33 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D12

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 12^2$$

$$= 113,04 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_s \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$= \frac{113,4 \times 1000}{313,33}$$

$$= 360,766 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan lapangan arah-x D12 – 300 mm

f. Penulangan Lapangan Arah y

1) Momen yang terjadi pada pelat lantai:

$$M_u = 6,7767 \text{ kN/m}$$

2) Tinggi efektif pelat lantai

$$\begin{aligned} d &= h - t_s - \frac{1}{2} D \\ &= 120 - 20 - \frac{1}{2} \times 12 = 94 \text{ mm} \end{aligned}$$

3) Ditinjau pelat lantai selebar 1 m

$$b = 1000 \text{ mm}$$

4) Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{6,7767}{0,8} \end{aligned}$$

$$= 8,470 \text{ kN/m} = 8\,470\,875 \text{ N/mm}$$

5) Koefisien tahanan

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{8\,470\,875}{0,9 \times 1000 \times 94^2} \\ &= 1,065 \end{aligned}$$

6) Rasio tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,003\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{0,85f_c'}{f_y} \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,065}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,002\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{maks} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \frac{f_c'}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \frac{30}{420} \left[\frac{600}{600 + 420} \right] \\ &= 0,0228\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \rho_{min} < \rho < \rho_{max} \\ &= 0,003 > 0,002586 < 0,0228\end{aligned}$$

Maka digunakan $\rho_{min} = 0,003$

7) Luas tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned}A_{sperlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,003 \times 1000 \times 94 = 313,33 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D12

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 12^2 = 113,04 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{A_s \times b}{A_{sperlu}} \\ &= \frac{113,04 \times 1000}{313,33} \\ &= 360,766 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dipakai tulangan lapangan arah-y D10 – 300 mm

g. Penulangan Tumpuan Arah x

1) Momen yang terjadi pada atap:

$$M_u = 16,7804 \text{ kN/m}$$

2) Tinggi efektif pelat atap

$$\begin{aligned} d &= h - t_s - \frac{1}{2} D \\ &= 120 - 20 - \frac{1}{2} \times 12 = 94 \text{ mm} \end{aligned}$$

3) Ditinjau pelat lantai selebar 1 m

$$b = 1000 \text{ mm}$$

4) Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{16,7804}{0,8} \\ &= 20,9755 \text{ kN/m} = 20\,975\,500 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

5) Faktor tahanan momen

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{20\,975\,500}{0,9 \times 1000 \times 94^2} \\ &= 2,637 \end{aligned}$$

6) Rasio tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,003 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,637}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,006\,641 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{maks} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \frac{f_c}{f_y} \left[\frac{600}{600+f_y} \right] \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \frac{30}{420} \left[\frac{600}{600+420} \right] \\ &= 0,0228\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \rho_{min} < \rho < \rho_{max} \\ &= 0,003 < 0,006\ 641 < 0,0228\end{aligned}$$

Maka digunakan $\rho_{perlu} = 0,006\ 641$

7) Luas tulangan yang diperlukan,

$$\begin{aligned}A_{perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,006\ 641 \times 1000 \times 94 = 624,254\ \text{mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D12

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 12^2 = 113,04\ \text{mm}^2 \\ S &= \frac{A_s \times b}{A_{perlu}} \\ &= \frac{113,04 \times 1000}{624,254} \\ &= 181,080\ \text{mm}\end{aligned}$$

Dipakai tulangan tumpuan arah-x D10 – 150 mm

h. Penulangan Tumpuan Arah y

1) Momen yang terjadi pada atap:

$$M_u = 16,7804\ \text{kN/m}$$

2) Tinggi efektif pelat atap

$$\begin{aligned}d &= h - t_s - \frac{1}{2} D \\ &= 120 - 20 - \frac{1}{2} \times 12 = 94\ \text{mm}\end{aligned}$$

3) Ditinjau pelat lantai selebar 1 m

$$b = 1000\ \text{mm}$$

4) Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{16,7804}{0,8} \\ &= 20,9755 \text{ kN/m} = 20\,975\,500 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

5) Faktor tahanan momen

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{20\,975\,500}{0,9 \times 1000 \times 94^2} \\ &= 2,637 \end{aligned}$$

6) Rasio tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,003 \\ \rho_{perlu} &= \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,637}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,006\,641 \\ \rho_{maks} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \frac{f_c}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \frac{30}{420} \left[\frac{600}{600 + 420} \right] \\ &= 0,0228 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \rho_{min} < \rho < \rho_{max} \\ &= 0,003 < 0,006\,641 < 0,0228 \end{aligned}$$

Maka digunakan $\rho_{perlu} = 0,006\,641$

7) Luas tulangan yang diperlukan:

$$A_{sperlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,006641 \times 1000 \times 94 = 624,254 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D12

$$A_s = \frac{1}{4} \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 12^2 = 113,04 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_s \times b}{A_{sperlu}}$$
$$= \frac{113,04 \times 1000}{624,254}$$
$$= 181,080 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan tumpuan arah-y D12 – 150 mm.

Cara perhitungan untuk model dengan dilatasi dan tanpa dilatasi dilakukan sama. Karena bentang arah x dan y pada pelat atap sama pada semua model struktur dan pembebanan sama.

4.1.2.4. Balok

1) Tulangan lentur balok

$$M_u = 483,33$$

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

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

$$d' = 40 \text{ mm}$$

$$d = 570 \text{ mm}$$

$$f_c = 30 \text{ MPa} = \frac{30 \cdot 10}{0,83} = 361 \approx 400 \text{ K}$$

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

$\delta = 0,5$ (rasio tulangan tekan dan tarik untuk daerah rawam gempu)

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 379,94 \text{ mm}^2$$

Rasio tulangan yang dibutuhkan:

$$\rho = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,005$$

Luas tulangan yang dibutuhkan:

a. Tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,005 \times 400 \times 570 \\ &= 1140 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b. Tulangan tekan

$$\begin{aligned} A_s' &= \delta \times \rho \times b \times d \\ &= 0,5 \times 0,005 \times 400 \times 570 \\ &= 570 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

1. Tulangan tarik

$$n = \frac{A_s}{A_{s1}} = \frac{1140}{379,94} = 3,004 = 4 \text{ batang}$$

2. Tulangan tekan

$$n = \frac{A_s'}{A_{s1}} = \frac{570}{379,94} = 1,5 = 2 \text{ batang}$$

2) Tulangan geser balok

Data material balok

Kuat tekan beton : f_c = 30 Mpa

Tegangan leleh baja : f_y = 420 Mpa

Faktor reduksi geser: ϕ = 0,75

Dimensi balok

Panjang bentang : L = 5000,00 mm

Lebar balok : b = 400,00 mm
 Tinggi balok : h = 600,00 mm
 Selimut beton : d' = 30,00 mm
 Tinggi efektif beton : $d = h - d'$ = 570,00 mm

Gaya geser ultimate balok

Kuat geser ultimit balok : V_u (kN) 291,5826
 (Dari hasil analisa struktur)

Kuat geser ultimit balok:

V_u (Tumpuan) (kN) 291,5826

Kuat geser ultimit balok:

V_u (Lapangan) (kN) 198,2732

a. Tulangan tumpuan

1. Tulangan geser balok

Diameter sengkang: d_s (mm) 13,00

Luas penampang sengkang

$A_v = 2 (1/4 \pi d_s^2)$ (sengkang 2 kaki)

$= 2 (1/4 \times 3,14 \times 13^2)$

$= 265,46$

Jarak antar sengkang = 100,00 mm

Jarak sengkang maksimum = 300,00 mm

2. Kontrol jarak antar tulangan geser balok

$s \leq s_{max}$

100 \leq 300 OK

3. Kuat geser beton dan baja tulangan

Kuat geser beton:

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \left(\frac{\sqrt{f_c}}{b \cdot d} \right) \\
 &= \frac{1}{6} \left(\frac{\sqrt{30}}{0,4 \cdot 0,6} \right) \\
 &= 380,3 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser:

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{(A_v \cdot f_y \cdot d)}{s} \\
 &= \frac{(380,3 \cdot 420 \cdot 57)}{100} \\
 &= 699,784 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4. Kuat geser nominal balok

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 380,3 + 699,784 \\
 &= 1080,084 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5. Kuat geser rencana balok

$$\begin{aligned}
 V_r &= \phi \times V_n \\
 &= 0,75 \times 1080,084 \\
 &= 810,063 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6. Gaya geser ultimate balok

$$V_u = 291,5826$$

Kontrol kuat geser rencana balok

$$\begin{aligned}
 V_r &\geq V_u \\
 810,063 &\geq 291,5826 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Maka tulangan geser yang dipakai adalah

$$\text{Tumpuan} = \emptyset 13 - 100 \text{ mm}$$

b. Tulangan lapangan

1. Tulangan geser balok

Diameter sengkang: d_s (mm) 13,00

Luas penampang sengkang

$$\begin{aligned}A_v &= 2 \left(\frac{1}{4} \pi d_s^2 \right) \quad (\text{sengkang 2 kaki}) \\ &= 2 \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \right) \\ &= 265,46\end{aligned}$$

Jarak antar sengkang = 150,00 mm

Jarak sengkang maksimum = 300,00 mm

2. Kontrol jarak antar tulangan geser balok

$$\begin{aligned}s &\leq s_{\max} \\ 150 &\leq 300 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

3. Kuat geser beton dan baja tulangan

Kuat geser beton:

$$\begin{aligned}V_c &= \frac{1}{6} \left(\frac{\sqrt{f_c}}{b \cdot d} \right) \\ &= \frac{1}{6} \left(\frac{\sqrt{30}}{0,4 \cdot 0,6} \right) \\ &= 380,3 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser:

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{(A_v \cdot f_y \cdot d)}{s} \\ &= \frac{(380,3 \cdot 420 \cdot 57)}{150} \\ &= 606,958 \text{ kN}\end{aligned}$$

4. Kuat geser nominal balok

$$\begin{aligned}V_n &= V_c + V_s \\ &= 380,3 + 606,958 \\ &= 958,258 \text{ kN}\end{aligned}$$

5. Kuat geser rencana balok

$$V_r = \phi \times V_n$$

$$= 0,75 \times 987,258$$

$$= 740,443 \text{ kN}$$

6. Gaya geser ultimate balok

$$V_u = 198,2732$$

Kontrol kuat geser rencana balok

$$V_r \geq V_u$$

$$740,443 \geq 198,2732 \quad \text{OK}$$

Maka tulangan geser yang dipakai adalah

$$\text{Tumpuan} = \emptyset 13 - 150 \text{ mm}$$

4.1.2.5. Kolom

Perencanaan kolom

Kolom lantai

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

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

$$D = 22 \text{ mm (diameter tulangan)}$$

$$f_c = 30 \text{ Mpa} = \frac{30 \cdot 10}{0,83} = 361 \approx 400 \text{ K}$$

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

$$d = 570 \text{ mm}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$n.tul = 16 \text{ bh (jumlah tulangan)}$$

$$y = 300 \text{ mm}$$

1) Kapasitas maksimum (P_o) dari kolom

$$P_o = 0,85 \times f_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \times f_y$$

$$= 0,85 \times 30 (360000 - 6082,1234) + 6082,1234$$

$$\times 420$$

$$= 11579397,681 \text{ N}$$

$$= 11579,397681 \text{ kN}$$

2) Kekuatan nominal maksimum penampang kolom

$$P_n (\text{max}) = 0,8 \times P_o$$

$$= 0,8 \times 11579,397681$$

$$= 9263,518 \text{ kN}$$

Eksentrisitas minimum

$$e_{\text{min}} = 0,1 \times h$$

$$= 0,1 \times 600$$

$$= 60 \text{ mm}$$

3) Kuat tekan rencana kolom

$$\phi P_n (\text{max}) = \phi \times 0,8 \times P_o$$

$$= 0,65 \times 0,8 \times 11579,397681$$

$$= 6021,286 \text{ kN}$$

4) Kapasitas penampang pada kondisi seimbang

$$P_{nb} = 0,85 \times f_c' \times a_b \times b \times A_s' \times f_y' - A_s \times f_y$$

$$= 0,85 \times 30 \times \frac{0,85 \times 600 \times 570}{600 + f_y} \times 600$$

$$= 0,85 \times 30 \times \frac{0,85 \times 600 \times 570}{600 + 420} \times 600$$

$$= 4360500 \text{ N}$$

$$= 4360,500 \text{ kN}$$

$$M_{nb} = P_{nb} \times e_b$$

$$C_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d$$

$$= \frac{600}{600 + 420} \cdot 570$$

$$= 335,294 \text{ mm}$$

$$A_b = 0,85 \times C_b$$

$$= 0,85 \times 335,294$$

$$= 284,999 \text{ mm}$$

$$f_s' = E_s \times \epsilon' \cdot s = 600 \times \frac{(c-d')}{c}$$

$$= 600 \times \frac{(335,294-30)}{335,294}$$

$$= 546,3157770637$$

$$f_s' \geq f_y$$

$$f_s' = f_y = 420$$

$$f_s = E_s \times \epsilon' \cdot s = 600 \times \frac{(d-c)}{c}$$

$$= 600 \times \frac{(570-335,294)}{335,294}$$

$$= 420$$

$$M_{nb} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (y - ab/2) + A_s' \cdot f_s' \cdot (h/2 - d')$$

$$+ A_s \cdot f_s (d - y)$$

$$= 794501716,4 \text{ kNmm}$$

$$= 794,5017164 \text{ kNm}$$

Eksentrisitas pada kondisi seimbang

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}}$$

$$= 0,182204269 \text{ m}$$

$$= 182,204269 \text{ mm}$$

$$\phi \times P_{nb} = 2834,325 \text{ kN}$$

$$\phi \times M_{nb} = 516,42611 \text{ kN}$$

5) Kapasitas penampang pada kondisi momen murni (P = 0)

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{0,59 \cdot A_s \cdot f_y}{f_c' \cdot b} \right)$$

$$= 134,579 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 87,476$$

Kapasitas geser kolom

Data material kolom

Kuat tekan beton : $f_c = 30 \text{ Mpa}$

Tegangan leleh baja : $f_y = 420 \text{ Mpa}$

Faktor reduksi geser : $\phi = 0,75$

Dimensi kolom

Lebar balok : $b = 600,00 \text{ mm}$

Tinggi balok : $h = 600,00 \text{ mm}$

Selimut beton : $d' = 30,00 \text{ mm}$

Tinggi efektif beton : $d = h - d' = 570,00 \text{ mm}$

Diameter sengkang: $d_s (\text{mm}) 13,00$

Luas penampang sengkang

$A_v = 2 (1/4 \pi d_s^2)$ (sengkang 2 kaki)

$$= 2 (1/4 \times 3,14 \times 13^2)$$

$$= 265,46$$

Jarak antar sengkang = 100,00 mm

Jarak sengkang maksimum = 150,00 mm

Kontrol jarak antar tulangan geser balok

$$s \leq s_{\max}$$

$$100 \leq 150 \quad \text{OK}$$

Kuat geser beton dan baja tulangan

Kuat geser beton:

$$V_c = \frac{1}{6} \left(\frac{\sqrt{f_c}}{b \cdot d} \right)$$

$$= \frac{1}{6} \left(\frac{\sqrt{30}}{0,4 \cdot 0,6} \right)$$

$$= 380,3 \text{ kN}$$

Kuat geser tulangan geser:

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

$$= \frac{(380,3 \cdot 420 \cdot 57)}{100}$$

$$= 699,784 \text{ kN}$$

Kuat geser nominal kolom

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 380,3 + 699,784$$

$$= 1080,084 \text{ kN}$$

Kuat geser rencana kolom

$$V_r = \emptyset \times V_n$$

$$= 0,75 \times 1080,084$$

$$= 810,063 \text{ kN}$$

Gaya geser ultimate kolom

$$V_u = 184,3049$$

Kontrol kuat geser rencana kolom

$$V_r \geq V_u$$

$$810,063 \geq 184,3049 \quad \text{OK}$$

Maka tulangan geser yang dipakai adalah

$$\text{Tumpuan} = \emptyset 13 - 100 \text{ mm}$$

4.1.3. Spesifikasi Material

1. Mutu baja

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

2. Mutu beton

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

4.1.4. Pembebanan

1. Beban gravitasi

a. Beban mati

Tabel 4.1 Material yang digunakan pada perhitungan beban mati

Tipe Beban	Besar Beban
Beton bertulang	2400 kg/m ³
Dinding pasangan ½ bata	250 kg/m ²
Plafond	20 kg/m ²
Instalasi MEP	25 kg/m ²
Adukan semen	22 kg/m ²
Lapisan kedap air	24 kg/m ²
Keramik	22 kg/m ²

Beban mati pada atap

- 1) Beban Plat lantai sendiri = $0,10 \times 24 = 2,40 \text{ kN/m}^2$
 - 2) Beban waterproofing dengan aspal (t = 2 cm) = $0,02 \times 24 = 0,48 \text{ kN/m}^2$
 - 3) Beban plafond dan penggantung = $0,20 \text{ kN/m}^2$
 - 4) Beban instalasi ME = $0,25 \text{ kN/m}^2$
- Total DL = $3,33 \text{ kN/m}^2$

Beban mati lantai

- 1) Beban Plat lantai sendiri = $0,12 \times 24 = 2,88 \text{ kN/m}^2$
- 2) Beban Pasir urug (t = 1 cm) = $0,01 \times 16 = 0,16 \text{ kN/m}^2$

3) Beban spesi (t = 3 mm)	= 0,03 x 22	= 0,66 kN/m ²
4) Beban keramik (t = 1 cm)	= 0,01 x 22	= 0,22 kN/m ²
5) Beban plafond dan penggantung		= 0,20 kN/m ²
6) Beban instalasi ME		= 0,25 kN/m ²
7) Plafond dan penggantung		<u>= 0,20 kN/m²</u>
Total	DL	= 4,57 kN/m ²

b. Beban hidup

Atap

Untuk gedung = 1,0 kN/m²

Lantai

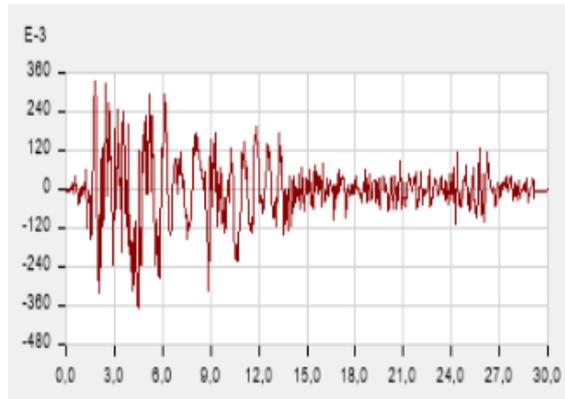
Untuk kantor = 24 kN/m²

2. Beban gempa

Beban gempa yang digunakan adalah spectrum gempa kota Bukittinggi dengan klasifikasi situs tanah lunak (SE) pada *Time History*



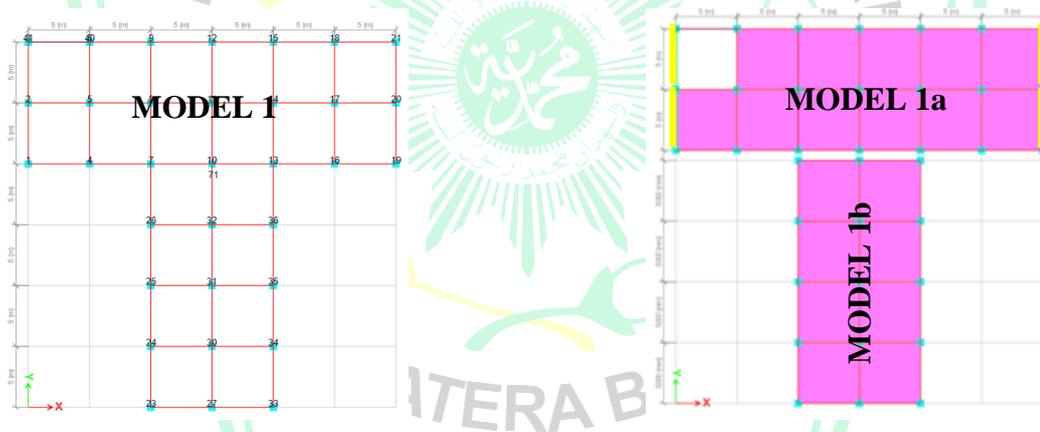
Gambar 4.3 Respon spektrum terhadap *Time History*



Gambar 4.4 Time History untuk Kota Bukittinggi kelas tanah lunak (SE)

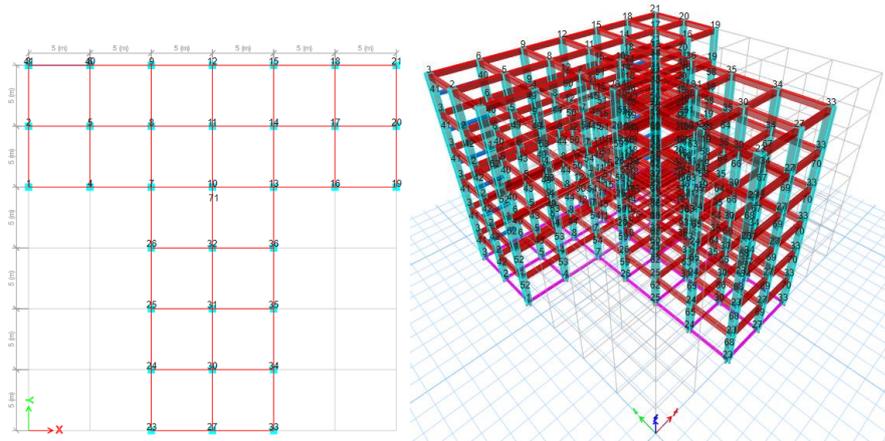
4.2. Pemodelan Struktur

Struktur dimodelkan dengan menggunakan program rekayasa srtuktur yaitu Etabs versi 2020. Dimana dimodelkan 3 model struktur. Untuk model 1 adalah bangunan utuh dengan denah T. untuk model 2 dan 3 adalah bangunan berdenah T secara terpisah.



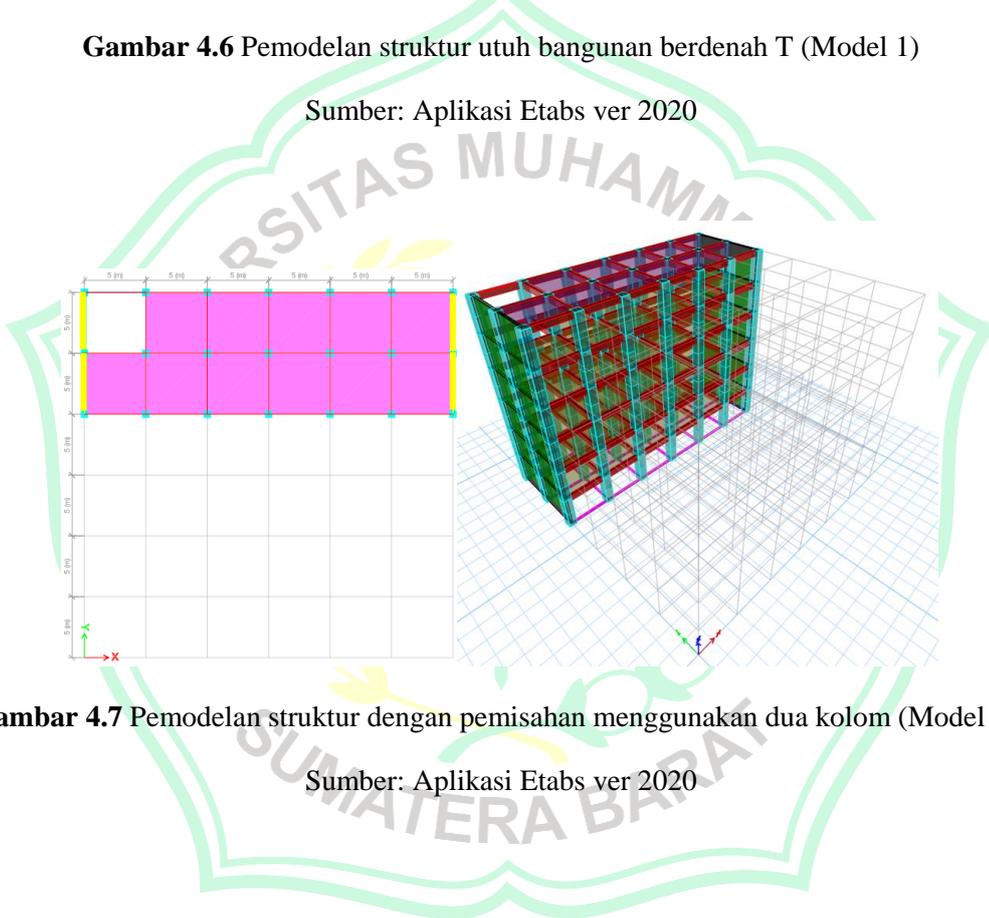
Gambar 4.5 Denah Model 1, Model 1a, dan Model 1b

Sumber: Aplikasi Etabs ver 2020



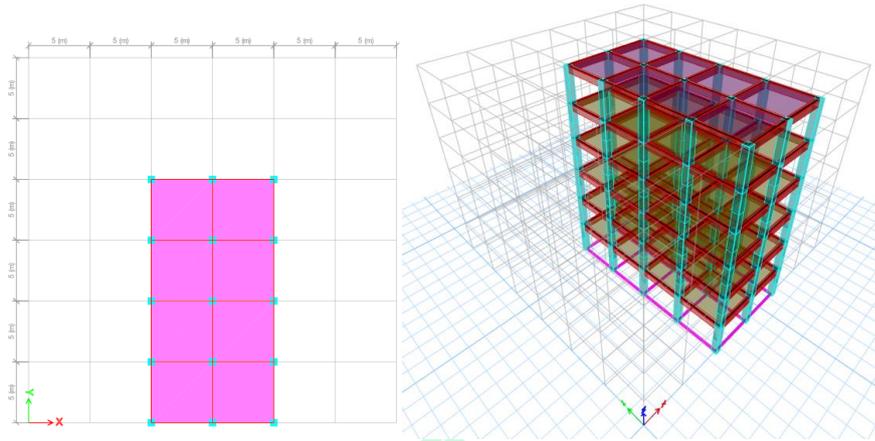
Gambar 4.6 Pemodelan struktur utuh bangunan berdenah T (Model 1)

Sumber: Aplikasi Etabs ver 2020



Gambar 4.7 Pemodelan struktur dengan pemisahan menggunakan dua kolom (Model 1a)

Sumber: Aplikasi Etabs ver 2020



Gambar 4.8 Pemodelan struktur dengan pemisahan menggunakan dua kolom (Model 1b)

Sumber: Aplikasi Etabs ver 2020

4.3. Pengecekan Perilaku Struktur

4.3.1. Simpangan Antar Lantai

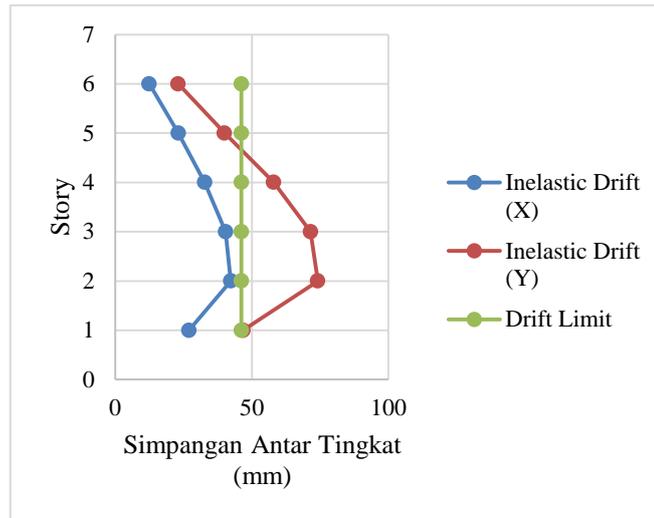
4.3.1.1. Simpangan bangunan 1

Simpangan antar lantai pada bangunan 1

Tabel 4.2 Simpangan antar lantai bangunan 1

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	
6	60,235	128,36	5,098	11,134	4000	18,693	40,825	46,154	OK
5	55,137	117,226	8,452	17,760	4000	30,991	65,120	46,154	NOT OK
4	46,685	99,466	11,429	24,684	4000	41,906	90,508	46,154	NOT OK
3	35,256	74,782	13,641	29,385	4000	50,017	107,745	46,154	NOT OK
2	21,615	45,397	13,626	28,833	4000	49,962	105,721	46,154	NOT OK
1	7,989	16,564	7,989	16,564	4000	29,293	60,735	46,154	NOT OK

Sumber: Data pribadi



Gambar 4.9 Simpangan antar lantai bangunan 1 akibat gempa

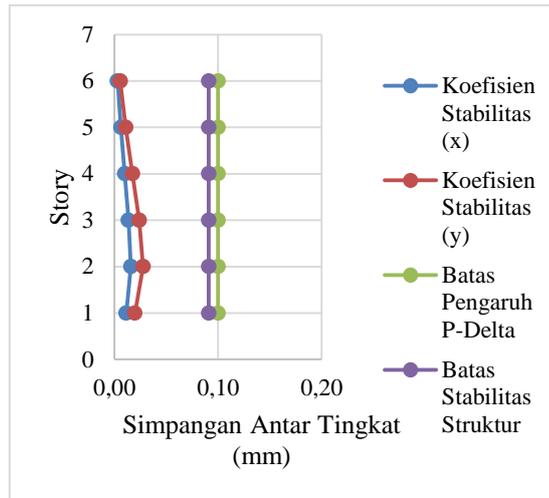
Sumber: Data pribadi

Pengaruh P-Delta

Tabel 4.3 Pengaruh P-Delta bangunan 1

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)						
6	18,693	40,825	40547,35	11534,73	11507,09	4000	0,0045	0,0098	0,1	0,0909	OK
5	30,991	65,120	57411,27	14455,46	14512,76	4000	0,0084	0,0176	0,1	0,0909	OK
4	41,906	90,508	74275,18	16768,46	16864,59	4000	0,0127	0,0272	0,1	0,0909	OK
3	50,017	107,745	91139,10	18551,12	18609,09	4000	0,0168	0,0360	0,1	0,0909	OK
2	49,962	105,721	108003,02	19753,21	19732,17	4000	0,0186	0,0395	0,1	0,0909	OK
1	29,293	60,735	124866,93	20263,08	20200,23	4000	0,0123	0,0256	0,1	0,0909	OK

Sumber: Data pribadi



Gambar 4.10 Pengaruh P-Delta pada bangunan 1

Sumber: Data pribadi

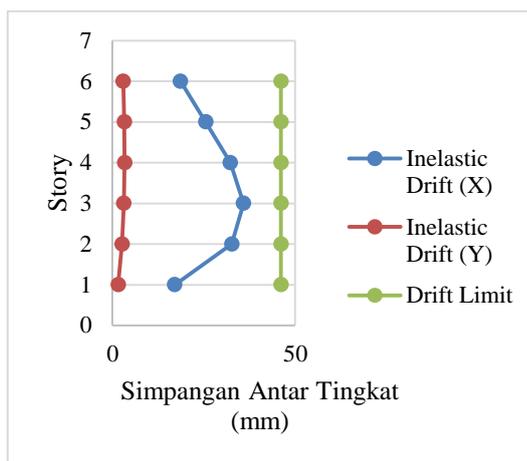
4.3.1.2. Simpangan bangunan 1a

Simpangan antar lantai pada bangunan 1a

Tabel 4.4 Simpangan antar lantai bangunan 1a

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
6	44,18	4,602	5,081	0,808	4000	18,630	2,963	46,154	OK
5	39,099	3,794	6,959	0,887	4000	25,516	3,252	46,154	OK
4	32,14	2,907	8,798	0,906	4000	32,259	3,322	46,154	OK
3	23,342	2,001	9,780	0,851	4000	35,860	3,120	46,154	OK
2	13,562	1,15	8,913	0,715	4000	32,681	2,622	46,154	OK
1	4,649	0,435	4,649	0,435	4000	17,046	1,595	46,154	OK

Sumber: Data pribadi



Gambar 4.11 Simpangan antar lantai bangunan 1a akibat gempa

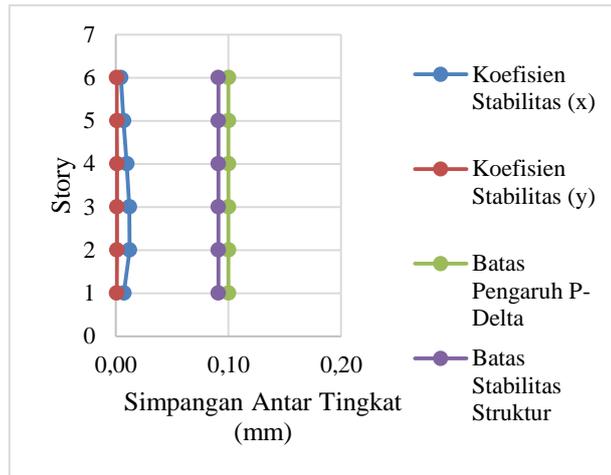
Sumber: Data pribadi

Pengaruh P-Delta

Tabel 4.5 Pengaruh P-Delta bangunan 1a

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)						
6	18,630	2,963	40547,35	11534,73	11507,09	4000	0,0045	0,0007	0,1	0,0909	OK
5	25,516	3,252	57411,27	14455,46	14512,76	4000	0,0069	0,0009	0,1	0,0909	OK
4	32,259	3,322	74275,18	16768,46	16864,59	4000	0,0097	0,0010	0,1	0,0909	OK
3	35,860	3,120	91139,10	18551,12	18609,09	4000	0,0120	0,0010	0,1	0,0909	OK
2	32,681	2,622	108003,02	19753,21	19732,17	4000	0,0122	0,0010	0,1	0,0909	OK
1	17,046	1,595	124866,93	20263,08	20200,23	4000	0,0072	0,0007	0,1	0,0909	OK

Sumber: Data pribadi



Gambar 4.12 Pengaruh P-Delta pada bangunan 1a

Sumber: Data pribadi

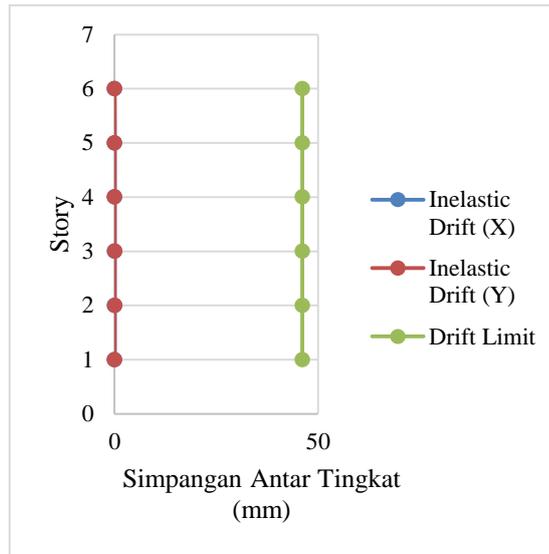
4.3.1.3. Simpangan bangunan 1b

Simpangan antar lantai bangunan 1b

Tabel 4.6 Simpangan antar lantai bangunan 1b

Story	Displacement		Elastic Drift		H (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
6	0,052	0,078	0,004	0,006	4000	0,015	0,022	46,154	OK
5	0,048	0,072	0,007	0,010	4000	0,026	0,037	46,154	OK
4	0,041	0,062	0,010	0,014	4000	0,037	0,051	46,154	OK
3	0,031	0,048	0,011	0,018	4000	0,040	0,066	46,154	OK
2	0,02	0,03	0,012	0,018	4000	0,044	0,066	46,154	OK
1	0,008	0,012	0,008	0,012	4000	0,029	0,044	46,154	OK

Sumber: Data pribadi



Gambar 4.13 Simpangan antar lantai bangunan 1b akibat gempa

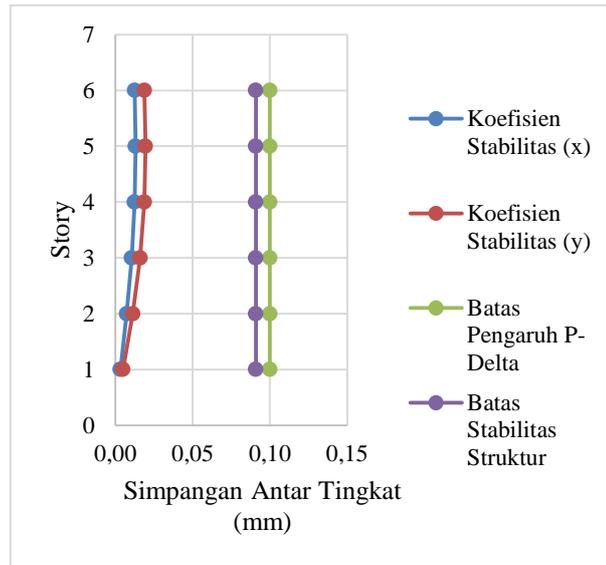
Sumber: Data pribadi

Pengaruh P-Delta

Tabel 4.7 Pengaruh P-Delta bangunan 1b

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)						
6	18,630	2,963	40547,35	11534,73	11507,09	4000	0,0045	0,0007	0,1	0,0909	OK
5	25,516	3,252	57411,27	14455,46	14512,76	4000	0,0069	0,0009	0,1	0,0909	OK
4	32,259	3,322	74275,18	16768,46	16864,59	4000	0,0097	0,0010	0,1	0,0909	OK
3	35,860	3,120	91139,10	18551,12	18609,09	4000	0,0120	0,0010	0,1	0,0909	OK
2	32,681	2,622	108003,02	19753,21	19732,17	4000	0,0122	0,0010	0,1	0,0909	OK
1	17,046	1,595	124866,93	20263,08	20200,23	4000	0,0072	0,0007	0,1	0,0909	OK

Sumber: Data pribadi



Gambar 4.14 Pengaruh P-Delta pada bangunan 1b

Sumber: Data pribadi

Dari masing-masing grafik simpangan antar lantai dan pengaruh P-Delta dapat disimpulkan untuk bangunan utuh tanpa pemisah terjadi simpangan antar lantai yang besar. Untuk dua bangunan terpisah memiliki nilai simpangan antar lantai yang aman.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Simpangan antar lantai pada bangunan utuh (tanpa dilatasi) melebihi dari izin yang sesuai peraturan gempa SNI 1726-2019. Untuk bangunan yang menggunakan dilatasi, simpangan antar lantainya aman dengan catatan menggunakan dinding geser. Dengan tertinggi nilai simpangan antar lantai sebagai berikut:

GEDUNG	ARAH-X (mm)	ARAH-Y (mm)
1 TD	60,235	128,36
1a	44,18	4,602
1b	0,052	0,078

Dari masing-masing nilai simpangan antar lantai, yang diambil nilai simpangan antar lantainya adalah pada bangunan 1a yang merupakan bangunan dilatasi. Jarak rencana dilatasi yang digunakan adalah 100 mm.

$$\text{Kontrol: } \frac{(X_{max} + Y_{max})}{n} \cdot 2 = 48,782 \text{ mm} = 100 \text{ mm} > 48,782 \text{ mm}$$

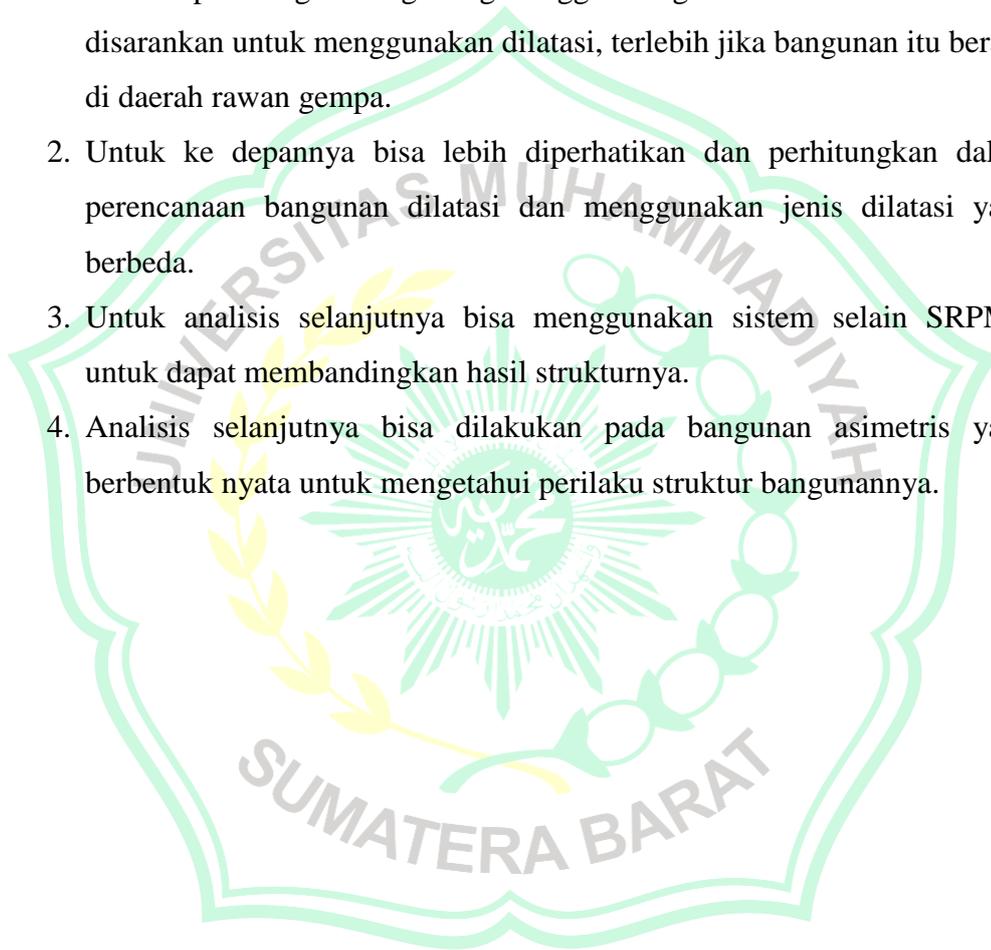
Berdasarkan nilai simpangan antar lantai pada bangunan dengan dilatasi didapatkan jarak dilatasi yang aman yaitu 100 mm dan nilai ini lebih besar dari jarak minimal bangunan dilatasi adalah 75 mm.

2. Mengacu pada SNI 2847-2020 diperoleh tulangan pokok pada balok sebesar 4D22 (tarik) dan tulangan geser sebesar 2D22 (tekan) dan tulangan sengkang 2D13-100 mm. Untuk kolom diperoleh jumlah tulangan utama 16D22 dan tulangan geser 2D13-100 mm. Untuk penulangan pelat atap pada tumpuan arah x dan y diperoleh pembesian

D10-200 mm, dan untuk lapangan arah x dan y diperoleh pembesian D10-300. Untuk penulangan pelat lantai pada tumpuan arah x dan y diperoleh pembesian D12-150 mm dan untuk lapangan arah x dan ya diperoleh pembesian D12-300 mm.

5.2. Saran

1. Untuk pembangunan gedung tinggi dengan denah berbentuk T, disarankan untuk menggunakan dilatasi, terlebih jika bangunan itu berada di daerah rawan gempa.
2. Untuk ke depannya bisa lebih diperhatikan dan perhitungkan dalam perencanaan bangunan dilatasi dan menggunakan jenis dilatasi yang berbeda.
3. Untuk analisis selanjutnya bisa menggunakan sistem selain SRPMK untuk dapat membandingkan hasil strukturnya.
4. Analisis selanjutnya bisa dilakukan pada bangunan asimetris yang berbentuk nyata untuk mengetahui perilaku struktur bangunannya.



DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 2874 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 1726 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Bastian, Elfania. (2018). *Pengaruh Panjang Penyaluran Tambahan Pada Balok Beton Bertulang*. Rang Teknik Journal.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. (2002). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983*. Jakarta.
- Lestari, Suci. (2018). *Analisis Jarak Dilatasi Bangunan Ber-layout L dan Perhitungan Penulangan Elemen Balok dan Balok Kolon Disekitar Dilatasi*. Padang: Universitas Andalas.
- Masril, M. (2019). *Analisis Pengaruh Srtuktur Atas Gedung Asrama Pusdiklat Ipdn Baso, Bangunan Wing 1 dengan Beban Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012*. Ruang Teknik Journal, 2(1).
- Mierza M. K. dan Surbakti Besman. (2014). *Analisa Sistem Dilatasi dengan Balok Kantilever disertai Perhitungan Struktur Atas dan Bawah*.
- Prebowo Singgih Wisnu, dkk. (2018). *Evaluasi Pengaruh Kolom Dilatasi Terhadap Kinerja Struktur Pada Gedung Berbentuk Linear Menggunakan Metode SRPMM*.

