

**OPTIMASI TOPOLOGI DISKRIT SISTEM LATERAL
BRESING PADA GEDUNG BERLANTAI BANYAK
(Studi Literatur)**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Pada
Fakultas Teknik Program Studi Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera
Utara*

Disusun Oleh:

MUHAMMAD REGIANSYA
NIM: 1907210057



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Regiansya

NPM : 1907210057

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Optimasi Topologi Diskrit Sistem Lateral Bresing Pada Gedung Lantai Banyak

Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Disetujui Untuk Disampaikan
Kepada Panitia Ujian
Dosen Pembimbing



Dr. Mahyunirsyah, S.T., M.T

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Regiansya
NPM : 1907210057
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Optimasi Topologi Diskrit Sistem Lateral Browsing Pada Gedung Lantai Banyak
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 23 Agustus 2024

Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing



Dr. Mahyunirsyah, S.T., M.T

Dosen Pembimbing I



Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., PhD

Dosen Pembimbing II



Ir. Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T

Ketua Prodi Teknik Sipil



Assoc. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., PhD

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Muhammad Regiansya
Tempat, Tanggal Lahir : Takengon, 03 November 2001
NPM : 1907210057
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul : **“Optimasi Topologi Diskrit Sistem Lateral Bresing Pada Gedung Berlantai Banyak.”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan nonmaterial serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan atau keserjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 23 Agustus 2024

Saya yang menyatakan,



Muhammad Regiansya

ABSTRAK

OPTIMASI TOPOLOGI DISKRIT SISTEM LATERAL BRESING PADA GEDUNG BERLANTAI BANYAK (*Studi Literatur*)

Muhammad Regiansya

1907210057

Dr. Mahyunirsyah, S.T., M.T

Gempa bumi mengakibatkan terjadinya getaran struktur gedung di atasnya yang memberikan efek perpindahan lateral pada gedung tersebut, dimana semakin gedung tersebut semakin besar perpindahan lateral yang terjadi. Perpindahan lateral ini dapat menyebabkan deformasi struktur dan bahkan keruntuhan gedung. Salah satu metode untuk memperbesar kekakuan struktur tersebut adalah dengan menggunakan sistem lateral bresing. Perancangan sistem lateral bresing pada gedung bertingkat yang berkembang pada saat ini penentuan letak dan bentuk dari sistem lateral bresing ditentukan oleh intuisi atau pengalaman dari perancang ahli. Kelemahan metode tersebut adalah penempatan sistem lateral bresing yang belum efektif disebabkan tidak meninjau penempatan sistem lateral bracing yang optimal. Penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini untuk mencari konfigurasi sistem lateral bresing yang optimal pada gedung perkantoran 10 lantai dengan menggunakan metode optimasi topologi diskrit dan struktur baja pada balok dan kolom. Proses optimasi topologi mencari konfigurasi sistem lateral bresing yang optimal dan efektif dengan mengeliminasi elemen yang tidak efektif serta menjaga simpangan maksimum dengan batasan yang telah ditentukan. Ada 2 pengujian yang dilakukan pertama perbandingan sistem lateral bresing optimasi topologi diskrit dengan sistem lateral bresing konvensional dimana sistem lateral bresing optimasi topologi diskrit lebih optimal dan efektif, kedua perbandingan optimasi topologi diskrit dengan jumlah dan penempatan berbeda. Hasil pengujian optimasi topologi model 1 dan model 2 dimana model 2 lebih optimal disebabkan memiliki jumlah kemungkinan elemen dan penempatan lebih banyak dimana rasio panjang sistem lateral bresing dan rasio simpangan maksimum model 1 terhadap model 2 dengan perbandingan pada arah x, 1,9 kali lebih panjang dan sebesar 0,9 lebih kecil dan pada arah y, 1,3 kali lebih panjang dan sebesar 0,7 lebih kecil.

Kata kunci : Gempa Bumi, Perpindahan lateral, Sistem Lateral Bresing, Optimasi Topologi Diskrit.

ABSTRACT

DISKRIT TOPOLOGY OPTIMIZATION OF LATERAL BRACINGS SYSTEMS IN MULTISTORY BUILDING

(Literature Study)

Muhammad Regiansya

1907210057

Dr. Mahyunirsyah, S.T., M.T

An earthquake causes the building structure above it to vibrate, resulting in lateral displacement of the building, the larger the lateral displacement. Lateral displacement can cause structural deformation and even building collapse. A method to increase the stiffness of the structure is by using a lateral brace system. The design of lateral bracing systems in multi-story buildings that are developing at this time determines the location and shape of the lateral bracing system determined by the intuition or experience of the professional designer. The weakness of this method is the placement of lateral bracing systems that have not been effective due to not reviewing the optimal placement of lateral bracing systems. The study performed in this paper is to find the optimal configuration of lateral bracing system in a 10- story office building by using discrete topology optimization method and steel structure in beams and columns. The topology optimization process looks for the optimal and effective configuration of the lateral bracing system by eliminating ineffective elements and maintaining the maximum deviation with predetermined limits. There are 2 tests carried out, first comparison of discrete topology optimization lateral brace system with conventional lateral brace system where discrete topology optimization lateral brace system is more optimal and effective, second comparison of discrete topology optimization with different number and placement. The results of testing the topology optimization of model 1 and model 2 where model 2 is more optimal due to having a larger number of possible elements and placements where the ratio of the lateral brace system length and the maximum deviation ratio of model 1 to model 2 with a comparison in the x direction, 1.9 times longer and 0.9 smaller and in the y direction, 1.3 times longer and 0.7 smaller.

Keywords: Earthquake, Lateral force, Bracings, Topology optimization discrete

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala, atas berkah dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Optimasi Topologi Diskrit Sistem Lateral Breasing pada Gedung Lantai Banyak”.

Tugas akhir ini dimaksudkan sebagai syarat dalam meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis telah mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa material, spiritual, informasi, maupun administrasi. Oleh karena itu, sudah selayaknya penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Kedua orangtua tercinta yang telah membesarkan dan mendidik penulis dengan sabar dan penuh kasih sayang sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan di Perguruan Tinggi.
2. Bapak Dr. Mahyunirsyah, S.T., M.T., sebagai dosen pembimbing tugas akhir yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dengan penuh kesabaran untuk membimbing dan membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Ir. Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T., selaku Pembimbing Akademik Jurusan Program Studi Teknik Sipil yang ikut andil dalam proses administrasi penelitian.

8. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu Teknik Sipil kepada penulis.
9. Seluruh Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Teman mahasiswa/I Teknik Sipil 19, dan seluruh teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu serta telah menjadi motivator untuk penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Walaupun penulis sudah berupaya semaksimal mungkin, namun penulis juga menyadari kemungkinan terdapat kekurangan atau kesilapan dalam menyusun tugas akhir ini. Oleh sebab itu penulis sangat mengharapkan saran-saran dan kritik yang bersifat membangun.

Harapan penulis semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca umumnya dan bagi penulis khususnya.

Medan, 12 Agustus 2024

Penulis



Muhammad Regiansya

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	II
LEMBAR PENGESAHAN	III
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	IV
ABSTRAK	V
ABSTRACT	VI
KATA PENGANTAR	VII
DAFTAR ISI	IX
DAFTAR TABEL	XII
DAFTAR GAMBAR	XIV
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	XVI
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN KEPUSTAKAAN	6
2.1. Sistem Lateral Bresing	6
2.2. Optimasi Struktur	9
2.1. Optimasi Topologi	11
2.1.1. Metode-Metode Optimasi Topologi	11
2.1.2. Desain Domain	12
2.1.3. Beberapa Penelitian Optimasi Topologi pada Sistem Lateral Bresing	13
2.2. Sistem Pembebanan dan Ketentuan Perencanaan	16
2.2.1. Beban Mati	16
2.2.2. Beban Hidup	16
2.2.3. Beban Gempa	17
2.2.4. Berat Seismik Efektif	17
	ix

2.2.5. Kombinasi Pembebanan	17
2.3. Tata Cara Perencanaan Bangunan Tahan Gempa	18
2.3.1. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	18
2.3.2. Penentuan Simpangan Antar Tingkat	20
2.3.3. Penentuan Kelas Situs	21
2.3.4. Penentuan Parameter Percepatan Terpetakan	22
2.3.5. Penentuan Koefisien Situs	23
2.3.6. Penentuan Parameter Spektrum Respons Percepatan	24
2.3.7. Penentuan Parameter Spektrum Respons Percepatan	24
2.3.8. Penentuan Spektrum Respons Percepatan Desain	25
2.3.9. Penentuan Koefisien Modifikasi Respons	26
2.3.10. Penentuan Perioda Fundamental Struktur	26
2.3.11. Penentuan Koefisien Respons Seismik	27
2.3.12. Penentuan Gaya Geser Dasar Seismik	27
2.3.13. Penentuan Distribusi Vertikal Gaya Gempa	28
2.4. Metode Elemen Hingga	28
2.4.1. Elemen Aksial	28
2.4.2. Elemen Lentur	29
2.4.3. Elemen Portal Bidang	30
BAB 3 METODE PENELITIAN	33
3.1. Umum	33
3.2. Data Struktur	34
3.2.1. Data Perencanaan Struktur	34
3.3. Proses Optimasi Dimensi Struktur	37
3.4. Proses Optimasi Topologi Sistem Lateral Bresing	38
3.4.1. Fungsi Objektif	38
3.4.2. Analisis Sensitivitas	39
3.4.3. Proses Optimasi Topologi Diskrit Sistem Lateral Bresing	41
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1. Perhitungan Pembebanan	42
4.1.1. Perhitungan Pembebanan pada Pelat	42
4.1.2. Perhitungan Distribusi Beban pada Balok	43

4.2. Optimasi Dimensi Penampang Struktur	45
4.3. Perhitungan Sistem Pembebanan Dalam 2 Dimensi	46
4.4. Perhitungan Beban Gempa Statik Ekvivalen	51
4.4.1. Berat Keseluruhan Bangunan	51
4.4.2. Koefisien Situs untuk Desain Seismik F_a dan F_v	53
4.4.3. Parameter Spektrum Respons Percepatan SMS dan $SM1$	53
4.4.4. Parameter Percepatan Spektral Desain SDs dan $SD1$	53
4.4.5. Spektrum Respons Desain	53
4.4.6. Faktor Keutamaan Gempa, I_e	55
4.4.7. Periode Fundamental Struktur, T	55
4.4.8. Gaya Geser Dasar Seismik, V	56
4.4.9. Distribusi Gaya Gempa Lateral, F_x	56
4.4.10. Simpangan Maksimum Struktur Utama Akibat Gaya Gempa	57
4.5. Optimasi Topologi Diskrit Sistem Lateral Bresing	58
4.5.1. Hasil Optimasi Topologi Diskrit Desain Domain Model 1	58
4.5.2. Hasil Optimasi Topologi Diskrit Desain Domain Model 2	62
4.6. Hasil Pengujian Menggunakan Sistem Lateral Bresing Konvensional	66
4.6.1. Sistem Lateral Bresing Konvensional Model 1	66
4.6.2. Sistem Lateral Bresing Konvensional Model 2	67
4.7. Perbandingan Sistem Lateral Bresing Optimasi Topologi Diskrit dengan Sistem Lateral Bresing Konvensional	68
4.8. Penelitian Sebelumnya	74
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	76
5.1. Kesimpulan	76
5.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1: Beberapa penelitian optimasi topologi ada sistem lateral bresing	14
Tabel 2.2: Berat material konstruksi (SNI 1727:2020)	16
Tabel 2.3: Beban hidup pada lantai dan atap gedung (SNI 1727:2020)	17
Tabel 2.4: Kategori risiko bangunan gedung dan non Gedung (SNI 1726, 2019)	18
Tabel 2.5: Faktor keutamaan gempa (SNI 1726, 2019)	20
Tabel 2.6: Simpangan antar tingkat izin (SNI 1726, 2019)	21
Tabel 2.7: Klasifikasi situs (SNI 1726, 2019)	21
Tabel 2.8: Koefisien situs, F_a (SNI 1726, 2019)	23
Tabel 2.9: Koefisien situs, F_v (SNI 1726, 2019)	24
Tabel 2.10: Faktor R , C_{db} dan Ω_0 penahan gaya gempa (SNI 1726, 2019)	26
Tabel 2.11: Nilai parameter perioda pendekatan C_r dan x (SNI 1726, 2019)	27
Tabel 4.1: Perhitungan distribusi beban mati dan hidup pada balok	44
Tabel 4.2: Dimensi kolom.	45
Tabel 4.3: Dimensi balok.	45
Tabel 4.4: Perhitungan beban mati dan hidup terpusat pada lantai	48
Tabel 4.5: Perhitungan jumlah beban mati dan hidup terpusat	50
Tabel 4.6: Berat bangunan per lantai	52
Tabel 4.7: Spektrum respon desain	54
Tabel 4.8: Distribusi beban gempa	56
Tabel 4.9: Simpangan maksimum struktur utama	57
Tabel 4.10: Hasil optimasi topologi model 1 arah x pada saat iterasi	59
Tabel 4.11: Hasil optimasi topologi model 1 arah y pada saat iterasi	61
Tabel 4.12: Hasil optimasi topologi model 2 arah x pada saat iterasi	63
Tabel 4.13: Hasil optimasi topologi model 2 arah y pada saat iterasi	65
Tabel 4.14: Data-data elemen dan simpangan maksimum sistem lateral bresing konvensional model 1	67
Tabel 4.15: Data-data elemen dan simpangan maksimum sistem lateral bresing konvensional model 2	68

Tabel 4.16: Perbandingan sistem lateral bresing hasil optimasi topologi dan sistem lateral bresing konvensional	68
Tabel 4.17: Perbandingan perpindahan tiap lantai arah x	70
Tabel 4.18: Perbandingan perpindahan tiap lantai arah y	72

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1: Rangka bresing konsentrik (Siddiqi et al., 2014).	6
Gambar 2.2: Rangka bresing eksentrik (Siddiqi et al., 2014).	7
Gambar 2.3: Perilaku bresing terhadap gaya lateral (Siddiqi et al., 2014).	7
Gambar 2.4: Metode-metode optimasi struktur (Mahyunirsyah, 2004)	10
Gambar 2.5: Desain domain (a) Kontinum (b) Diskrit	12
Gambar 2.6: Penentuan simpangan antar tingkat (SNI 1726, 2019)	20
Gambar 2.7: Gerak tanah seismik untuk S_s (SNI 1726, 2019)	22
Gambar 2.8: Peta gerak tanah seismik untuk S_1 (SNI 1726, 2019)	23
Gambar 2.9: Peta periode panjang, T_L , wilayah Indonesia (SNI 1726, 2019)	23
Gambar 2.10: Spektrum respon desain (SNI 1726, 2019)	25
Gambar 2.11: Elemen aksial penampang prismatic (Mahyunirsyah, 2004)	28
Gambar 2.12: Elemen lentur pada penampang prismatic (Mahyunirsyah, 2004)	29
Gambar 2.13: Elemen portal bidang dalam sumbu lokal (Mahyunirsyah, 2004)	30
Gambar 2.14: Elemen portal bidang dengan sumbu global (Mahyunirsyah, 2004)	30
Gambar 3.1: Bagan alir penelitian	33
Gambar 3.2: Model struktur gedung 10 lantai	34
Gambar 3.3: Denah gedung	35
Gambar 3.4: Gambar Struktur (a) Portal memanjang arah x , (b) Portal melintang arah y	36
Gambar 3.5: Desain domain sistem lateral bresing. (a) Model 1 arah y (b) Model 1 arah x	39
Gambar 3.6: Desain domain sistem lateral bresing. (a) Model 2 arah y (b) Model 2 arah x	39
Gambar 3.7: Bagan alir optimasi topologi sistem lateral bresing	41
Gambar 4.1: Sketsa distribusi beban pada balok	43
Gambar 4.2: Beban mati dan hidup terpusat ke portal memanjang arah x	46
Gambar 4.3: Beban mati dan hidup terpusat ke portal melintang arah y	47
Gambar 4.4: Grafik respons spektrum desain	55
Gambar 4.5: Beban gempa pada struktur (a) Arah x (b) Arah y	57

Gambar 4.6: Hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 1 arah x	58
Gambar 4.7: Grafik perubahan simpangan model 1 arah x selama iterasi	59
Gambar 4.8: Hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 1 arah y .	60
Gambar 4.9: Grafik perubahan simpangan model 1 arah y selama iterasi	61
Gambar 4.10: Hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 2 arah x	62
Gambar 4.11: Grafik perubahan simpangan model 2 arah x selama iterasi	63
Gambar 4.12: Hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 2 arah y .	64
Gambar 4.13: Grafik perubahan simpangan model 2 arah y selama iterasi.	65
Gambar 4.14: Bresing konvensional model 1 (a) Arah x (b) Arah y .	66
Gambar 4.15: Bresing konvensional model 2 (a) arah x (b) Arah y .	67
Gambar 4.16: Desain domain struktur baja 10 lantai (a) Struktur utama penelitian sebelumnya, (b) Struktur utama penelitian yang telah dilakukan. (Gholizadeh & Ebadijalal, 2018).	74
Gambar 4.17: Perbandingan hasil penelitian optimasi topologi diskrit (a) Struktur baja 10 lantai penelitian sebelumnya (b) Struktur baja 10 lantai yang telah dilakukan. (Gholizadeh & Ebadijalal, 2018).	75

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Arti lambang

- A : luas penampang struktur (mm^2)
- C_{sg} : koefisien respons seismik
- C_t : koefisien periode getar alami
- D : beban mati
- E : pengaruh gempa atau momen dan gaya dalam yang terkait
- E_s : modulus elastisitas baja (MPa)
- F_a : faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek
- F_i : beban gempa nominal statik ekuivalen pada lantai ke- i (kN)
- F_{si} : gaya-gaya internal pada masing-masing baja tulangan (kN)
- F_v : faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik
- F_x : distribusi gaya gempa lateral
- f'_c : kuat tekan beton (MPa)
- f_u : kuat ultimate baja (MPa)
- f_s : tegangan tarik baja tulangan (MPa)
- f'_s : tegangan tekan baja tulangan (MPa)
- f_y : kuat tarik atau kuat leleh baja tulangan longitudinal (MPa)
- h_i : tinggi tingkat i dari dasar (m)
- h_n : total tinggi struktur (m)
- I_e : faktor keutamaan gedung dalam hitungan beban gempa
- k : eksponen yang terkait dengan perioda struktur
- L : beban hidup
- L_r : beban hidup atap
- M : momen lentur (kNm)
- $n X$: jumlah desain domain
- P : beban aksial kolom (kN)
- P_D : beban mati terpusat (kg)

- P_{Dk} : beban terpusat kolom (kg)
- P_{Db} : beban terpusat balok (kg)
- P_{DP} : beban mati terpusat pada pelat (kg)
- P_{LP} : beban hidup terpusat pada pelat (kg)
- q_b : beban tipe a atau b pada balok (kg/m)
- q_D : beban mati tipe a atau b pada pelat (kg/m)
- q_L : beban hidup tipe a atau b pada pelat (kg/m)
- P_L : beban hidup terpusat (kg)
- R : koefisien modifikasi respons
- S : spasi pusat ke pusat benda (mm)
- S_a : spektrum respons percepatan desain (g)
- S_s : parameter percepatan respons spektral *MCE* dari peta gempa pada perioda pendek (g)
- S_1 : parameter percepatan respons spektral *MCE* dari peta gempa pada perioda 1 detik (g)
- S_{Ds} : parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek (g)
- S_{D1} : parameter percepatan respons spektral pada perioda 1 detik (g)
- S_{MS} : parameter percepatan respons spektral *MCE* pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs (g)
- S_{M1} : parameter percepatan respons spektral *MCE* pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs (g)
- R : koefisien modifikasi respons
- T : perioda fundamental bangunan (detik)
- T_a : perioda fundamental pendekatan (detik)
- T_L : perioda panjang (detik)
- W_i : berat total struktur pada tingkat i (kg)
- W_t : berat keseluruhan bangunan (kg)
- ϕ : faktor reduksi kekuatan

Singkatan

SNI : standar nasional indonesia

DL : *dead load*

LL : *live load*

E : *earthquake*

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan Bumi akibat pelepasan energi yang terjadi di dalam kerak bumi. Gempa bumi dapat disebabkan oleh berbagai proses geologis, termasuk pergeseran lempeng tektonik, aktivitas vulkanik, atau penambangan. Ketika dua lempeng tektonik bertabrakan, terpisah, atau bergeser satu sama lain, mereka dapat melepaskan energi yang menghasilkan gelombang seismik yang merambat melalui Bumi. Gelombang ini bisa sangat kuat dan menyebabkan getaran yang dirasakan di permukaan Bumi, yang disebut gempa bumi.

Akibat gempa bumi tersebut mengakibatkan terjadinya getaran struktur gedung di atasnya yang memberikan efek perpindahan lateral pada gedung tersebut, dimana semakin gedung tersebut semakin besar perpindahan lateral yang terjadi. Perpindahan lateral ini dapat menyebabkan deformasi struktur dan bahkan keruntuhan gedung. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan gedung bertingkat yang memperhatikan faktor kekakuan dan kestabilan terhadap perpindahan lateral tersebut. Salah satu metode untuk memperbesar kekakuan struktur tersebut adalah dengan menggunakan sistem lateral bresing.

Sistem lateral bresing adalah metode yang digunakan untuk menahan perpindahan lateral dalam struktur. Metode ini mampu membuat struktur menjadi kaku secara lateral. Sistem lateral bresing dapat membuat gedung menjaga agar simpangan horizontal yang terjadi tidak melebihi dari simpangan yang diijinkan.

Perancangan sistem lateral bresing pada gedung bertingkat yang berkembang pada saat ini penentuan letak dan bentuk dari sistem lateral bresing ditentukan oleh intuisi atau pengalaman dari perancang ahli. Kelemahan metode tersebut adalah penempatan sistem lateral bresing tersebut belum efektif disebabkan tidak meninjau penempatan sistem lateral bresing yang optimal. Pada saat ini para peneliti mengembangkan optimasi topologi untuk menentukan letak dan bentuk sistem lateral bresing yang optimal, hasil dari optimasi topologi tersebut digunakan

sebagai tahap awal dalam perancangan sistem lateral bresing pada gedung bertingkat.

Perkembangan penelitian optimasi topologi dalam perancangan sistem lateral bracing dapat dibagi dua tipe desain domain yaitu dalam bentuk kontinum dan diskrit. Perbedaan desain domain kontinum dan diskrit yaitu pengambilan daerah yang akan ditinjau dimana kontinum berdasarkan area-area yang ditentukan berada di struktur sedangkan diskrit berdasarkan seluruh kemungkinan elemen rangka yang berada di struktur.

Penelitian desain domain kontinum diteliti oleh Mijar dkk. (1998) pada tahun 1998 dengan gedung 6 lantai dengan metode *material removal* dan Liang. (2007) pada tahun 2007 dengan gedung 12 lantai dengan metode *material removal*. Penelitian desain domain diskrit diteliti oleh Gholizadeh dan Ebadijalal. (2018) pada tahun 2018 dengan gedung 24 lantai dengan metode *material removal* dan Sotiropoulos dkk. (2022) pada tahun 2022 dengan gedung 16 lantai dengan metode *material removal*.

Kelemahan metode kontinum adalah area jumlah elemen yang cukup banyak sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mencari penempatan sistem lateral bresing pada setiap lantai dan gedung. Hal ini diperlukan suatu metode optimasi topologi untuk mengurangi jumlah elemen dan waktu yang diperlukan untuk mendapatkan sistem lateral bresing pada setiap lantai.

Pada tugas akhir ini dilakukan penelitian untuk mencari konfigurasi sistem lateral bresing yang optimal pada gedung perkantoran 10 lantai dengan menggunakan metode optimasi topologi diskrit dan struktur baja pada balok dan kolom. Penelitian ini melanjutkan penelitian Mahyunirsyah, (2004) dengan menambahkan *criteria displacement* dengan meninjau sistem lateral bresing pada setiap lantai dan keseluruhan gedung dengan menggunakan optimasi topologi diskrit. Untuk itu, penulis akan melakukan optimasi topologi sistem lateral bresing diskrit pada struktur gedung dengan menggunakan software analisis struktur seperti SAP2000 dan MATLAB.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang didapat sebagai berikut :

1. Bagaimana sifat material dalam perhitungan struktur.
2. Bagaimana perhitungan pembebanan struktur dan software yang digunakan.
3. Bagaimana menentukan penempatan sistem lateral bresing yang optimal.
4. Bagaimana respon gedung setelah diberi sistem lateral bresing yang optimal
5. Apakah hasil optimasi topologi sistem lateral bresing dapat memenuhi persyaratan simpangan lateral antar lantai dan gedung.
6. Bagaimana hasil optimasi memenuhi syarat simpangan lateral lantai dan gedung.
7. Bagaimana hasil perbandingan bresing konvensional dengan bresing optimasi topologi terhadap simpangan lateral antar lantai dan gedung.

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup yang ditetapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Struktur gedung perkantoran 10 lantai di daerah Medan dengan jenis tanah sedang.
2. Material yang digunakan bersifat linier elastis, homogen, isotropik dan deformasi kecil.
3. Struktur utama yang digunakan adalah struktur baja 2 dimensi dengan sistem pemikul gaya seismiknya “Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa”.
4. Spesifikasi
5. baja yang digunakan berdasarkan dengan spesifikasi baja AISC 360-16.
6. Sistem pembebanan berdasarkan SNI 1727-2020 dan perencanaan beban gempa direncanakan berdasarkan SNI 1726-2019.
7. Analisis menggunakan program yaitu:
 - SAP2000 untuk perancangan struktur utama.
 - MATLAB untuk optimasi sistem lateral bresing.

8. Perancangan struktur utama hanya memperhitungkan akibat beban mati dan hidup.
9. Gaya yang ditinjau yaitu gaya gempa yang diidealisasikan sebagai gaya gempa statik ekuivalen.
10. Optimasi topologi digunakan untuk menentukan konfigurasi sistem lateral bresing yang optimal.
11. Optimasi topologi menggunakan metode diskrit dengan menghilangkan elemen yang tidak efektif yang diterapkan pada dua model desain domain diskrit.
12. Hasil optimasi topologi sistem lateral bresing akan dibandingkan antara model 1 dan model 2.
13. Hasil optimasi topologi sistem lateral bresing akan dibandingkan sistem lateral bresing konvensional.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan optimasi topologi diskrit sistem lateral bresing pada gedung struktur baja 10 lantai dengan membatasi perpindahan lateral maksimum struktur dan antar lantai.
2. Melakukan perbandingan hasil optimasi topologi diskrit dengan sistem lateral bresing konvensional.
3. Melakukan perbandingan hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 1 dengan model 2.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui konfigurasi sistem lateral bresing yang optimal (efisien, ekonomis dan aman) dan respon sistem lateral bresing hasil optimasi topologi tersebut terhadap gaya lateral dari gempa.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun Sistematika penulisan yang digunakan pada Tugas Akhir ini sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang latar belakang masalah, dan perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan manfaat tugas akhir ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori, peraturan, dan penelitian yang menjadi referensi dalam penulisan tugas akhir ini.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan tentang metodologi dan alur penelitian yang akan digunakan pada tugas akhir ini.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil dan evaluasi terhadap hasil optimasi topologi sistem lateral bresing pada struktur gedung yang ditinjau.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari analisa yang dilakukan dan saran-saran.

BAB 2

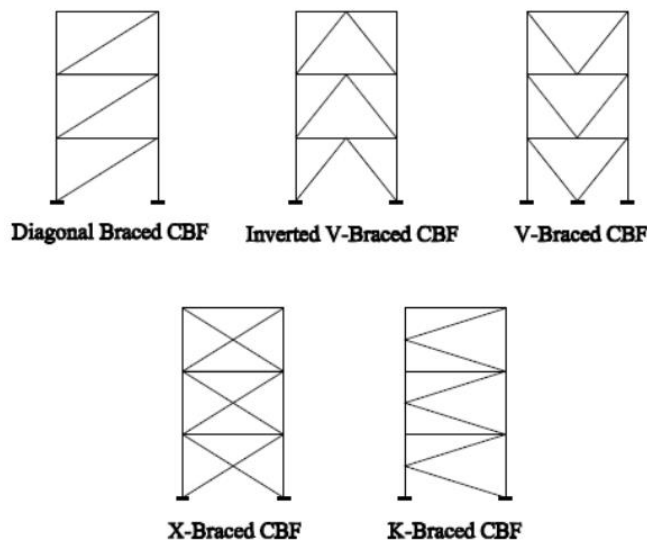
TINJAUAN KEPUSTAKAAN

Pada Bab ini membahas tentang teori, peraturan dan penelitian yang menjadi referensi dengan penulisan tugas akhir ini, yaitu mengenai sistem lateral bresing, peraturan yang berlaku, teori yang akan digunakan dan penelitian sebelumnya.

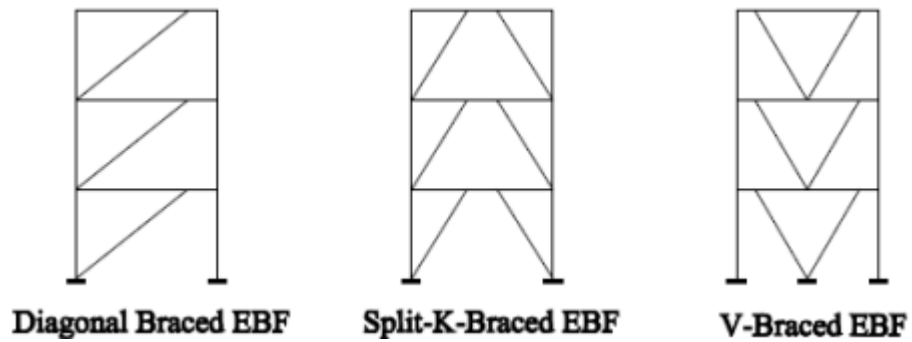
2.1. Sistem Lateral Bresing

Sistem lateral bresing adalah metode yang dapat memperkuat struktur terhadap gaya lateral yang diakibatkan oleh angin dan gempa. Sistem lateral bresing terdiri dari kolom dan balok yang bertujuan untuk mendukung gaya gravitasi, dan juga mampu menahan gaya lateral. Sistem lateral bresing memiliki keunggulan karena bekerja dengan diagonal dalam tegangan aksial. Pada saat gempa, gaya lateral yang diterima oleh struktur akan diteruskan ke elemen bresing ini sebagai gaya aksial. (Siddiqi et al., 2014).

Secara umum bentuk sistem lateral bresing yang digunakan untuk struktur portal terdiri dari dua, yaitu rangka bresing konsentrik dan rangka bresing eksentrik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.

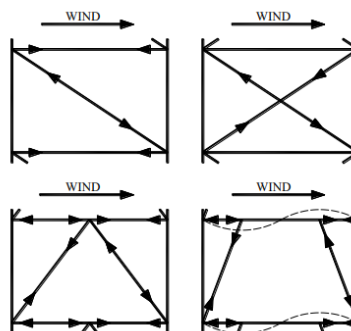


Gambar 2.1: Rangka bresing konsentrik (Siddiqi et al., 2014).



Gambar 2.2: Rangka bresing eksentrik (Siddiqi et al., 2014).

Mekanisme sistem lateral bresing yang digunakan untuk menahan perpindahan lateral adalah dengan mengikuti jalur horizontal di sepanjang rangka. Hal ini dapat dijelaskan dengan empat jenis bresing yang mengalami pembebanan lateral seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.

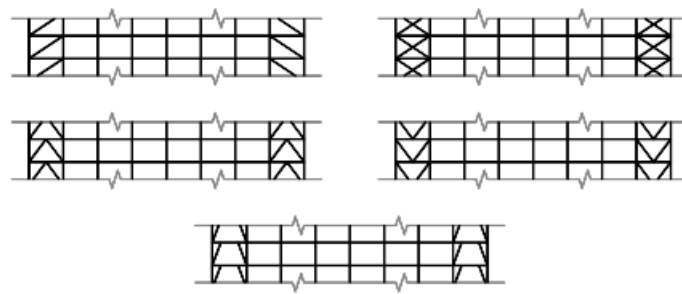


Gambar 2.3: Perilaku bresing terhadap gaya lateral (Siddiqi et al., 2014).

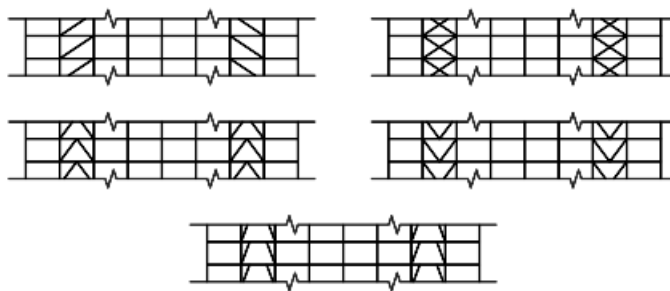
Hal ini dapat dilihat ketika bresing mengalami tekanan, bagian horizontalnya akan mengalami tegangan aksial supaya tetap seimbang secara lateral. Hal ini dapat menyebabkan bengkokan dan deformasi yang diperkuat. Gaya dan deformasi pada masing-masing elemen yang ditekuk akan berbalik saat bangunan mengalami beban lateral dari arah berlawanan (Siddiqi et al., 2014).

2.1.1. Penerapan Sistem Lateral Bresing pada Bangunan

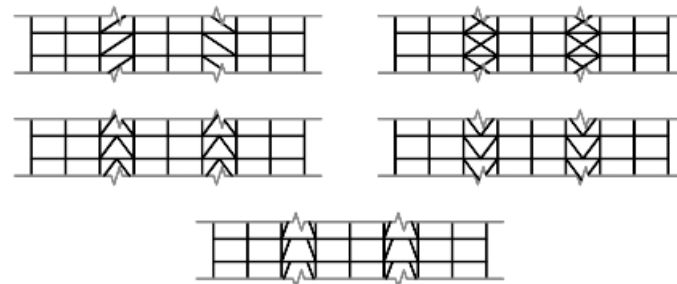
Penerapan sistem lateral bresing pada bangunan bisa dilihat pada gambar berikut.



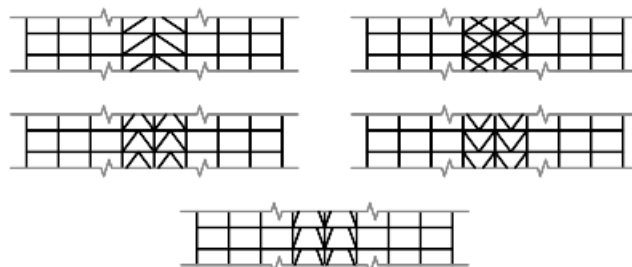
Gambar 2.4: Penerapan sistem lateral bresing pada bangunan (Siddiqi et al., 2014)



Gambar 2.5: Penerapan sistem lateral bresing pada bangunan (Siddiqi et al., 2014)

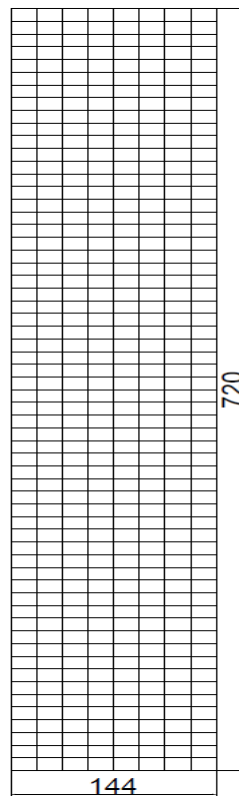


Gambar 2.6: Penerapan sistem lateral bresing pada bangunan (Siddiqi et al., 2014)



Gambar 2.7: Penerapan sistem lateral bresing pada bangunan lateral (Siddiqi et al., 2014)

Bracing type	Weight (kips)x			
	Option 1	Option 1	Option 1	Option 1
Single diagonal	27646	272626	27678	27553
Double diagonal	26562	26335	26351	25789
K/Chevron	27415	27549	27834	27774
V	27328	27234	27507	27333
Knee	27625	28006	28415	28585



Gambar 2.8: Perilaku bresing terhadap gaya lateral (Siddiqi et al., 2014)

2.2. Optimasi Struktur

Pada awalnya tujuan dari optimasi struktur adalah meminimalkan biaya konstruksi dari suatu struktur, dengan berkembangnya penelitian yang telah dilakukan tujuan dari optimasi struktur juga berkembang sesuai dengan kebutuhan. Menurut Mei & Wang, 2021 tujuan dari optimasi struktur yaitu sebagai berikut:

1. Meminimalkan biaya: Fungsi tujuan yang digunakan adalah meminimalkan biaya, yaitu dengan mereduksi berat atau volume.

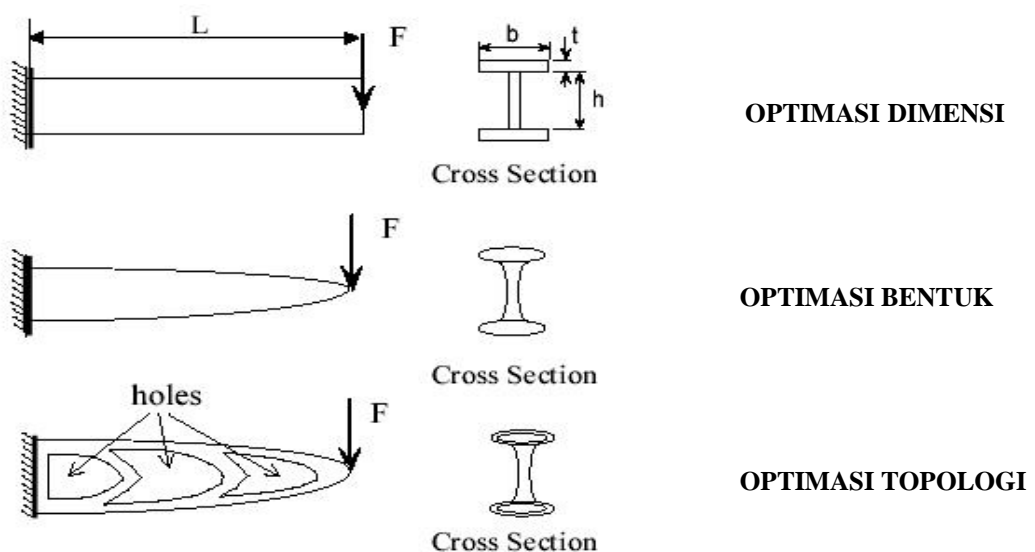
2. Meningkatkan kinerja struktur: Fungsi tujuan yang digunakan adalah meningkatkan kinerja struktur, seperti perilaku struktur, kinerja aerodinamis, kinerja struktur terhadap gempa, dan lainnya.
3. Meminimal dampak lingkungan: Fungsi tujuan mengurangi pengaruh terhadap lingkungan baik yaitu mereduksi efek rumah kaca, konsumsi energy, dan lainnya
4. *Multi-objective*: Fungsi tujuannya dengan mengkombinasikan fungsi tujuan di atas atau juga menambahkannya.

Perkembangan teknologi dalam bidang matematik, programming, komputer, metode konstruksi, dan material memberikan dampak dan perhatian dalam perancangan struktur khususnya optimasi struktur.

Menurut Querin et al, 2017 Metode optimasi struktur dapat dibedakan menjadi tiga metode:

1. Optimasi dimensi: adalah metode untuk mendapatkan dimensi penampang struktur yang optimal dengan dimensi penampang sebagai variabel desain.
2. Optimasi bentuk: adalah metode untuk mendapatkan bentuk yang optimal, yang mengolah bentuk koordinat nodal struktur sebagai variabel desain.
3. Optimasi topologi: adalah metode untuk mendapatkan konfigurasi struktur yang optimal, dengan cara menghilangkan elemen struktur yang tidak efektif.

Untuk penjelasan lebih lanjut dapat dilihat dari gambar berikut :



Gambar 2.9: Metode-metode optimasi struktur (Mahyunirsyah, 2004).

2.1. Optimasi Topologi

Optimasi topologi adalah metode untuk mendapatkan konfigurasi struktur yang optimal. Optimasi topologi menghasilkan kinerja struktur yang optimal, hal ini dimungkinkan karena optimasi topologi dapat merencanakan struktur yang optimal sehingga dapat mengurangi massa struktur dengan mempertimbangkan parameter yang digunakan.

2.1.1. Metode-Metode Optimasi Topologi

Menurut Rozvany dkk., 1995 ada tiga metode berbeda yang berkembang dalam penentuan topologi yang optimal dari suatu struktur, yaitu:

- *Homogenization based optimization method* (Martin Philip Bendsøe dan Kikuchi, 1988) ; (Kikuchi N dan Suzuki K, 1991)
- *Density function approaches* (Mlejnek HP dan Schirmacher R, 1993)
- *Material removal method* (Atrek E, 1989).

Menurut Tyflopoulos dkk., 2018 ada tiga metode yang berkembang dalam penentuan topologi yang optimal dari suatu struktur, yaitu :

1. *Element-based*

- *Solid Isotropic Microstructures with Penalization (SIMP)* (Bendsøe, 1989 ; Zhou dan Rozvany, 1991)
- *Rational Approximation of Material Properties (RAMP)* (Deaton dan Grandhi, 2014 ; Luo dkk., 2005 ; (Stolpe, M., dan Svanberg, 2001)
- *Optimal Microstructure with Penalization (OMP)* (Allaire, 1997 ; Rozvany, 2001)
- *Non-Optimal Microstructures (NOM)* (Bendsoe, M. P., dan Kikuchi, 1988) ; Rozvany, 2001)
- *Dual Diskrit Programming (DDP)*(Beckers dan Fleury, 1997)
- *Topological derivatives ('The Bubble-method')* (Allaire, 1997 ; Burger dkk., 2004 ; Eschenauer dkk., 1994)
- *Level set* (Jia dkk., 2011)(Osher, S., dan Sethian, 1988)
- *Phase field* (Bourdin dan Chambolle, 2003) ; Wallin, M., dan Ristinmaa, 2014)

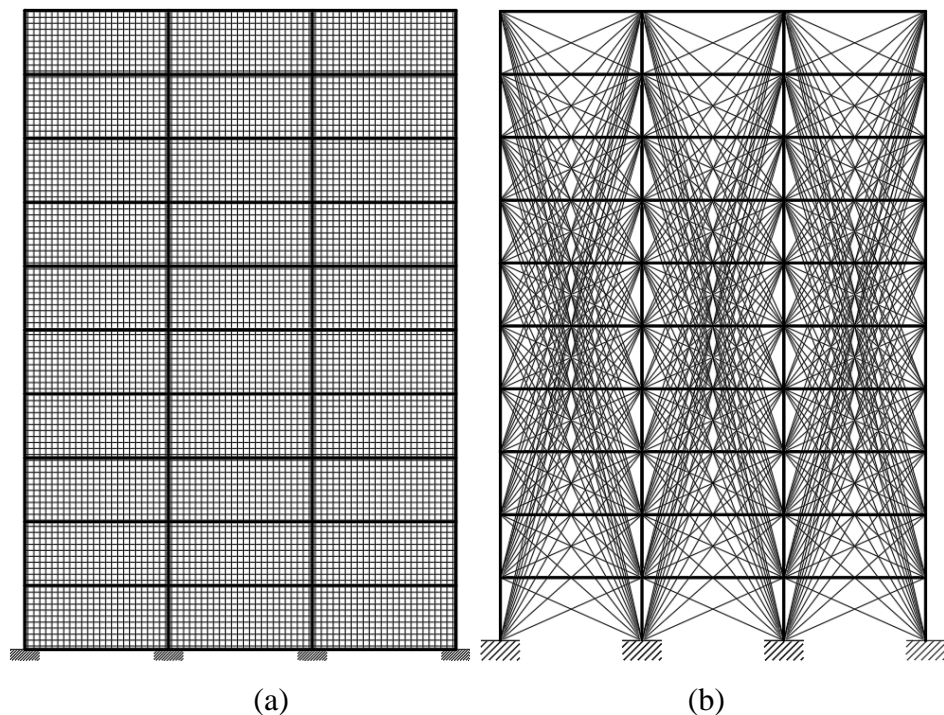
2. *Diskrit*

- *Evolutionary Structural Optimization (ESO)* (X. Huang dan Xie, 2010; xXie, Y. M., dan Steven, 1993 ; (Zhou dan Rozvany, 2001)
- *Additive Evolutionary Structural Optimization (AESO)* (Querin dkk., 1998 ; Querin dkk., 2000 ; Querin, Young., Steven, 2000)

- *Bidirectional Evolutionary Structural Optimization (BESO)* (Huang, X., dan Xie, 2007 ; Querin, Young, Steven, 2000)
3. *Combined*
- *Extended Finite Element Method (xFEM)* (Van Miegroet, L., dan Duysinx, 2007)
 - *Deformable Simplicial Complex (DSC)* (Misztal, M. K., dan Bærentzen, 2012)

2.1.2. Desain Domain

Desain domain adalah elemen atau bagian struktur yang digunakan untuk menentukan konfigurasi struktur yang optimal dengan menggunakan optimasi topologi. Secara umum desain domain dapat diklasifikasi dalam 2 bentuk yaitu kontinum dan diskrit. Pada Gambar 2.5 dapat dijelaskan perbedaannya.



Gambar 2.10: Desain domain (a) Kontinum (b) Diskrit.

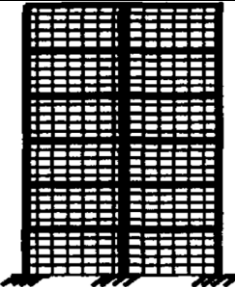
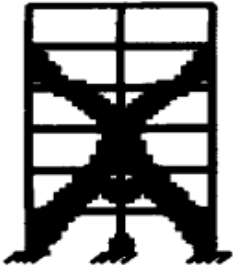
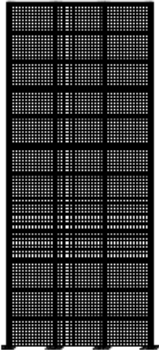
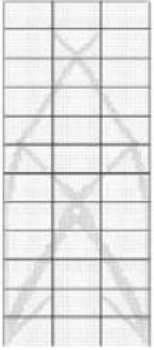
Desain domain kontinum adalah desain domain yang menggunakan variabel kontinu atau tidak terbatas secara spesifik, ini berarti bahwa variabel desain dapat bervariasi secara kontinu di seluruh ruang desain. Sedangkan desain domain diskrit adalah desain domain yang menggunakan variabel diskrit atau elemen-elemen terpisah. Penentuan konfigurasi struktur yang optimal ditentukan oleh kontribusi

elemen desain domain dengan menggunakan kriteria atau parameter yang digunakan.

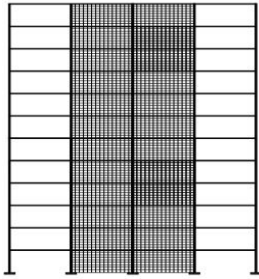
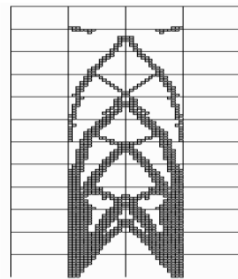
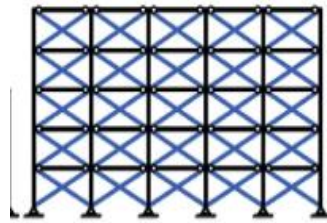
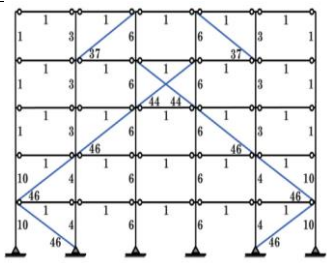
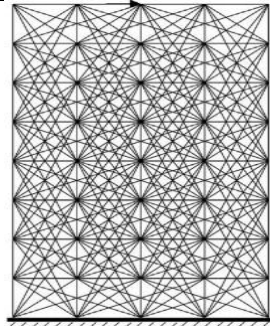
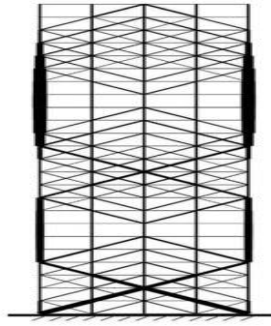
2.1.3. Beberapa Penelitian Optimasi Topologi pada Sistem Lateral B्रेसing

Aplikasi optimisasi topologi struktur dari sistem lateral bracing pada *multistory tall building* telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebagai berikut :

Tabel 2.1: Beberapa penelitian optimasi topologi ada sistem lateral bresing.

Tahun & Penulis	Judul	Desain Domain	Metode	Gambar	
				Awal	Akhir
Mijar et al., 1998	<i>Continuum Topology Optimization For Concept Design Of Frame Bracing Systems</i>	Kontinum	<i>Homogenization based optimization method.</i>		
Mahyunirsyah, 2004	Optimasi Topologi Sistem Lateral Bresing pada Gedung Berlantai Banyak	Kontinum	<i>Material removal Method</i>		

Tabel 2.1 : Lanjutan.

Tahun & Penulis	Judul	Desain Domain	Metode	Gambar	
				Awal	Akhir
Liang, 2007	<i>Effects of continuum desain domains on optimal bracing systems for multistory steel building frameworks</i>	Kontinum	<i>Material Removal Rasio</i>		
Gholizadeh & Ebadijalal, 2018	<i>Performance based Diskrit topology optimization of steel braced frames by a new metaheuristic</i>	Diskrit	<i>Material Removal Method</i>		
Sotiropoulos & Lagaros, 2022	<i>Optimum topological bracing design of tall steel frames subjected to dynamic loading</i>	Diskrit	<i>Material Removal Method</i>		

2.2. Sistem Pembebanan dan Ketentuan Perencanaan

Pembebanan merupakan faktor penting dalam merancang struktur bangunan. Untuk itu, dalam merancang struktur bangunan perlu mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Secara umum, struktur bangunan dikatakan aman dan stabil apabila mampu menahan beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) dan beban gempa yang bekerja pada bangunan tersebut. Peraturan pembebanan yang digunakan pada penelitian ini adalah SNI 1727:2020 .

2.2.1. Beban Mati

Menurut SNI 1727:2020 (SNI 1727:2020, 2020) Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. Pada Tabel 2.2 dapat dilihat berat material konstruksi yang digunakan pada penelitian ini

Tabel 2.2: Berat material konstruksi (SNI 1727:2020).

Beban mati	Besarnya beban
Baja	7850 kg/m ³
Beton bertulang	2400 kg/m ³
Plafon dan penggantung	18 kg/m ²
Adukan/cm dari semen	21 kg/m ²
Pasangan bata setengah batu	250 kg/m ²
Penutup lantai dari keramik	24 kg/m ²

2.2.2. Beban Hidup

Menurut SNI 1727:2020 beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Tabel 2.3: Beban hidup pada lantai dan atap gedung (SNI 1727:2020).

Beban hidup pada lantai Gedung		
No.	Penggunaan	Berat
1	Gedung Perkantoran (Kantor)	2,4 kN/m ²
Beban hidup pada atap Gedung		
2	Gudang Penyimpanan dan pekerja (ringan)	6 kN/m ²

2.2.3. Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada struktur akibat adanya pergerakan tanah oleh gempa bumi, baik pergerakan arah vertikal maupun horizontal. Namun pada umumnya percepatan tanah arah horizontal lebih besar daripada arah vertikalnya, sehingga pengaruh gempa horizontal jauh lebih menentukan daripada gempa vertikal.

Metode statik ekuivalen adalah suatu metode yang merubah pengaruh gempa terhadap struktur gedung yang memberikan efek beban horizontal bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah dengan gaya-gaya yang statik ekuivalen. Tujuannya adalah penyederhanaan dan kemudahan di dalam perhitungan.

2.2.4. Berat Seismik Efektif

Berat seismik efektif struktur (W), harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang terdaftar di bawah ini (SNI 1726:2019):

1. Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25 % beban hidup lantai.
2. Jika ketentuan desain beban lantai untuk partisi disyaratkan SNI 1727 pasal 4.3.2, sebesar beban terbesar antara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar 0,48 kN/m² ;
3. Berat operasional total dari peralatan yang permanen;
4. Berat lanskap dan beban lainnya pada taman atap dan area sejenis.

2.2.5. Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1726-2019 bahwa struktur, komponen elemen struktur, dan elemen-elemen fondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama

atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut:

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

Pengecualian: Faktor beban untuk L pada kombinasi 3 dan 4 diizinkan diambil sama dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila beban hidup desain tak tereduksi (L_o) dalam SNI 1727, lebih kecil atau sama dengan 4,78 kN/m², kecuali garasi atau ruang pertemuan publik.

2.3. Tata Cara Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Prosedur perhitungan beban gempa statik ekuivalen berdasarkan SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung adalah sebagai berikut:

2.3.1. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung dapat dilihat pada tabel dibawah dan pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e , khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan bersebelahan tersebut harus di desain sesuai dengan kategori IV.

Tabel 2.4: Kategori risiko struktur bangunan gedung dan non Gedung (SNI 1726, 2019).

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I

Tabel 2.4: *Lanjutan.*

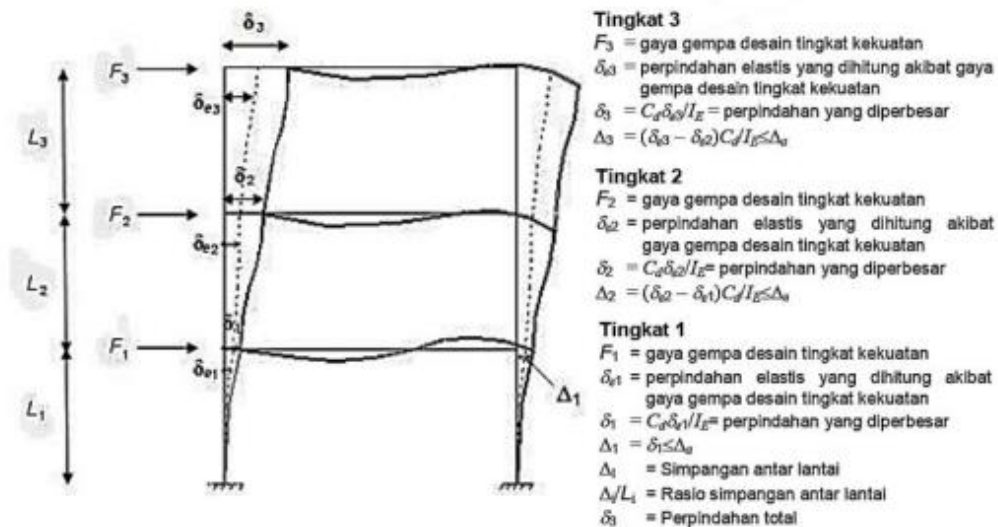
Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ <i>mall</i> - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan /atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p>	III
<ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapa darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan yang lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p>	IV

Tabel 2.5: Faktor keutamaan gempa (SNI 1726, 2019).

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

2.3.2. Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Menurut SNI 1726 : 2019 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 0 tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.



Gambar 2.11: Penentuan simpangan antar tingkat (SNI 1726, 2019)

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

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.1)$$

Keterangan:

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = simpangan di tingkat-x yang disyaratkan pada pasal ini,
yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan Tabel 2.6

Simpangan antar tingkat desain sudah diatur dalam SNI 1726,2019 di dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2.6: Simpangan antar tingkat izin (SNI 1726, 2019).

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

2.3.3. Penentuan Kelas Situs

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplitudo besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Tipe kelas situs harus ditetapkan sesuai dengan tabel berikut:

Tabel 2.7: Klasifikasi situs (SNI 1726, 2019).

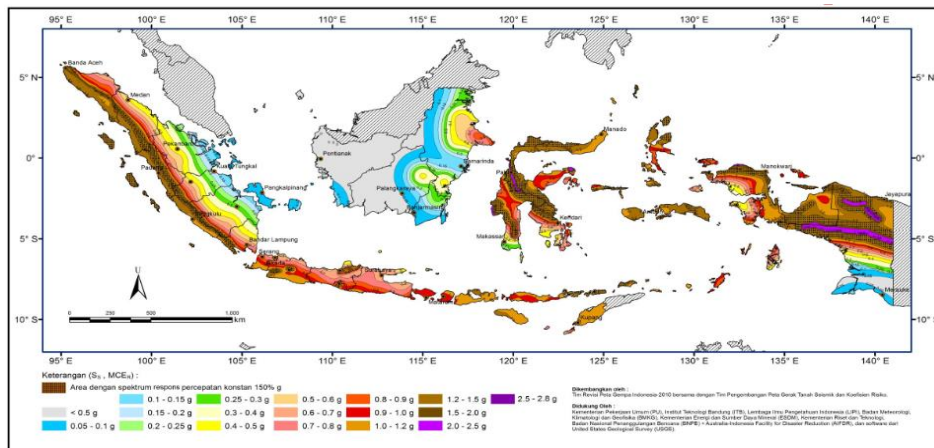
Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir, $\bar{S}_u < 25\text{kPa}$		

Tabel 2.7: Lanjutan.

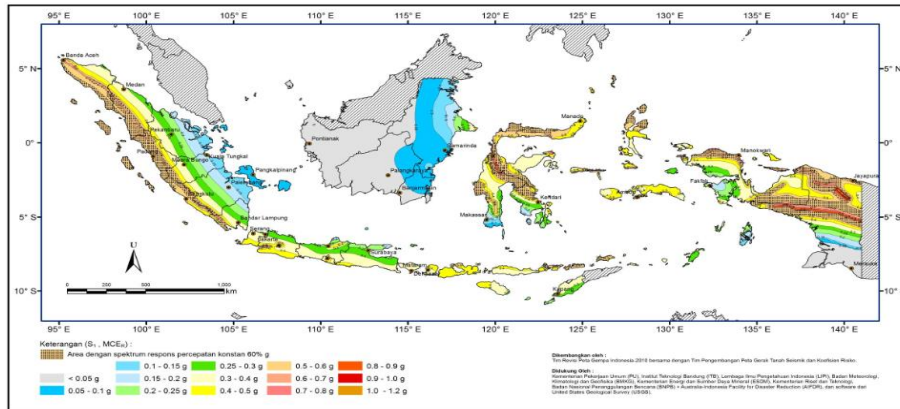
Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
<i>SF</i> (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti pasal 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

2.3.4. Penentuan Parameter Percepatan Terpetakan

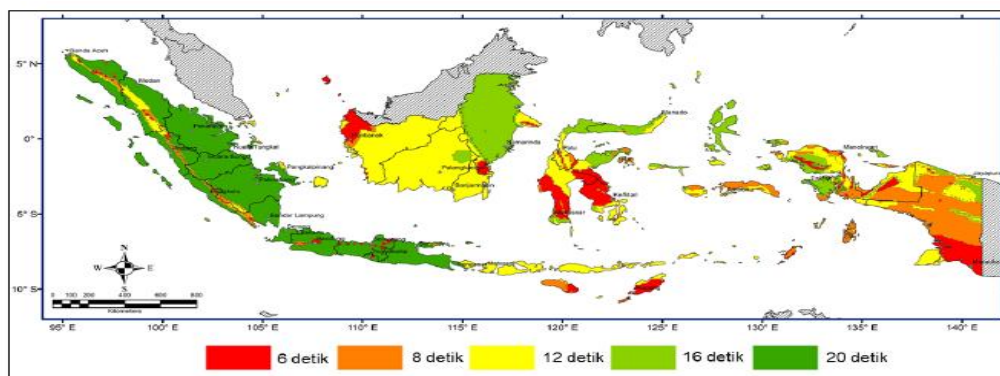
Parameter S_5 (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Berikut adalah gambar peta gerak tanah seismik.



Gambar 2.12: Gerak tanah seismik untuk S_5 (SNI 1726, 2019).



Gambar 2.13: Peta gerak tanah seismik untuk S_1 (SNI 1726, 2019).



Gambar 2.14: Peta transisi periode panjang, T_L , wilayah Indonesia (SNI 1726, 2019).

2.3.5. Penentuan Koefisien Situs

Untuk menentukan parameter spektrum respons percepatan gempa, diperlukan suatu faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Dan kedua koefisien tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.8: Koefisien situs, F_a (SNI 1726, 2019).

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0

Tabel 2.8: Lanjutan.

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS^a					

Tabel 2.9: Koefisien situs, F_v (SNI 1726, 2019).

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS^b					

2.3.6. Penentuan Parameter Spektrum Respons Percepatan.

Dalam menentukan parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.1)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.2)$$

2.3.7. Penentuan Parameter Spektrum Respons Percepatan

Untuk menentukan parameter percepatan spektral desain pada periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}) harus menggunakan rumus dibawah ini:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.3)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.4)$$

2.3.8. Penentuan Spektrum Respons Percepatan Desain

Untuk menentukan spektrum respons percepatan desain (S_a) terlebih dahulu harus mencari nilai T_0 dan T_s dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.5)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.6)$$

Setelah nilai T_0 dan T_s diketahui maka spektrum respon desain (S_a) dapat dihitung dengan syarat seperti berikut:

1) Untuk $T < T_0$ maka:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.7)$$

2) Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$ maka:

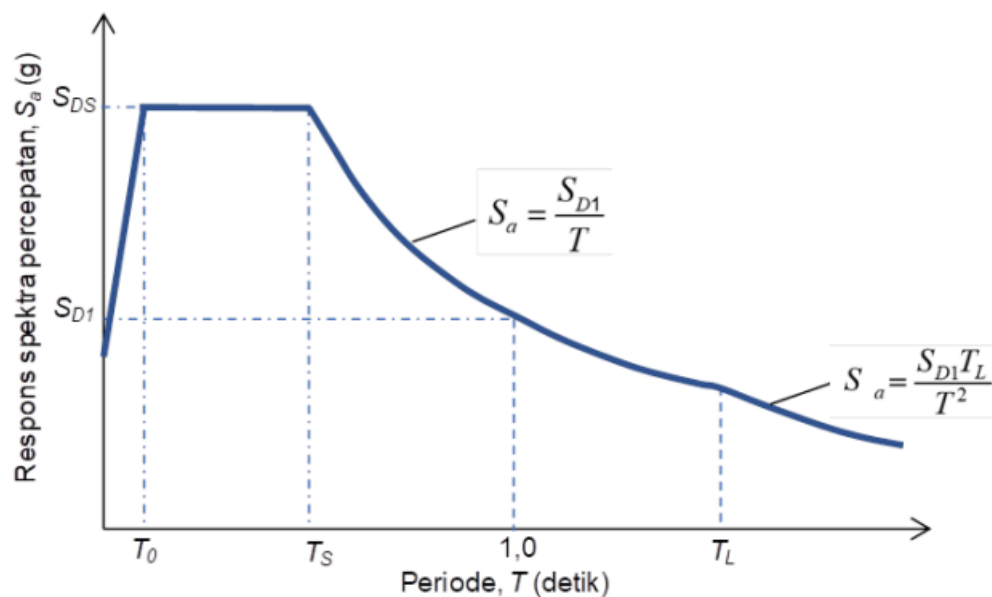
$$S_a = S_{DS} \quad (2.8)$$

3) Untuk $T_L \geq T > T_s$ maka:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.9)$$

4) Untuk $T > T_L$ maka:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.10)$$



Gambar 2.15: Spektrum respon desain (SNI 1726, 2019).

2.3.9. Penentuan Koefisien Modifikasi Respons

koefisien modifikasi respons (R) dapat ditentukan sesuai dengan tipe sistem penahan gaya gempa yang digunakan dan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.10 : Faktor R , C_d^b dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa (SNI 1726, 2019).

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih system, (Ω_0)	Faktor pembesaran defleksi, (C_d^c)	Batasan system struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n(m)^c$				
				Kategori desain seismic				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
B. Sistem rangka bangunan								
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	48	48	30
13. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI

2.3.10. Penentuan Periode Fundamental Struktur

Sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur (T), diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan (T_a) yang dihitung dengan menggunakan rumus:

$$T = T_a = C_t h_n^x \quad (2.11)$$

dimana h_n adalah ketinggian struktur bangunan dalam satuan meter dan nilai C_t serta x dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.11: Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x (SNI 1726, 2019).

Tipe struktur	C_t	X
Sistem rangka pemikul momen dimana momen rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	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 system struktur lainnya	0,0488	0,75

2.3.11. Penentuan Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik (C_{sg}) ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.12)$$

Nilai C_{sg} yang dihitung dari persamaan diatas tidak perlu melebihi berikut ini:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.13)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.14)$$

Dan C_{sg} harus kurang dari:

$$C_{sg} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.15)$$

2.3.12. Penentuan Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser seismik (V) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$V = C_{sg} W_t \quad (2.16)$$

2.3.13. Penentuan Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral (F_x) yang timbul disemua tingkat harus ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$F_i = \frac{W_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} V \quad (2.17)$$

dimana:

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:

untuk $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$

untuk $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$

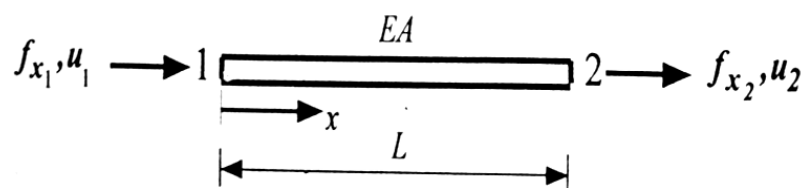
untuk $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau harus ditentukan dengan interpolasi.

2.4. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode untuk menyelesaikan mekanika yang kompleks menjadi beberapa bagian elemen-elemen sehingga dapat diselesaikan secara sederhana dengan perhitungan numerik.

Pada penelitian ini untuk perhitungan topologi sistem lateral bresing dilakukan dalam 2 dimensi. Perhitungan struktur portal dalam 2 dimensi menggunakan elemen portal bidang. Elemen pada portal bidang terdiri dari dua tipe elemen yaitu elemen aksial dan elemen lentur.

2.4.1. Elemen Aksial



Gambar 2.16: Elemen aksial penampang prismatic (Mahyunirsyah, 2004).

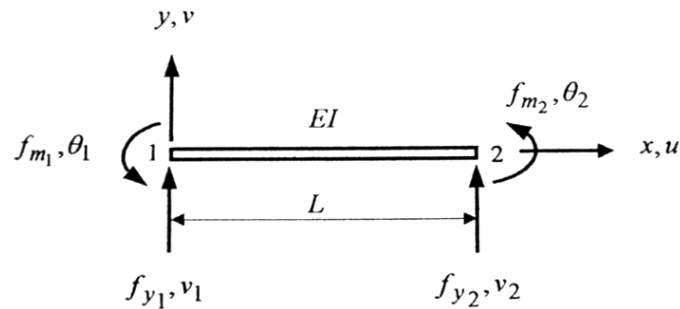
Elemen aksial merupakan elemen satu dimensi dengan hubungan regangan dan perpindahan, dengan rumus sebagai berikut:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.18)$$

matriks kekakuan dari kedua elemen diatas adalah:

$$[k] = \int_V \langle B \rangle [E] \{B\} dV = EA \int_0^L \{B\} [B] dx = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

2.4.2. Elemen Lentur



Gambar 2.17: Elemen lentur pada penampang prismatic (Mahyunirsyah, 2004)

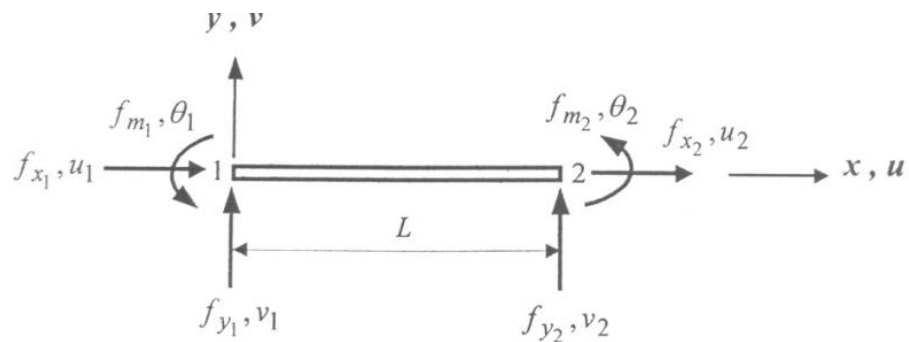
hubungan regangan dan perpindahan pada elemen lentur, dengan rumus sebagai berikut:

$$\varepsilon_x = -y \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \quad (2.20)$$

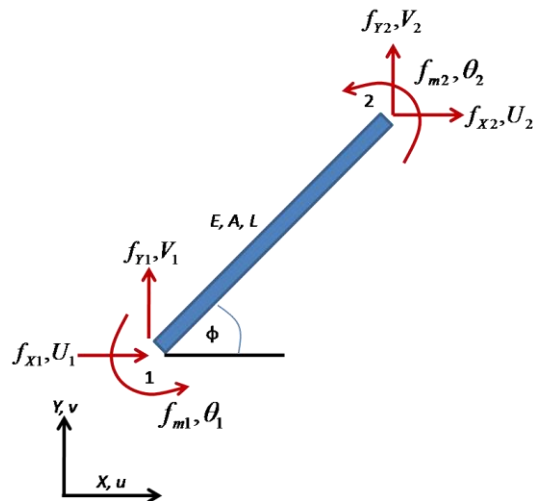
matriks kekakuan dari kedua elemen diatas adalah:

$$[k] = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

2.4.3. Elemen Portal Bidang



Gambar 2.18: Elemen portal bidang dalam sumbu lokal (Mahyunirsyah, 2004).



Gambar 2.19: Elemen portal bidang dengan sumbu global (Mahyunirsyah, 2004).

Elemen portal bidang merupakan gabungan antara elemen aksial dan elemen lentur, matrik kekakuan dapat diekspresikan:

$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Untuk dapat menjumlahkan gaya-gaya pada nodal pada elemen Desain domain yang berhubungan diperlukan suatu transformasi dari bentuk sumbu lokal ke sumbu global. Untuk mentransformasi diperlukan matriks yang dapat mentransformasi kondisi lokal ke koordinat global. Matriks transformasinya adalah:

$$\{f_n\}_{lokal} = [T]\{f_n\}_{global} \quad (2.23)$$

$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{m1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ f_{m2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C & S & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -S & C & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C & S & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -S & C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{m1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ f_{m2} \end{Bmatrix} \quad (2.24)$$

dengan $C = \cos \varphi$ dan $S = \sin \varphi$. Hubungan persamaan gaya nodal elemen pada sumbu lokal kepada sumbu global adalah:

$$\{f_i\}_{lokal} = [T]\{f_i\}_{global} \quad (2.25)$$

transformasi perpindahan keenam derajat kebebasan dari sumbu lokal ke sumbu global adalah:

$$\{u_i\}_{lokal} = [T]\{u_i\}_{global} \quad (2.26)$$

Matriks transformasi ini merupakan matriks orthogonal, yang dapat diekspresikan:

$$[T]^{-1} = [T]^T \quad (2.27)$$

Persamaan dalam sistem koordinat lokal, dapat dibentuk:

$$[T] \{f_n\}_{global} = [k] [T]\{u_n\}_{global} \quad (2.28)$$

dengan menggunakan sifat orthogonal matriks $[T]$, dihasilkan:

$$\{f_n\}_{global} = [k]_{global} \{u_n\}_{global} \quad (2.29)$$

Maka displacement struktur didapat:

$$\{u_n\}_{global} = [k]^{-1}_{global} \{f_n\}_{global} \quad (2.30)$$

dimana kekakuan global struktur adalah:

$$[k]_{global} = [T]^T [k] [T] \quad (2.31)$$

Dengan metode energi gaya dalam struktur setiap elemen dapat diperoleh:

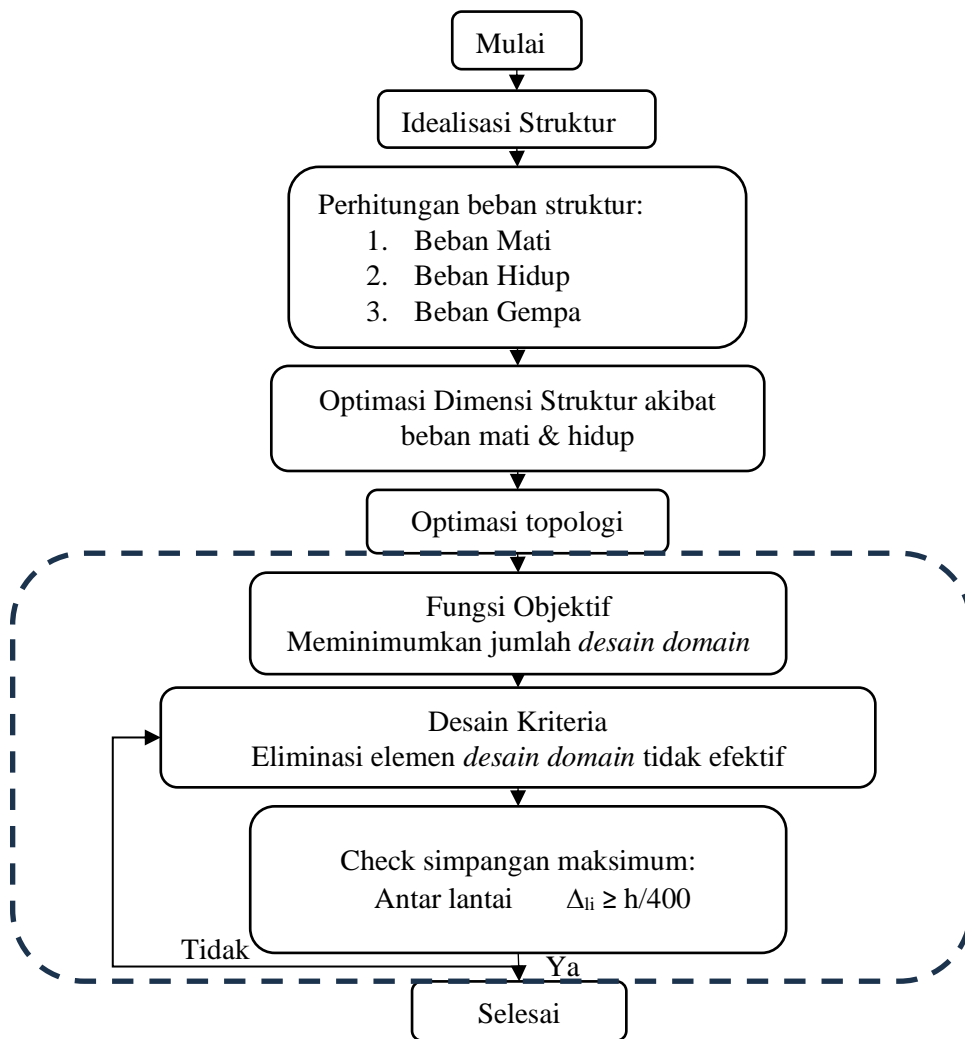
$$\{f_n\}_{lokal} = [k]_{lokal} \{u_n\}_{lokal} - \{f_n\}_{lokal}^{BNE} \quad (2.32)$$

$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{m1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ f_{m2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{m1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ f_{m2} \end{Bmatrix}^{BNE} \quad (2.33)$$

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Umum

Diagram alir proses optimasi topologi sistem lateral bresing dapat dilihat pada Gambar 3.1. Ada dua proses yang dilakukan, pertama proses optimasi dimensi dengan menggunakan beban mati dan beban hidup, dan kedua adalah proses optimasi topologi sistem lateral bresing diakibat beban gempa dengan menggunakan metode beban statik ekuivalen.



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.

3.2. Data Struktur

3.2.1. Data Perencanaan Struktur

Data struktur terdiri dari data umum, data geometri dan data dimensi awal penampang struktur, yaitu sebagai berikut:

a. Data umum

Fungsi bangunan : Gedung Perkantoran

Material

Kolom dan balok : Baja – profil IWF

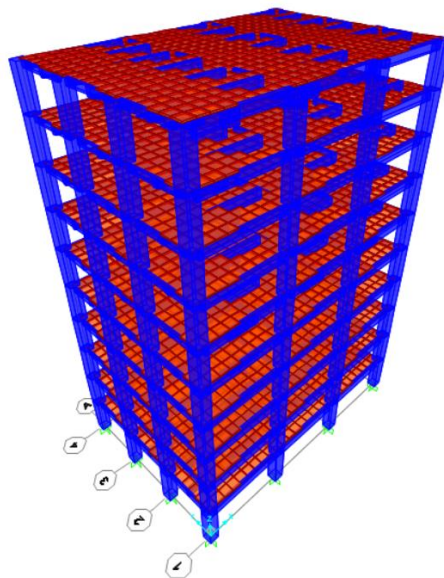
Lantai : Beton bertulang

Luas penampang desain

domain : 0.03 m²

b. Data geometri

Gambar gedung perkantoran dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3.2: Model struktur gedung 10 lantai.

Jumlah lantai bangunan : 10 lantai

Tinggi per lantai : 4 meter

Total tinggi gedung : 40 meter

Jumlah bentang arah x : 3 buah

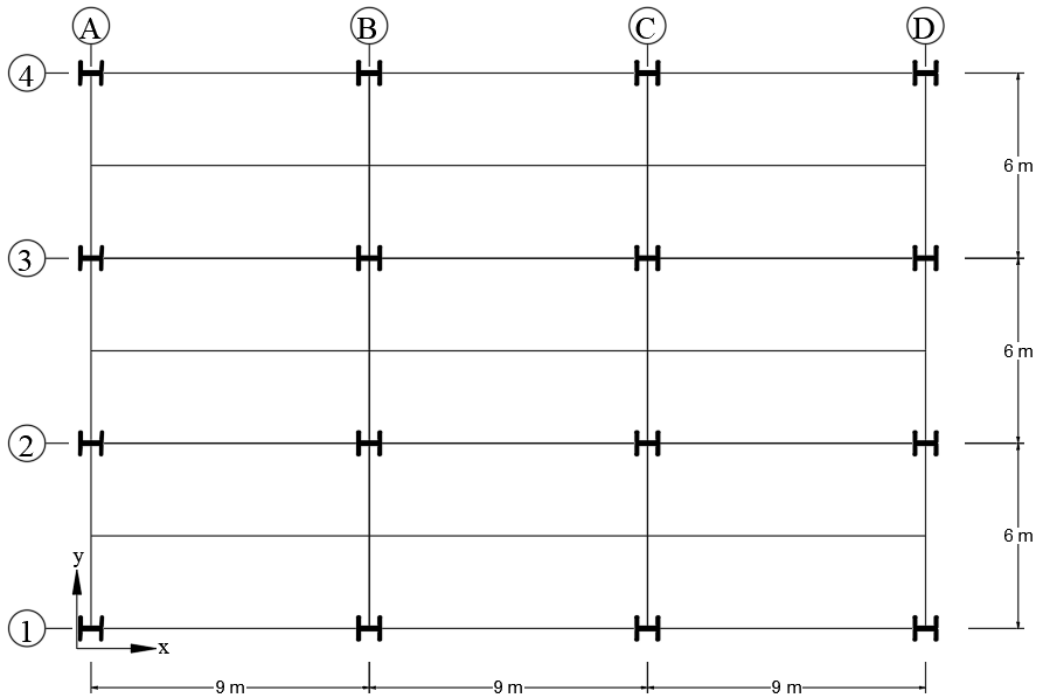
Panjang per bentang arah x : 9 meter

Panjang bentang arah x : 27 meter

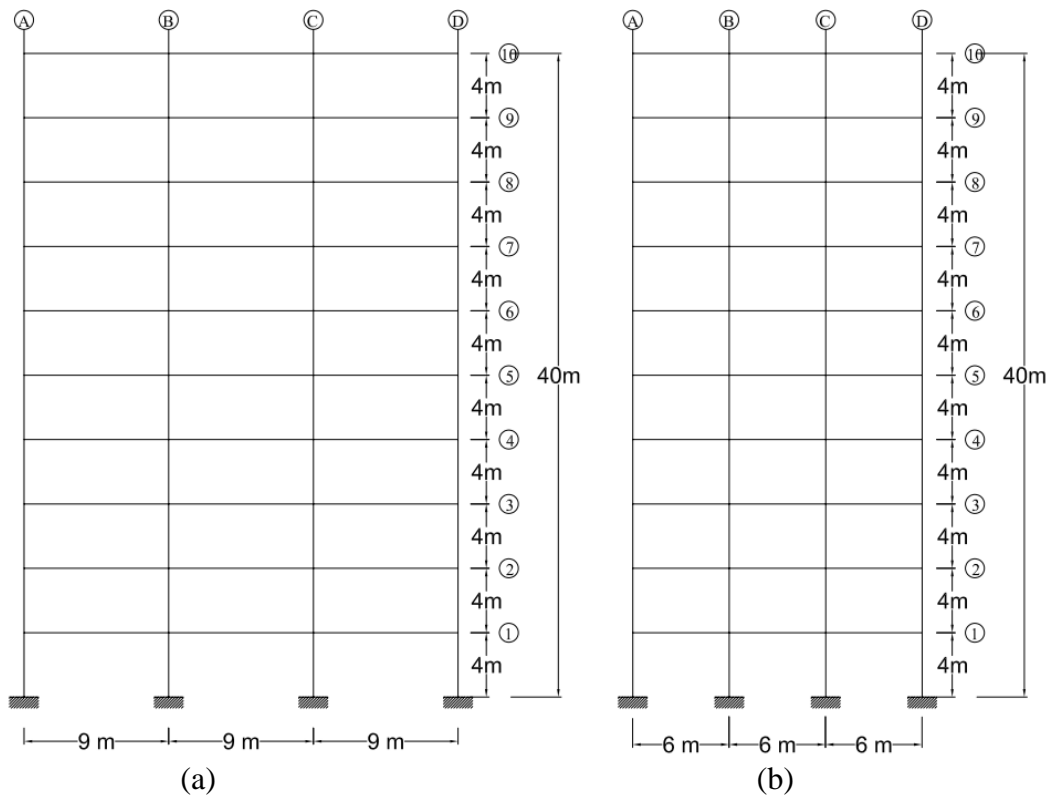
Jumlah bentang arah y : 3 buah

Panjang per bentang arah y : 6 meter

Panjang bentang arah y : 18 meter



Gambar 3.3: Denah gedung



Gambar 3.4: Gambar Struktur (a) Portal memanjang arah x , (b) Portal melintang arah y .

c. Data beban mati

1) Data material bahan bangunan gedung:

a) Beton

Berat jenis beton bertulang	: 2400	kg/m ³
Kekuatan Tekan beton (f'_c)	: 25	Mpa

b) Baja

Berat jenis baja	: 7850	kg/m ³
Mutu Baja	: BJ-41	
Kuat leleh baja (f_y)	: 250	Mpa
Kuat Ultimate baja (f_u)	: 410	Mpa
Modulus elistisitas baja (E_s)	: 200000	MPa

2) Data material komponen gedung:

Berat <i>plafond</i>	: 11	kg/m ²
Berat penggantung	: 7	kg/m ²
Berat keramik	: 24	kg/m ²
Berat dinding pas. bata ½ batu	: 250	kg/m ²
Berat lapisan kedap air	: 21	kg/m ²
Tebal <i>finishing</i>	: 0,03	meter

d. Data beban hidup

Beban hidup pada atap gedung	: 600 kg/m ²
Beban hidup pada lantai gedung	: 240 kg/m ²
Data beban gempa berdasarkan SNI	
Wilayah gempa	: Kota Medan
Fungsi bangunan	: Gedung perkantoran
Kategori resiko struktur bangunan	: II
Faktor keutamaan gempa, I_e	: 1,0
Jenis tanah	: SD
Percepatan batuan dasar pada periode pendek, S_S	: 0,65 g
Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik, S_I	: 0,36 g
Sistem penahan gaya gempa	: Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa
Faktor modifikasi respon, R	: 3
Koefisien reduksi beban hidup	: 0,30

3.3. Proses Optimasi Dimensi Struktur

Struktur dimodelkan menggunakan bantuan program analisa struktur SAP2000 untuk menentukan dimensi balok dan kolom akibat dari beban mati dan beban hidup, proses yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan struktur.
2. Input data material.

3. Menentukan dimensi penampang balok dan kolom dengan ukuran yang minimal.
4. Menghitung beban mati dan hidup-
5. Perhitungan kombinasi beban sesuai dengan persyaratan SNI metode DFBK.
6. Optimasi dimensi penampang balok dan kolom dengan SAP2000.

3.4. Proses Optimasi Topologi Sistem Lateral Bresing

3.4.1. Fungsi objektif

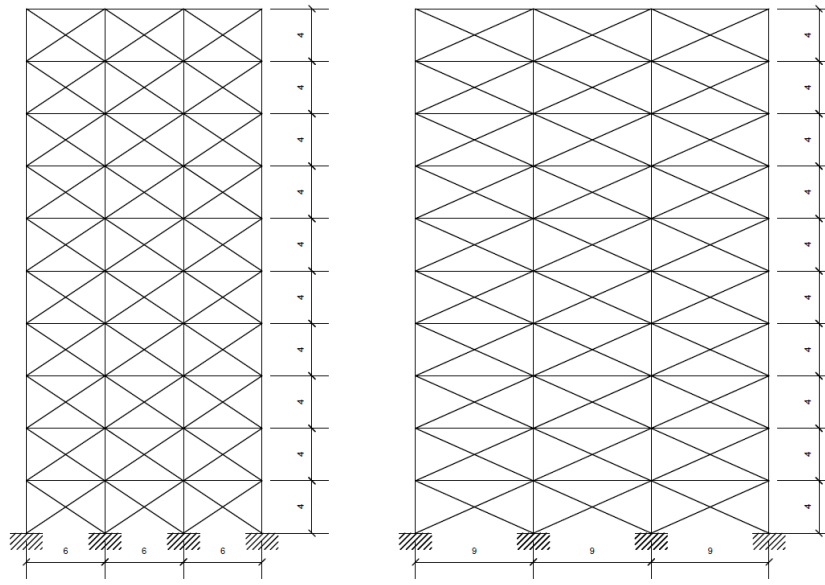
Fungsi objektif dari optimasi topologi sistem lateral bresing pada penelitian adalah meminimalkan jumlah desain domain, yang dapat dirumuskan :

$$\min(nX) \tag{3.1}$$

Pada optimasi topologi diskrit sistem lateral bresing, desain domain ditentukan dengan membuat seluruh kemungkinan sistem lateral bresing yang akan digunakan, kemudian fungsi objektif digunakan untuk mencari konfigurasi sistem lateral bresing optimal dengan cara menghilangkan desain domain yang tidak efektif sesuai ketentuan pada sub-bab 3.4.2.

Pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6 kita dapat melihat desain domain pada struktur sistem lateral bresing yang ditentukan untuk arah melintang dan memanjang. Ada dua model desain domain yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

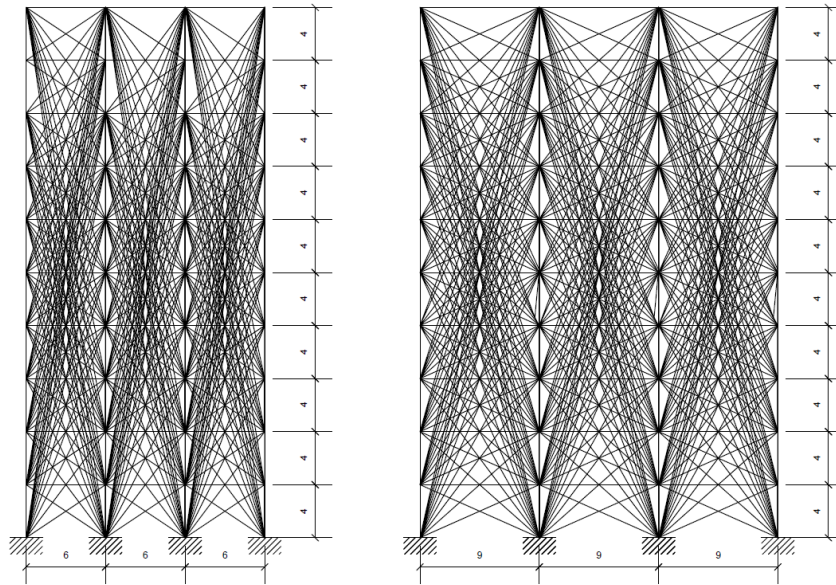
1. Model pertama dapat dilihat pada Gambar 3.5, dimana desain domain sistem lateral bresing dengan cara menghubungkan join balok kolom dengan join balok kolom terdekat pada struktur gedung tersebut.
2. Model kedua dapat dilihat pada Gambar 3.6, dimana desain domain sistem lateral bresing dengan cara menghubungkan keseluruhan join balok kolom yang ada pada struktur gedung tersebut.



(a)

(b)

Gambar 3.5: Desain domain sistem lateral bresing. (a) Model 1 arah y (b) Model 1 arah x.



(a)

(b)

Gambar 3.6: Desain domain sistem lateral bresing. (a) Model 2 arah y (b) Model 2 arah x.

3.4.2. Analisis sensitivitas

Analisis sensitivitas digunakan untuk menentukan daerah atau elemen yang tidak efektif untuk memikul gaya lateral pada desain domain. Analisis sensitivitas yang kita lakukan dengan menggunakan dua kriteria yang saling terkait, yaitu :

a. Kriteria *Strain Energy Minimum*

Kriteria *Strain Energy Minimum* digunakan untuk mengklasifikasikan elemen-elemen yang tidak efektif yang akan dihilangkan, yaitu mengacu pada elemen-elemen yang memiliki *strain energy density* yang terendah. Elemen-elemen yang telah diklasifikasikan sebagai elemen-elemen yang tidak efektif akan dihilangkan secara bertahap agar mendapatkan solusi yang optimal. Kontribusi *strain energy* elemen terhadap kekakuan struktur (*structural stiffness*), dapat diekspresikan :

$$\Pi^e = -\frac{1}{2} \langle u_n \rangle [k] \{u_n\} \quad (3.2)$$

dimana :

$\langle u_n \rangle$ = Vektor displacement nodal elemen.

$[k]$ = Matriks kekakuan elemen.

dimana *strain energy density* dari elemen ke- n dapat dihitung dengan rumus :

$$\gamma^e = \frac{\Pi^e}{X^e} \quad (3.3)$$

dimana : X^e = Jumlah elemen.

b. Kriteria simpangan maksimum antar lantai dan gedung.

Kriteria simpangan maksimum antar lantai dan gedung digunakan untuk mengevaluasi kembali elemen-elemen yang dikategorikan tidak efektif tersebut (kriteria *strain energy minimum*) dengan cara mempertahankan elemen-elemen yang memiliki kontribusi besar terhadap perpindahan. Evaluasi akan dilakukan bila simpangan maksimum pada iterasi ke- i lebih besar dari simpangan maksimum yang diizinkan atau dapat diformulasikan :

$$U_{max\ i} > U_{max\ i-1}$$

dimana :

$U_{max\ i}$ = Simpangan maksimum pada iterasi ke i .

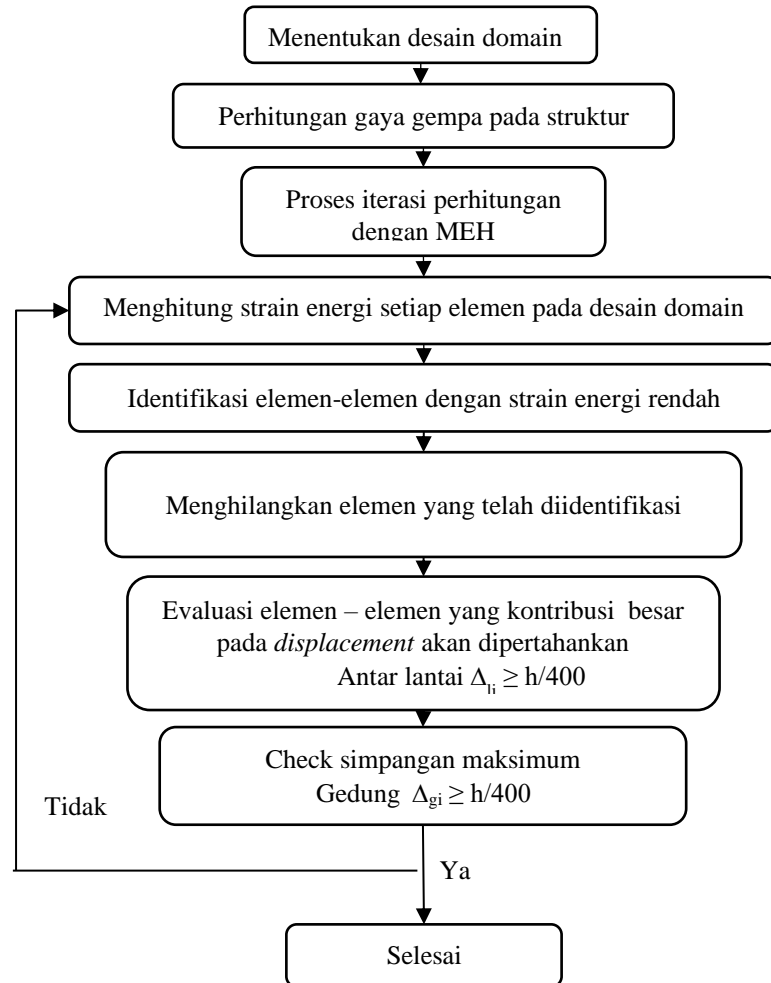
$U_{max\ i-1}$ = Simpangan maksimum pada iterasi ke $i-1$.

Evaluasi elemen-elemen dilakukan dengan cara memasukkan kembali elemen-elemen tersebut satu-persatu kedalam perhitungan struktur, dimulai dari elemen

yang memiliki *strain energy density* terbesar sampai elemen yang memiliki *strain energy density* terkecil.

3.4.3. Proses optimasi topologi diskrit sistem lateral bresing

Proses optimasi topologi sistem lateral bresing dilihat dalam diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.7: Bagan alir optimasi topologi sistem lateral bresing.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Pembebanan

4.1.1. Perhitungan Pembebanan Pada Pelat

a. Beban mati (*DL*)

1) Beban mati pelat atap

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pelat atap (0,2 m x 2400 kg/m}^3) &= 480 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat lapisan kedap air (2 bh x 21 kg/m}^2) &= 42 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat } \textit{plafond} + \text{ penggantung (11 kg/m}^2 + 7 \text{ kg/m}^2) &= 18 \text{ kg/m}^2 + \\ \text{DL}_{\text{atap}} &= \underline{540 \text{ kg/m}^2} \end{aligned}$$

2) Beban mati pelat lantai 1-9

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pelat (0,12 m x 2400 kg/m}^3) &= 288 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat finishing tebal 30 mm (0,03 m x 2200 kg/m}^3) &= 66 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat keramik} &= 24 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat } \textit{plafond} + \text{ penggantung (11 kg/m}^2 + 7 \text{ kg/m}^2) &= 18 \text{ kg/m}^2 + \\ \text{DL}_{\text{lantai}} &= \underline{396 \text{ kg/m}^2} \end{aligned}$$

b. Beban hidup (*LL*)

1) Beban hidup pelat atap

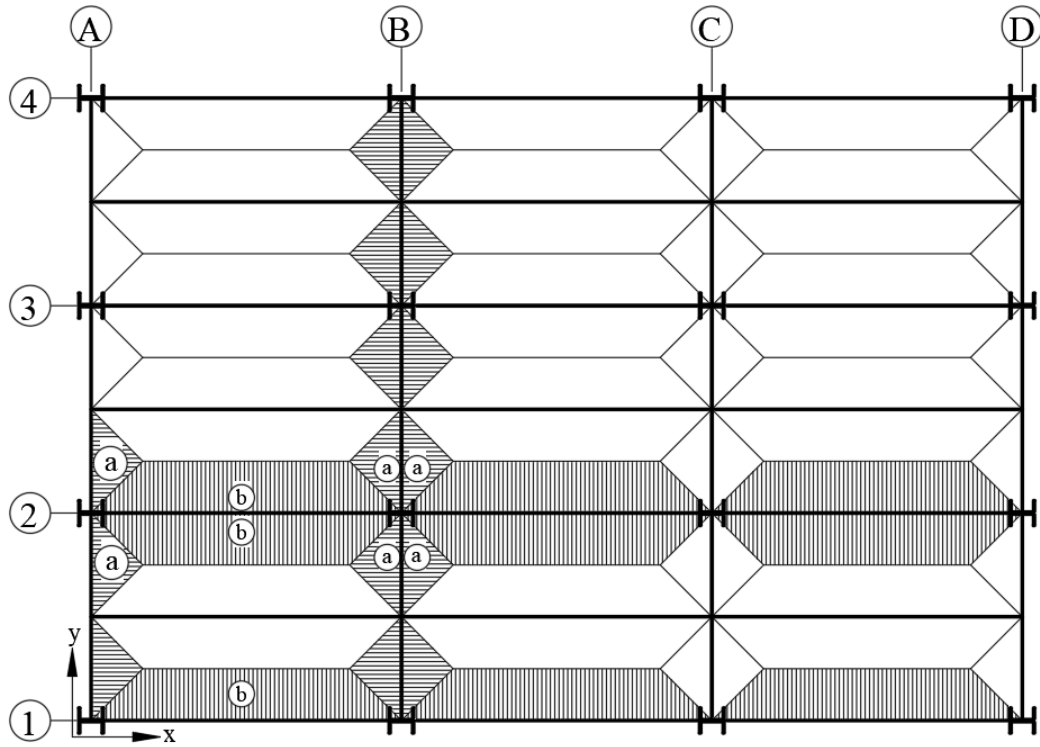
$$\begin{aligned} &\text{Beban atap menurut SNI (bangunan kantor)} \\ \text{Beban Gudang Penyimpanan dan pekerja (ringan)} &= 6 \text{ kN/m}^2 \\ \text{LL}_{\text{atap}} &= 600 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

2) Beban hidup pelat lantai 1-9

$$\begin{aligned} &\text{Beban lantai menurut SNI (bangunan kantor)} = 2.4 \text{ kN/m}^2 \\ \text{LL}_{\text{lantai}} &= 240 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

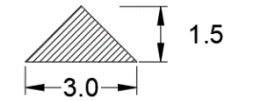
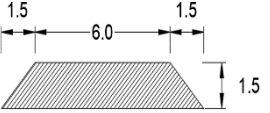
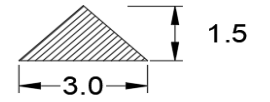
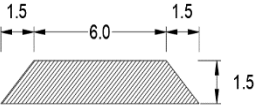
4.1.2. Perhitungan Distribusi Beban pada Balok

Perhitungan distribusi beban pada balok dihitung dengan menggunakan metode amplop dan berikut sketsa distribusi beban dengan metode amplop, dengan gambar distribusi pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4.1: Sketsa distribusi beban pada balok.

Tabel 4.1: Perhitungan distribusi beban mati dan hidup pada balok

No.	Area (m)	Beban mati DL (Kg/m ²)	Beban hidup, LL (Kg/m ²)	Beban mati pada puncak, qD (Kg/m)	Beban hidup pada puncak, qL (Kg/m)
Pelat atap					
a		540	600	$q_{DA} = 810$	$q_{LA} = 900$
b					
Pelat lantai 1-9					
a		396	240	$q_{DL} = 594$	$q_{LL} = 360$
b					

4.2. Optimasi Dimensi Penampang Struktur

Dimensi struktur balok dan kolom yang digunakan pada penelitian ini adalah dari hasil perhitungan SAP2000 dengan spesifikasi baja AISC 360-16 dalam 3D akibat beban mati dan beban hidup, dengan dimensi sebagai berikut:

Tabel 4.2: Dimensi kolom.

Lantai	Kolom	Dimensi (m)				Luas penampang (m ²)	Berat (kg/m)	I_{33} (m ⁴)	I_{22} (m ⁴)
		B	h	tf	tw				
1	W24x176	0,641	0,327	0,034	0,019	0,033	261,836	0,00236	0,000199
2	W24x146	0,628	0,327	0,027	0,016	0,027	217,774	0,00190	0,000163
3	W24x131	0,621	0,326	0,024	0,015	0,024	194,986	0,00167	0,000142
4	W24x131	0,621	0,326	0,024	0,015	0,024	194,986	0,00167	0,000142
5	W18x106	0,475	0,284	0,023	0,014	0,020	157,502	0,00079	0,000092
6	W18x106	0,475	0,284	0,023	0,014	0,020	157,502	0,00079	0,000092
7	W14x74	0,359	0,255	0,019	0,011	0,014	110,402	0,00033	0,000056
8	W14x74	0,359	0,255	0,019	0,011	0,014	110,402	0,00033	0,000056
9	W12x58	0,309	0,254	0,016	0,009	0,010	86,098	0,00019	0,000045
10	W12x58	0,309	0,254	0,016	0,009	0,010	86,098	0,00019	0,000045

Tabel 4.3: Dimensi balok.

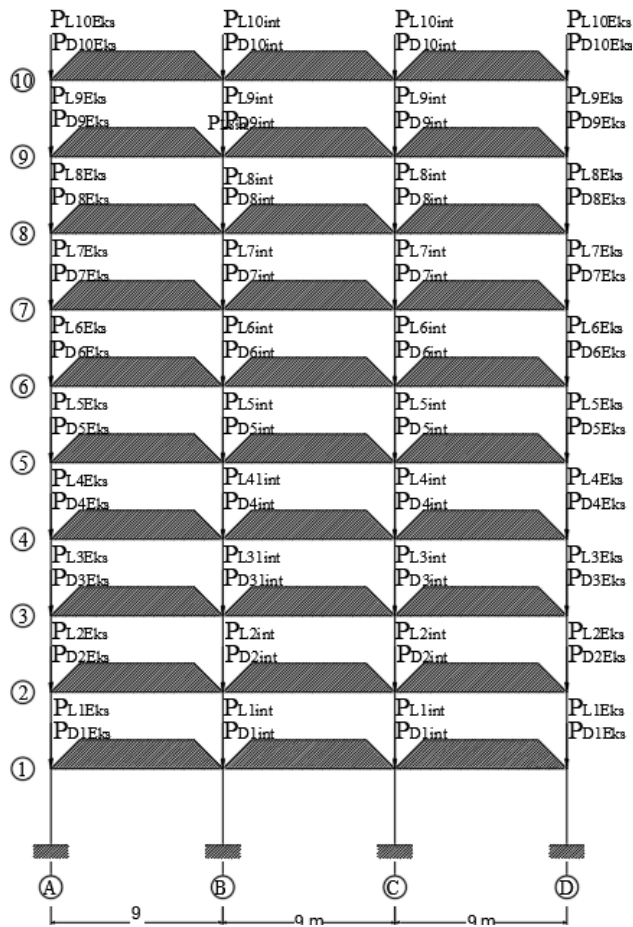
Lantai	Balok	Dimensi (m)				Luas penampang (m ²)	Berat (kg/m)	I_{33} (m ⁴)	I_{22} (m ⁴)
		b	h	tf	tw				
1	W14x48	0,350	0,203	0,0151	0,00863	0,00909	71,41	0,000202	0,000021
2	W14x48	0,350	0,203	0,0151	0,00863	0,00909	71,41	0,000202	0,000021
3	W14x48	0,350	0,203	0,0151	0,00863	0,00909	71,41	0,000202	0,000021
4	W14x48	0,350	0,203	0,0151	0,00863	0,00909	71,41	0,000202	0,000021
5	W14x48	0,350	0,203	0,0151	0,00863	0,00909	71,41	0,000202	0,000021
6	W14x48	0,350	0,203	0,0151	0,00863	0,00909	71,41	0,000202	0,000021
7	W14x48	0,350	0,203	0,0151	0,00863	0,00909	71,41	0,000202	0,000021
8	W14x48	0,350	0,203	0,0151	0,00863	0,00909	71,41	0,000202	0,000021
9	W14x48	0,350	0,203	0,0151	0,00863	0,00909	71,41	0,000202	0,000021
10	W12x65	0,307	0,304	0,0153	0,00990	0,0123	96,73	0,000222	0,000072

4.3. Perhitungan Sistem Pembebanan Dalam 2 Dimensi

Sistem lateral bresing pada struktur gedung ini berada pada sisi tepi gedung dalam arah memanjang dan melintang, maka beban terpusat yang bekerja akibat beban mati dan beban pada struktur tersebut adalah sebagai berikut:

1) Beban terpusat arah x

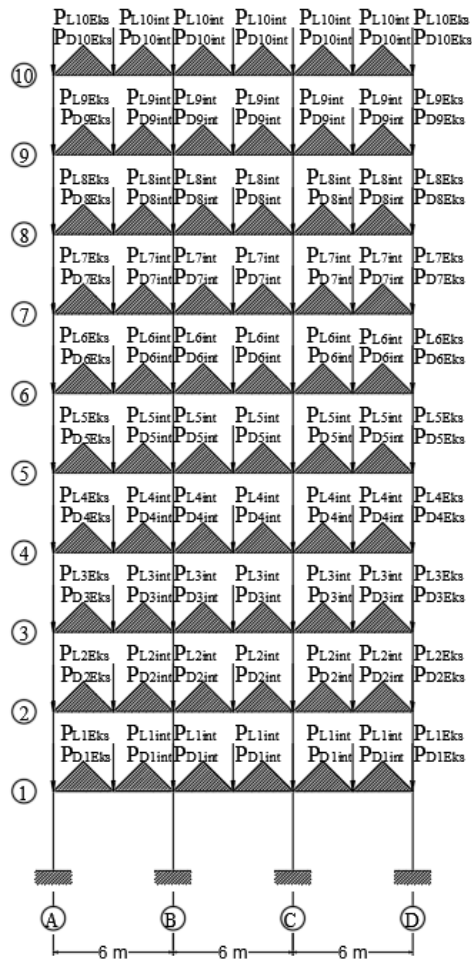
Penyaluran beban terpusat ke portal memanjang arah x dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.2: Beban mati dan hidup terpusat ke portal memanjang arah x .

2) Beban terpusat arah y

Penyaluran beban terpusat ke portal memanjang arah x dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.3: Beban mati dan hidup terpusat ke portal melintang arah y.

3) Beban terpusat pada lantai

Tabel 4.4: Perhitungan beban mati dan hidup terpusat pada lantai.

Gambar area pembebanan	Luas Area (m ²)	Pelat lantai 1-9				Pelat atap			
		Beban Mati (kg/m ²)	Beban Hidup (kg/m ²)	P _{DL} (kg)	P _{LL} (kg)	Beban Mati (kg/m ²)	Beban Hidup (kg/m ²)	P _{DA} (kg)	P _{LA} (kg)
Arah-x									
<p style="text-align: center;">Eksterior</p>	7,875	396	240	3118,5	1890	540	600	4252,5	4725
<p style="text-align: center;">Interior</p>	15,75			6237	3780			8505	9450

Tabel 4.4: Lanjutan.

Gambar area pembebanan	Luas Area (m ²)	Pelat lantai 1-9				Pelat atap			
		Beban Mati (kg/m ²)	Beban Hidup (kg/m ²)	P _{DL} (kg)	P _{LL} (kg)	Beban Mati (kg/m ²)	Beban Hidup (kg/m ²)	P _{DA} (kg)	P _{LA} (kg)
Arah-y									
<p>Eksterior</p>	5,625	396	240	2227,5	1350	540	600	3037,5	3375
<p>Interior</p>	11,25			4455	2700			6075	6750

Tabel 4.5: Perhitungan jumlah beban mati dan hidup terpusat.

Lantai		Pelat Lantai				Balok					Kolom			Jumlah beban terpusat			
		Arah x		Arah y		Berat (kg/m)	Arah x		Arah y		Berat (kg/m)	Tinggi (m)	P _{Dk} (kg)	Arah x		Arah y	
		P _{Dl} (kg)	P _{Ll} (kg)	P _{Dl} (kg)	P _{Ll} (kg)		Panjang (m)	P _{Db} (kg)	Panjang (m)	P _{Db} (kg)				P _b (kg)	P _L (kg)	P _b (kg)	P _L (kg)
1	Eksterior	3118.5	1890	2227.5	1350	71.41	5.25	187	4.5	321	261.84	2	959.22	4265	1890	3508	1350
	Interior	6237	3780	4455	2700		10.5	375	4.5	321	217.77			2	6612	3780	4776
2	Eksterior	3118.5	1890	2227.5	1350	71.41	5.25	375	4.5	321	217.77	2	825.52	4319	1890	3374	1350
	Interior	6237	3780	4455	2700		10.5	750	4.5	321	194.99			2	6987	3780	4776
3	Eksterior	3118.5	1890	2227.5	1350	71.41	5.25	375	4.5	321	194.99	2	779.94	4273	1890	3329	1350
	Interior	6237	3780	4455	2700		10.5	750	4.5	321	194.99			2	6987	3780	4776
4	Eksterior	3118.5	1890	2227.5	1350	71.41	5.25	375	4.5	321	194.99	2	704.98	4198	1890	3254	1350
	Interior	6237	3780	4455	2700		10.5	750	4.5	321	157.50			2	6987	3780	4776
5	Eksterior	3118.5	1890	2227.5	1350	71.41	5.25	375	4.5	321	157.50	2	630.01	4123	1890	3179	1350
	Interior	6237	3780	4455	2700		10.5	750	4.5	321	157.50			2	6987	3780	4776
6	Eksterior	3118.5	1890	2227.5	1350	71.41	5.25	375	4.5	321	157.50	2	535.81	4029	1890	3085	1350
	Interior	6237	3780	4455	2700		10.5	750	4.5	321	110.40			2	6987	3780	4776
7	Eksterior	3118.5	1890	2227.5	1350	71.41	5.25	187	4.5	321	261.84	2	959.22	4265	1890	3508	1350
	Interior	6237	3780	4455	2700		10.5	375	4.5	321	217.77			2	6612	3780	4776
8	Eksterior	3118.5	1890	2227.5	1350	71.41	5.25	375	4.5	321	217.77	2	825.52	4319	1890	3374	1350
	Interior	6237	3780	4455	2700		10.5	750	4.5	321	194.99			2	6987	3780	4776
9	Eksterior	3118.5	1890	2227.5	1350	71.41	5.25	375	4.5	321	194.99	2	779.94	4273	1890	3329	1350
	Interior	6237	3780	4455	2700		10.5	750	4.5	321	194.99			2	6987	3780	4776
10	Eksterior	4252.5	4725	3037.5	3375	96.74	5.25	375	4.5	321	194.99	2	704.98	4198	1890	3254	1350
	Interior	8505	9450	6075	6750		10.5	750	4.5	321	157.50			2	6987	3780	4776

4.4. Perhitungan Beban Gempa Statik Ekivalen

Perhitungan beban gempa statik ekivalen berdasarkan SNI 1726:2019, sebagai berikut:

4.4.1. Berat Keseluruhan Bangunan

1) Berat lantai 1

a) Beban mati (*WD*)

$$\text{Pelat} = (27 \times 18) \times 396 = 192456 \text{ kg}$$

$$\text{Balok arah } x = 7 \times 27 \times 71.4 \text{ (W14x48)} = 13496,76 \text{ kg}$$

$$\text{Balok arah } y = 4 \times 18 \times 71.4 \text{ (W14x48)} = 5141,62 \text{ kg}$$

Kolom

$$16 \times 2 \times 261.84 \text{ (W24x176)} = 8378,77 \text{ kg}$$

$$16 \times 2 \times 217.77 \text{ (W24x146)} = 6968,8 \text{ kg}$$

$$\text{Dinding} = [(4 \times 18) + (4 \times 27)] \times 4 \times 250 = 180000 \text{ kg}$$

$$\text{WD} = 406441,95 \text{ kg}$$

b) Beban hidup (*WL*) = $27 \times 18 \times 240 \times 0,3 = 34992 \text{ kg}$

$$\text{WL} = 34992 \text{ kg}$$

c) Total beban lantai 1 (*W*)

$$= \text{WD} + \text{WL}$$

$$= 406441,95 + 34992$$

$$= 441433,95 \text{ kg}$$

2) Berat lantai atap

a) Beban mati (*WD*)

$$\text{Pelat} = (27 \times 18) \times 540 = 262440 \text{ kg}$$

$$\text{Balok arah } x = 7 \times 27 \times 96.73 \text{ (W12x65)} = 18283,02 \text{ kg}$$

$$\text{Balok arah } y = 4 \times 18 \times 96.73 \text{ (W12x65)} = 6964,96 \text{ kg}$$

Kolom

$$16 \times 2 \times 86.09 \text{ (W12x58)} = 2755.16 \text{ kg}$$

$$\text{WD} = 290443,14 \text{ kg}$$

b) Beban hidup (*WL*) = $27 \times 18 \times 600 \times 0,3 = 87480 \text{ kg}$

$$\text{WL} = 87480 \text{ kg}$$

c) Total beban lantai atap (*W*)

$$= \text{WD} + \text{WL}$$

$$= 290443,14 + 87480$$

$$= 377923,14 \text{ kg}$$

Tabel 4.6: Berat bangunan per lantai.

Lantai	Beban mati WD (kg)								Beban hidup WL (Kg)	Berat bangunan
	Kolom			Balok			Pelat	Dinding	Pelat	$W = WD + WL$
	Berat (kg/m)	Tinggi (m)	W (kg)	Berat (kg/m)	Arah- x	Arah- y				(kg)
1	261,84	2	15.347,57	71,41	13.496,76	5.141,62	192456	180000	34992	441.433,95
	217,77	2								
2	217,77	2	13.208,35	71,41	13.496,76	5.141,62	192456	180000	34992	439.294,74
	194,99	2								
3	194,99	2	12.479,11	71,41	13.496,76	5.141,62	192456	180000	34992	438.565,50
	194,99	2								
4	194,99	2	11.279,63	71,41	13.496,76	5.141,62	192456	180000	34992	437.366,02
	157,50	2								
5	157,50	2	10.080,15	71,41	13.496,76	5.141,62	192456	180000	34992	436.166,54
	157,50	2								
6	157,50	2	8.572,95	71,41	13.496,76	5.141,62	192456	180000	34992	434.659,34
	110,40	2								
7	110,40	2	7.065,75	71,41	13.496,76	5.141,62	192456	180000	34992	433.152,14
	110,40	2								
8	110,40	2	6.288,04	71,41	13.496,76	5.141,62	192456	180000	34992	432.374,43
	86,10	2								
9	86,10	2	5.510,32	71,41	13.496,76	5.141,62	192456	180000	34992	431.596,71
	86,10	2								
10	86,10	2	2.755,16	96,74	18.283,02	6.964,96	262440	0	87480	377.923,14
Total berat bangunan										4.302.532,52

4.4.2. Koefisien Situs untuk Desain Seismik F_a dan F_v

- Faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek,
 $F_a = 1,28 g$
- Faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik,
 $F_v = 1,94 g$

4.4.3. Parameter Spektrum Respons Percepatan S_{MS} dan S_{M1}

- Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek, S_{MS}
 $S_{MS} = F_a \times S_S = 1,28 \times 0,65 = 0,83 g$
- Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik, S_{M1}
 $S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,94 \times 0,36 = 0,70 g$

4.4.4. Parameter Percepatan Spektral Desain S_{DS} dan S_{D1}

- Parameter percepatan spektral desain pada periode pendek S_{DS}
 $S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,83 = 0,55 g$
- Parameter Percepatan Spektral Desain Pada Periode 1 Detik S_{D1}
 $S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,63 = 0,47 g$

4.4.5. Spektrum Respons Desain

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times \frac{0,47}{0,55} = 0,17 \text{ detik}$$

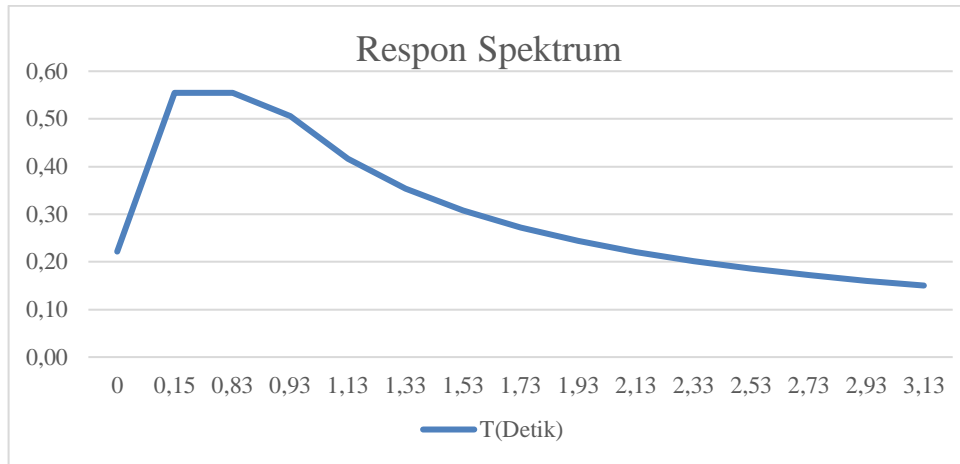
$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,47}{0,55} = 0,84 \text{ detik}$$

- Untuk $T < T_0$: $S_a = 0,4 S_{DS} + 0,6 \frac{S_{DS}}{T_0} T = 0,22 + 1,98 T$
- Untuk $T_0 \leq T \leq T_S$: $S_a = S_{DS} = 0,55$
- Untuk $T > T_S$: $S_a = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,47}{T}$

Tabel dan grafik spektrum respons desain dapat dilihat dibawah ini :

Tabel 4.7: Spektrum respon desain.

NO	T	Berat Beban Hidup	Keterangan
	(Detik)	(g)	
1	0	0.22	$T < T_0$
2	0.15	0.55	$T_0 \leq T \leq T_s$
3	0.83	0.55	$T_0 \leq T \leq T_s$
4	0.93	0.51	$T > T_s$
5	1.03	0.46	$T > T_s$
6	1.13	0.42	$T > T_s$
7	1.23	0.38	$T > T_s$
8	1.33	0.35	$T > T_s$
9	1.43	0.33	$T > T_s$
10	1.53	0.31	$T > T_s$
11	1.63	0.29	$T > T_s$
12	1.73	0.27	$T > T_s$
13	1.83	0.26	$T > T_s$
14	1.93	0.24	$T > T_s$
15	2.03	0.23	$T > T_s$
16	2.13	0.22	$T > T_s$
17	2.23	0.21	$T > T_s$
18	2.33	0.20	$T > T_s$
19	2.43	0.19	$T > T_s$
20	2.53	0.19	$T > T_s$
21	2.63	0.18	$T > T_s$
22	2.73	0.17	$T > T_s$
23	2.83	0.17	$T > T_s$
24	2.93	0.16	$T > T_s$
25	3.03	0.16	$T > T_s$
26	3.13	0.15	$T > T_s$



Gambar 4.4: Grafik respons spektrum desain.

4.4.6. Faktor Keutamaan Gempa, I_e

Berdasarkan Tabel untuk kategori risiko II, faktor keutamaan gempa sebesar, $I_e = 1,0$

4.4.7. Periode Fundamental Struktur, T

Berdasarkan Tabel 2.11 nilai C_t dan x adalah:

$$C_t = 0,0731$$

$$x = 0,75$$

$$h_n = 40 \text{ m}$$

Maka:

$$T = T_a = C_t \times h_n^x = 0,0731 \times (40)^{0,75} = 1.1627 \text{ detik}$$

Koefisien respons seismik, C_s

$$C_s = \frac{S_{DS} \times I_e}{R} = \frac{0,55 \times 1,0}{3} = 0.185$$

Cek $C_{s.maks}$

Karena $T (1.16) \leq T_L (20)$,

$$C_{s.maks} = \frac{S_{d1} \times I_e}{T^2 \times R} = \frac{0,47 \times 1,0}{1.16^2 \times 3} = 0.115$$

Cek $C_{s.min}$

$$\begin{aligned} C_{s.min} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \\ &= 0,044 \times 0,55 \times 1,0 \geq 0,01 \\ &= 0,024 \geq 0,01 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan . $C_s > C_{s,max}$, maka $C_s = 0.115$

4.4.8. Gaya Geser Dasar Seismik, V

$$V = C_s \times W_{total} = 0,115 \times 4302532.52 \text{ kg} = 493959.27 \text{ kg}$$

4.4.9. Distribusi Gaya Gempa Lateral, F_x

Gaya gempa lateral yang timbul disemua tingkat ditentukan menggunakan rumus yang sesuai dengan SNI 1726:2019.

$$F_x = \frac{W_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} V$$

dengan:

$k = 1$ untuk $T \leq 0,5$ detik

$k = 2$ untuk $T \geq 2,5$ detik

$k = \text{interpolasi}$ untuk $0,5 < T < 2,5$ detik

Maka:

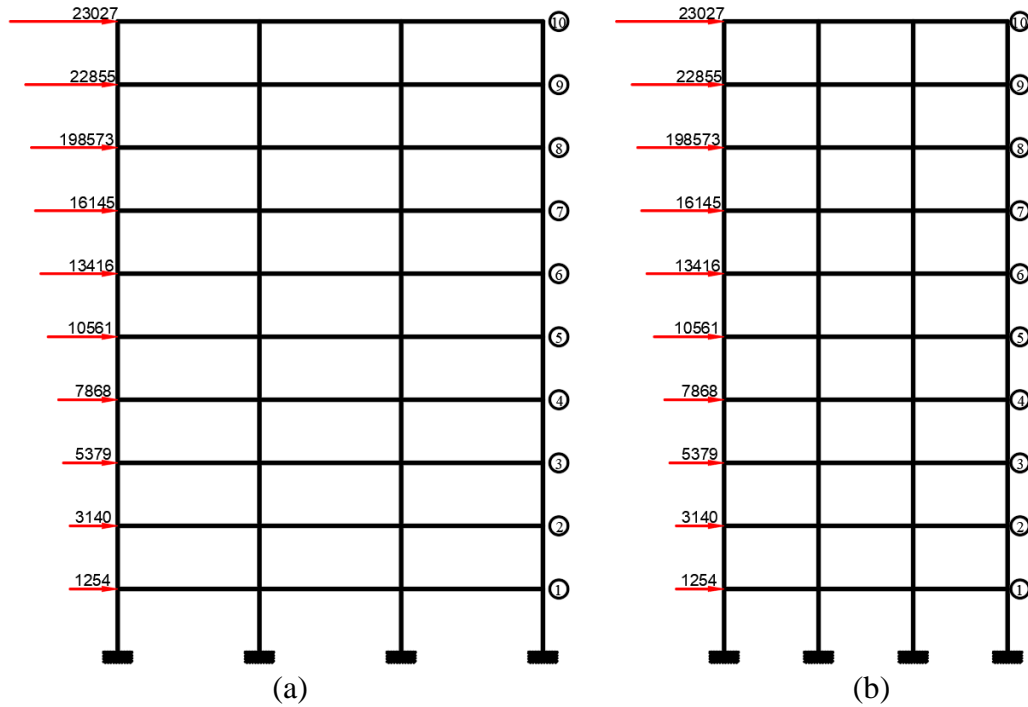
$T = 1,16$ detik

$$k = \frac{1.16 - 0,5}{2,5 - 0,5} + 1 = 1,33$$

Tabel 4.8: Distribusi beban gempa.

Lantai	h_i (m)	W_i (kg)	$W_i \times h_i^k$ (kg/m)	$V_x = V_y$ (kg)	F_i (kg)	Tiap Portal	
						$F_{ix}=F_i/4$ (kg)	$F_{iy}=F_i/4$ (kg)
Atap	40	377.923,14	51.320.949,61	493.959,27	92.106,77	23026,69	23026,69
Lantai 9	36	431.596,71	50.939.000,13	493.959,27	91.421,27	22855,31	22855,31
Lantai 8	32	432.374,43	43.624.527,94	493.959,27	78.293,84	19573,45	19573,45
Lantai 7	28	433.152,14	36.585.082,66	493.959,27	65.660,00	16415,00	16415,00
Lantai 6	24	434.659,34	29.900.844,83	493.959,27	53.663,66	13415,91	13415,91
Lantai 5	20	436.166,54	23.537.991,36	493.959,27	42.244,12	10561,02	10561,02
Lantai 4	16	437.366,02	17.536.448,07	493.959,27	31.473,02	7868,25	7868,25
Lantai 3	12	438.565,50	11.989.325,73	493.959,27	21.517,49	5379,37	5379,37
Lantai 2	8	439.294,74	6.999.684,15	493.959,27	12.562,48	3140,61	3140,61
Lantai 1	4	441.433,95	2.795.207,37	493.959,27	5.016,2	1254,15	1254,15
Total (Σ)			275.229.062				

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat gambar beban gempa pada portal memanjang arah x dan portal melintang arah y .



Gambar 4.5: Beban gempa pada struktur (a) Arah x (b)Arah y .

4.4.10. Simpangan Maksimum Struktur Utama Akibat Gaya Gempa

Simpangan maksimum akibat gaya gempa yang dipikul oleh struktur utama sebagai berikut :

Tabel 4.9: Simpangan maksimum struktur utama.

Simpangan Maksimum Struktur Utama	
Arah x	Arah y
0,761 m	5.077 m

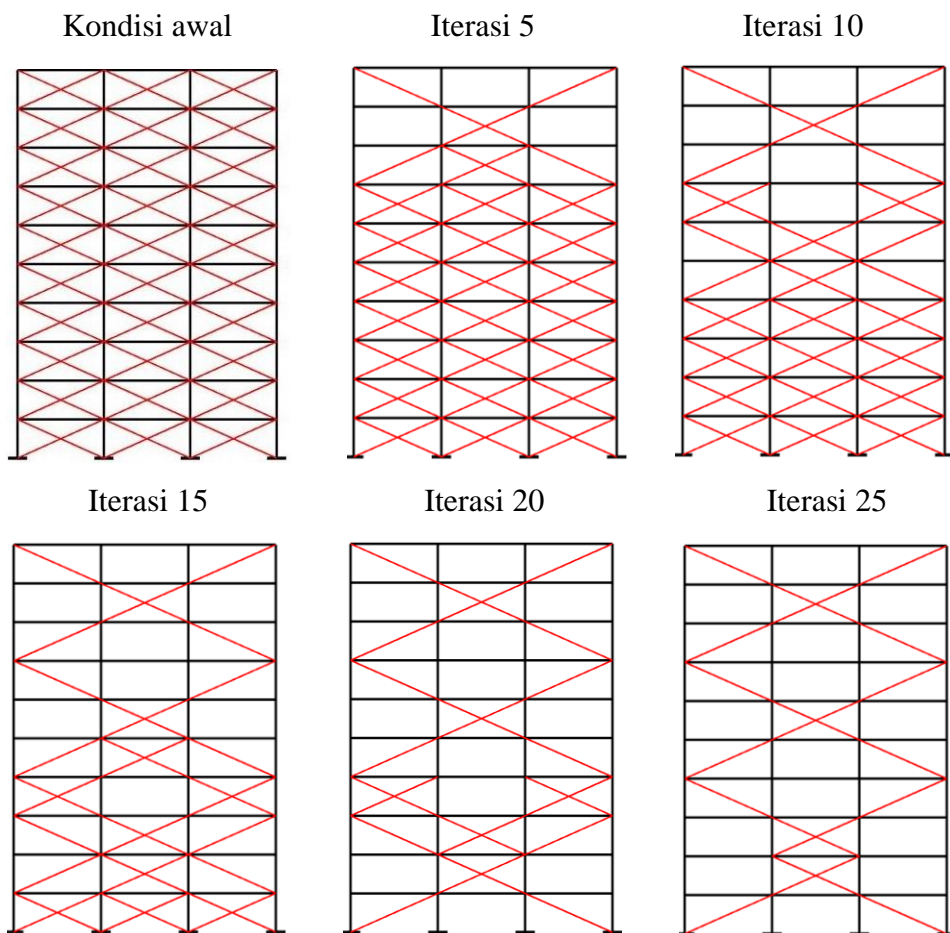
4.5. Optimasi Topologi Diskrit Sistem Lateral Bresing

Ada dua model sistem lateral bresing yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu model 1 dengan menghubungkan antara join balok kolom terdekat dan model 2 dengan menghubungkan seluruh join balok kolom yang disebrang struktur.

4.5.1. Hasil optimasi topologi diskrit desain domain model 1

a. Struktur arah x

Pada gambar 4.6 dapat dilihat hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 1 arah x dengan jumlah total sistem lateral bresing awal 60 elemen. Penentuan sistem lateral bresing yang optimal didapatkan dengan mengeliminasi elemen sistem lateral bresing yang memiliki *strain energy* terkecil secara bertahap.



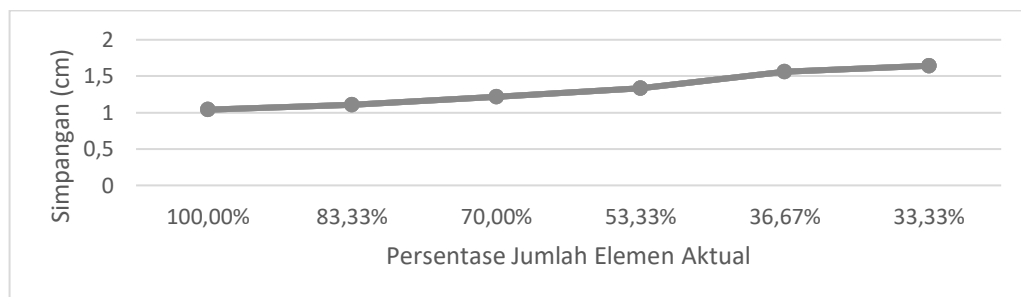
Gambar 4.6: Hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 1 arah x .

Pada Tabel 4.10 dapat dilihat hasil simpangan maksimum optimasi topologi dan jumlah elemen aktual. Pada kondisi awal iterasi simpangan maksimum yang di dapat sebesar 1,040 cm dengan jumlah sistem lateral bresing 60 elemen dan pada iterasi akhir simpangan maksimum yang di dapat sebesar 1,643 cm dengan jumlah sistem lateral bresing 20 elemen.

Tabel 4.10: Hasil optimasi topologi model 1 arah x pada saat iterasi.

Iterasi	Jumlah Elemen Aktual	Persentase Jumlah Elemen actual terhadap elemen awal	Simpangan Maksimum (cm)
Kondisi Awal	60	100 %	1,040
5	50	83,33 %	1,106
10	42	70,00 %	1,218
15	32	53,33 %	1,336
20	22	36,67 %	1,558
25	20	33,33 %	1,643

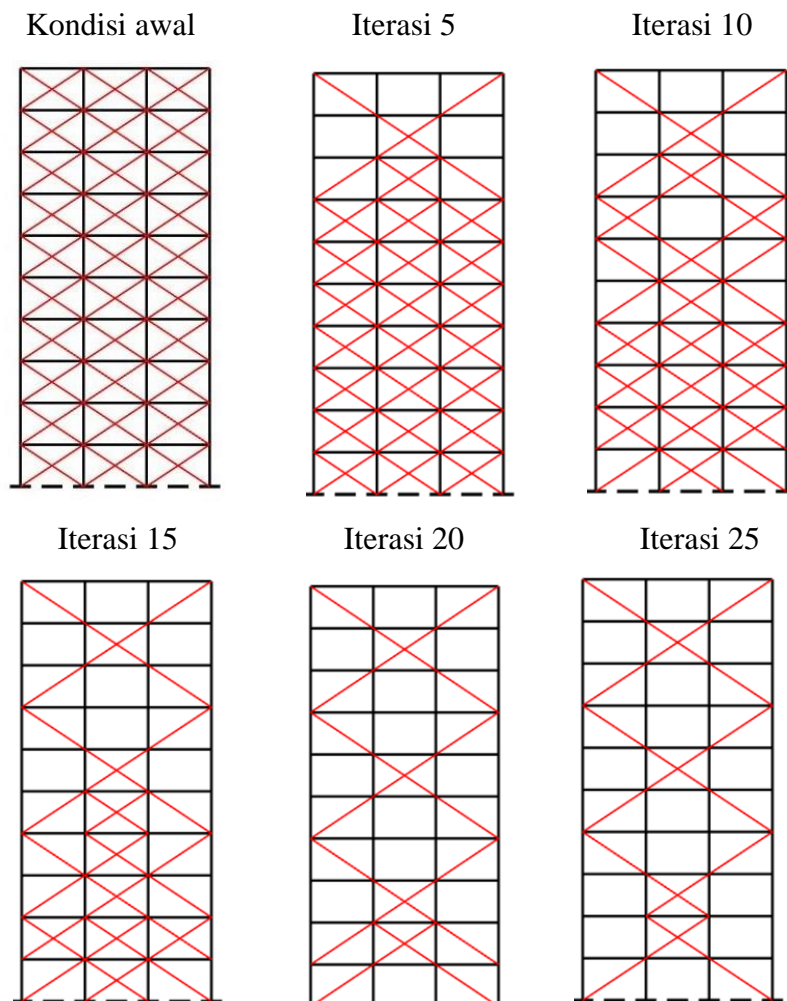
Pada gambar di bawah ini dapat dilihat grafik perubahan simpangan maksimum terhadap persentase jumlah elemen aktual pada proses optimasi topologi. Jumlah elemen hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 1 arah x adalah $1/3$ dari elemen sistem lateral bresing pada kondisi awal, dengan simpangan maksimum sebesar 1,6 kali lebih besar dari simpangan maksimum kondisi awal.



Gambar 4.7: Grafik perubahan simpangan model 1 arah x selama iterasi.

b. Struktur arah y

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 1 arah y dengan jumlah total sistem lateral bresing awal 60 elemen. Penentuan sistem lateral bresing yang optimal didapatkan dengan mengeliminasi elemen sistem lateral bresing yang memiliki *strain energy* terkecil secara bertahap. Pada Tabel 4.11 dapat dilihat hasil perbandingan simpangan maksimum optimasi topologi dan jumlah elemen aktual. Pada kondisi awal iterasi simpangan maksimum yang di dapat sebesar 1,910 cm dengan jumlah sistem lateral bresing 60 elemen dan pada iterasi akhir simpangan maksimum yang di dapat sebesar 2,553 cm dengan jumlah sistem lateral bresing 20 elemen.

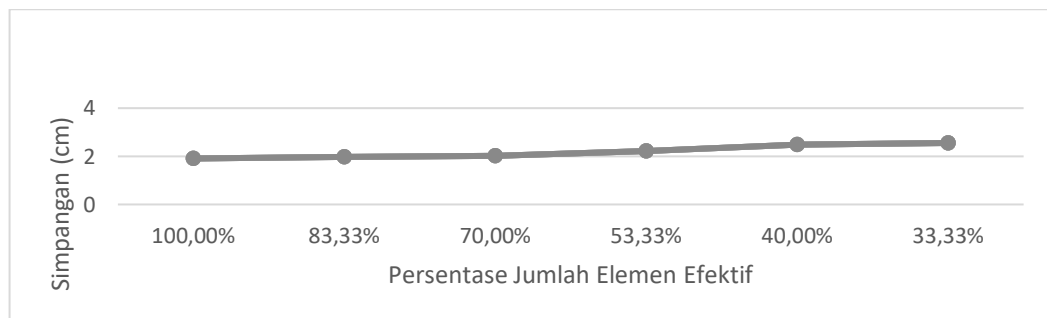


Gambar 4.8: Hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 1 arah y.

Tabel 4.11: Hasil optimasi topologi model 1 arah y pada saat iterasi.

Iterasi	Jumlah Elemen Aktual	Persentase Jumlah Elemen actual terhadap elemen awal	Simpangan Maksimum (cm)
Kondisi awal	60	100 %	1,910
5	50	83.33 %	1,970
10	42	70.00 %	2,013
15	32	53.33 %	2,209
20	24	40.00 %	2,477
25	20	33.33 %	2,553

Pada gambar di bawah ini dapat dilihat grafik perubahan simpangan maksimum terhadap persentase jumlah elemen aktual pada proses optimasi topologi. Jumlah elemen hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 1 arah y adalah 1/3 dari elemen sistem lateral bresing pada kondisi awal, dengan simpangan maksimum sebesar 1,3 kali lebih besar dari simpangan maksimum kondisi awal.

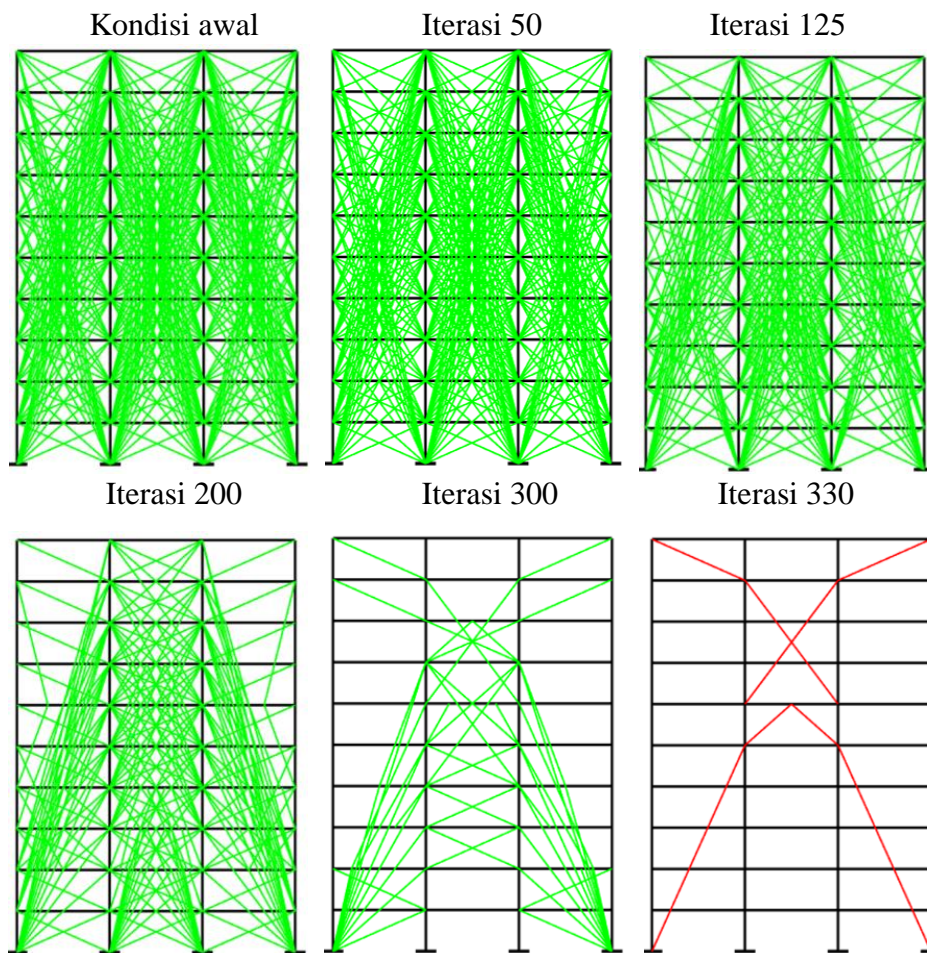


Gambar 4.9: Grafik perubahan simpangan model 1 arah y selama iterasi.

4.5.2. Hasil optimasi topologi diskrit desain domain model 2

a. Struktur arah x

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 2 arah x dengan jumlah total sistem lateral bresing awal 1320 elemen. Penentuan sistem lateral bresing yang optimal didapatkan dengan mengeliminasi elemen sistem lateral bresing yang memiliki *strain energy* terkecil secara bertahap. Pada Tabel 4.12 dapat dilihat perbandingan hasil simpangan maksimum optimasi topologi dan jumlah elemen aktual. Pada kondisi awal iterasi simpangan maksimum yang di dapat sebesar 0,103 cm dengan jumlah sistem lateral bresing 1320 elemen dan pada iterasi akhir simpangan maksimum yang di dapat sebesar 1,909 cm dengan jumlah sistem lateral bresing 20 elemen.

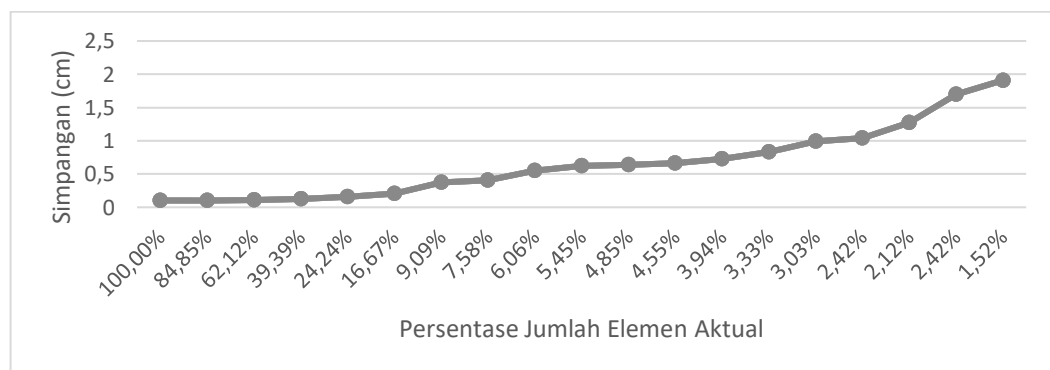


Gambar 4.10: Hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 2 arah x .

Tabel 4.12: Hasil optimasi topologi model 2 arah x pada saat iterasi.

Iterasi	Jumlah Elemen Aktual	Persentase Jumlah Elemen actual terhadap elemen awal	Simpangan Maksimum (cm)
Kondisi awal	1320	100.00%	0,103
50	1120	84.85%	0,104
125	820	62.12%	0,111
200	520	39.39%	0,128
250	320	24.24%	0,161
275	220	16.67%	0,202
300	120	9.09%	0,375
305	100	7.58%	0,409
310	80	6.06%	0,550
312	72	5.45%	0.626
314	64	4.85%	0.640
315	60	4.55%	0,664
317	52	3.94%	0.726
319	44	3.33%	0.832
320	40	3.03%	0,993
322	32	2.42%	1,037
324	28	2.12%	1.271
325	24	1,82%	1,699
330	20	1.52%	1,909

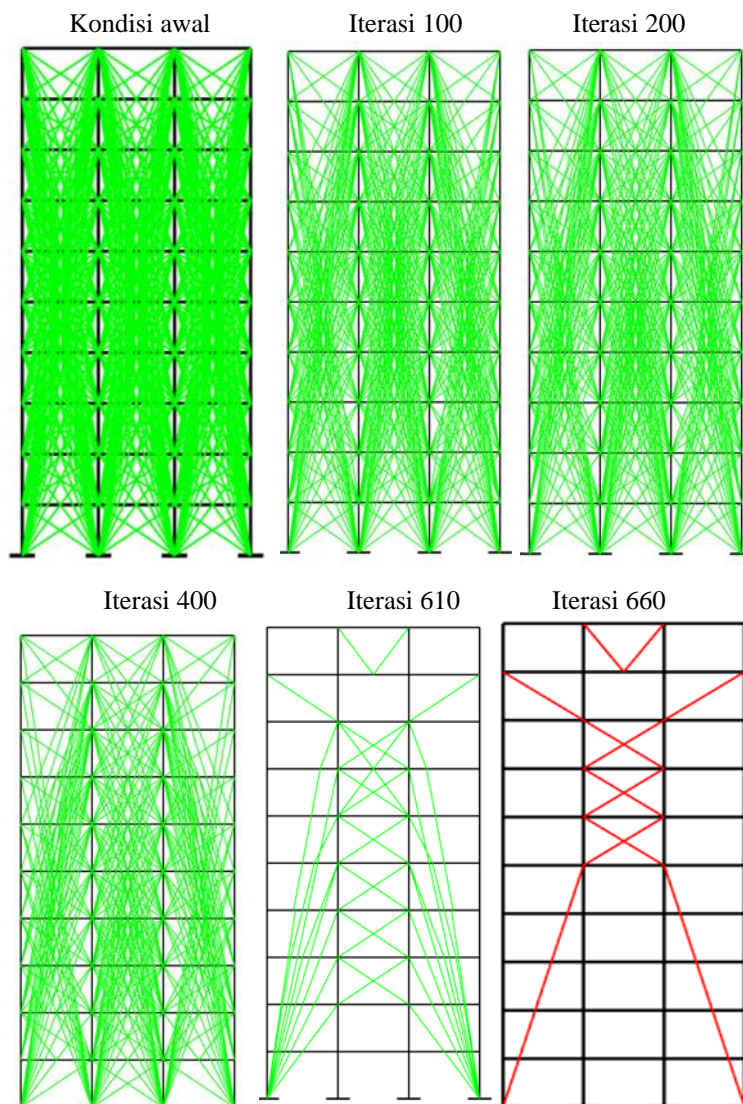
Pada gambar di bawah ini dapat dilihat grafik perubahan simpangan maksimum terhadap persentase jumlah elemen aktual pada proses optimasi topologi. Jumlah elemen hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 2 arah x adalah sekitar 1/66 dari elemen sistem lateral bresing pada kondisi awal, dengan simpangan maksimum sebesar 18,5 kali lebih besar dari simpangan maksimum kondisi awal.



Gambar 4.11: Grafik perubahan simpangan model 2 arah x selama iterasi.

b. Struktur arah y

Pada Gambar 4.12 dapat dilihat hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 2 arah y dengan jumlah total sistem lateral bresing awal 1320 elemen. Penentuan sistem lateral bresing yang optimal didapatkan dengan mengeliminasi elemen sistem lateral bresing yang memiliki *strain energy* terkecil secara bertahap. Pada Tabel 4.13 dapat dilihat perbandingan hasil simpangan maksimum optimasi topologi dan jumlah elemen aktual. Pada kondisi awal simpangan maksimum yang di dapat sebesar 0,188 cm dengan jumlah sistem lateral bresing 1320 elemen dan pada iterasi akhir simpangan maksimum yang di dapat sebesar 3,526 cm dengan jumlah sistem lateral bresing 20 elemen.

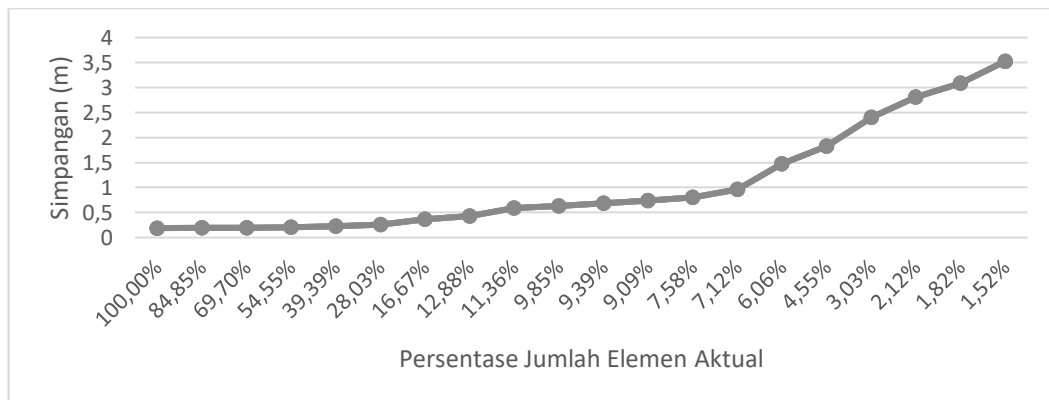


Gambar 4.12: Hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 2 arah y.

Tabel 4.13: Hasil optimasi topologi model 2 arah y pada saat iterasi.

Iterasi	Jumlah Elemen Aktual	Persentase Jumlah Elemen actual terhadap elemen awal	Simpangan Maksimum (cm)
Kondisi Awal	1320	100.00%	0,188
100	1120	84.85%	0,189
200	920	69.70%	0,194
300	720	54.55%	0.204
400	520	39.39%	0,228
475	370	28.03%	0.257
550	220	16.67%	0.360
575	170	12.88%	0.433
585	150	11.36%	0.594
598	124	9.39%	0.680
600	120	9.09%	0,733
610	100	7.58%	0.801
613	94	7.12%	0.965
620	80	6.06%	1.479
630	60	4.55%	1.823
640	40	3.03%	2.405
650	28	2.12%	2.808
655	24	1.82%	3,087
660	20	1.52%	3,526

Pada gambar di bawah ini dapat dilihat grafik perubahan simpangan maksimum terhadap persentase jumlah elemen aktual pada proses optimasi topologi. Jumlah elemen hasil optimasi topologi sistem lateral bresing model 2 arah y adalah sekitar 1/66 dari elemen sistem lateral bresing pada kondisi awal, dengan simpangan maksimum sebesar 18,75 kali lebih besar dari simpangan maksimum kondisi awal.



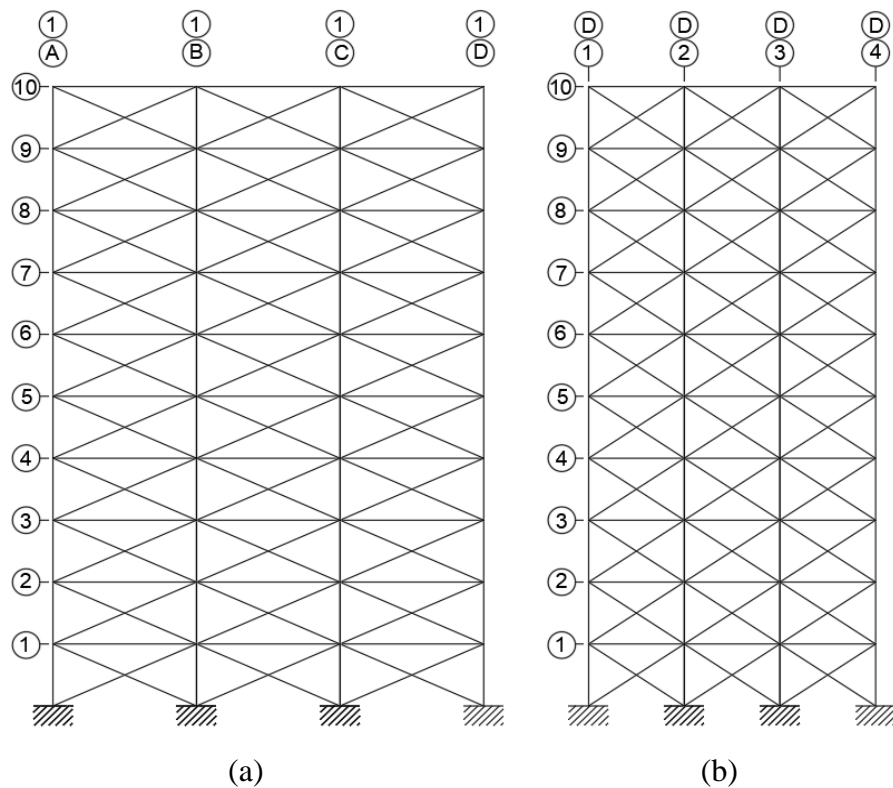
Gambar 4.13: Grafik perubahan simpangan model 2 arah y selama iterasi.

4.6. Hasil Pengujian Menggunakan Sistem Lateral Bresing Konvensional

Ada 2 model sistem lateral bresing konvensional yang akan di uji pada penelitian ini, dimana sistem lateral bresing model 1 dengan menghubungkan join balok kolom terdekat pada seluruh struktur dan sistem lateral bresing model 2 menghubungkan join balok kolom terdekat pada tengah struktur gedung.

4.6.1. Sistem Lateral Bresing Konvensional Model 1

Sistem lateral bresing konvensional model 1 yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan jumlah elemen dan simpangan maksimum dapat dilihat pada Tabel 4.14. Pada Tabel 4.14 dapat dilihat data-data jumlah elemen dan simpangan maksimum.



Gambar 4.14: Bresing konvensional model 1 (a) Arah x (b) Arah y.

Tabel 4.15: Data-data elemen dan simpangan maksimum sistem lateral bresing konvensional model 2.

Sistem Lateral Bresing Konvensional Model 2			
Arah x		Arah y	
Jumlah elemen	20	Jumlah elemen	20
Total Panjang elemen	196,97	Total Panjang elemen	144,2
Simpangan Maksimum (cm)	7,103	Simpangan Maksimum	16,660

4.7. Perbandingan Sistem Lateral Bresing Optimasi Topologi Diskrit dengan Sistem Lateral Bresing Konvensional

Pada Tabel 4.16 dapat dilihat hasil dari perhitungan sistem lateral bresing optimasi topologi diskrit dan sistem lateral bresing konvensional, yaitu jumlah elemen sistem lateral bresing, total panjang sistem lateral bresing dan simpangan maksimum struktur arah x dan arah y . Pada Tabel 4.17 dapat dilihat perbandingan total panjang elemen dengan simpangan maksimum struktur.

Tabel 4.16: Data hasil sistem lateral bresing hasil konvensional dan sistem lateral optimasi topologi.

Sistem lateral bresing		Sistem lateral bresing Konvensional		Sistem lateral bresing dengan optimasi topologi diskrit	
		Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
Struktur arah x					
1	Jumlah elemen	60	20	20	20
2	Total panjang (m)	590,93	196,97	196,97	105,6
3	Simpangan maksimum (cm)	1,040	7,103	1,643	1,909
Struktur arah y					
1	Jumlah elemen	60	20	20	20
2	Total panjang (m)	423,66	144,2	144,2	109,44
3	Simpangan maksimum (cm)	1,910	16,660	2,553	3,526

Tabel 4.17: Perbandingan efektivitas sistem lateral bresing terhadap sistem lateral bresing optimasi topologi model 2.

Perbandingan efektivitas sistem lateral bresing terhadap sistem lateral bresing optimasi topologi model 2		Sistem lateral bresing konvensional		Sistem lateral bresing dengan optimasi topologi diskrit	
		Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
Struktur arah x					
1	Rasio panjang sistem lateral bresing	5,6	1,9	1,9	1
2	Rasio simpangan maksimum	0,5	3,7	0,9	1
Struktur arah y					
1	Rasio panjang sistem lateral bresing	3,9	1,3	1,3	1
2	Rasio simpangan maksimum	0,5	4,7	0,7	1

Tabel 4.18: Perbandingan perpindahan tiap lantai arah x .

Bresing Konvensional Model 1			Bresing Konvensional Model 2			Bresing Optimasi Topologi Model 1			Bresing Optimasi Topologi Model 2		
Lantai		Perpindahan	Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan	
Base	$U(m)$	0	Base	$U(m)$	0	Base	$U(m)$	0	Base	$U(m)$	0
	$V(m)$	0		$V(m)$	0		$V(m)$	0		$V(m)$	0
	$\theta(rad)$	0		$\theta(rad)$	0		$\theta(rad)$	0		$\theta(rad)$	0
1	$U(m)$	0.000586	1	$U(m)$	0.001819	1	$U(m)$	0.000924	1	$U(m)$	0.001872
	$V(m)$	0.000651		$V(m)$	8.60E-05		$V(m)$	0.00051		$V(m)$	5.86E-05
	$\theta(rad)$	-0.00019		$\theta(rad)$	-0.00074		$\theta(rad)$	-0.00037		$\theta(rad)$	-0.00073
2	$U(m)$	0.001271	2	$U(m)$	0.005646	2	$U(m)$	0.002625	2	$U(m)$	0.005574
	$V(m)$	0.00132		$V(m)$	0.000185		$V(m)$	0.001121		$V(m)$	0.000106
	$\theta(rad)$	-0.00018		$\theta(rad)$	-0.0011		$\theta(rad)$	-0.00044		$\theta(rad)$	-0.00096
3	$U(m)$	0.002117	3	$U(m)$	0.010962	3	$U(m)$	0.004453	3	$U(m)$	0.009125
	$V(m)$	0.001937		$V(m)$	0.000289		$V(m)$	0.001802		$V(m)$	0.000153
	$\theta(rad)$	-0.00023		$\theta(rad)$	-0.00145		$\theta(rad)$	-0.00044		$\theta(rad)$	-0.00073
4	$U(m)$	0.00312	4	$U(m)$	0.017534	4	$U(m)$	0.006244	4	$U(m)$	0.011314
	$V(m)$	0.002432		$V(m)$	0.000383		$V(m)$	0.002482		$V(m)$	0.000202
	$\theta(rad)$	-0.00026		$\theta(rad)$	-0.00168		$\theta(rad)$	-0.00045		$\theta(rad)$	-0.0004
5	$U(m)$	0.004238	5	$U(m)$	0.025301	5	$U(m)$	0.008113	5	$U(m)$	0.012349
	$V(m)$	0.0029		$V(m)$	0.000485		$V(m)$	0.00285		$V(m)$	0.000264
	$\theta(rad)$	-0.00029		$\theta(rad)$	-0.00191		$\theta(rad)$	-0.00044		$\theta(rad)$	-0.00026
6	$U(m)$	0.005443	6	$U(m)$	0.033819	6	$U(m)$	0.009823	6	$U(m)$	0.014262
	$V(m)$	0.003242		$V(m)$	0.00057		$V(m)$	0.003217		$V(m)$	0.000325
	$\theta(rad)$	-0.0003		$\theta(rad)$	-0.00197		$\theta(rad)$	-0.00041		$\theta(rad)$	-0.0007

Tabel 4.18: *Lanjutan*

Bresing Konvensional Model 1			Bresing Konvensional Model 2			Bresing Optimasi Topologi Model 1			Bresing Optimasi Topologi Model 2		
Lantai		Perpindahan	Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan	
7	$U(m)$	0.006703	7	$U(m)$	0.043086	7	$U(m)$	0.011714	7	$U(m)$	0.018657
	$V(m)$	0.003561		$V(m)$	0.000668		$V(m)$	0.003738		$V(m)$	0.000405
	$\theta(rad)$	-0.00031		$\theta(rad)$	-0.00195		$\theta(rad)$	-0.0005		$\theta(rad)$	-0.00082
8	$U(m)$	0.007979	8	$U(m)$	0.052608	8	$U(m)$	0.013819	8	$U(m)$	0.020834
	$V(m)$	0.003749		$V(m)$	0.000739		$V(m)$	0.003809		$V(m)$	0.000477
	$\theta(rad)$	-0.00031		$\theta(rad)$	-0.00189		$\theta(rad)$	-0.00045		$\theta(rad)$	-0.00014
9	$U(m)$	0.009239	9	$U(m)$	0.062374	9	$U(m)$	0.015169	9	$U(m)$	0.019714
	$V(m)$	0.00386		$V(m)$	0.000799		$V(m)$	0.003898		$V(m)$	0.00057
	$\theta(rad)$	-0.00031		$\theta(rad)$	-0.00186		$\theta(rad)$	-0.0003		$\theta(rad)$	0.000306
10	$U(m)$	0.010467	10	$U(m)$	0.071629	10	$U(m)$	0.016433	10	$U(m)$	0.01909
	$V(m)$	0.003897		$V(m)$	0.000826		$V(m)$	0.003988		$V(m)$	0.000662
	$\theta(rad)$	-0.0003		$\theta(rad)$	-0.00091		$\theta(rad)$	-0.00032		$\theta(rad)$	0.000136

Tabel 4.19 : Perbandingan perpindahan tiap lantai arah y

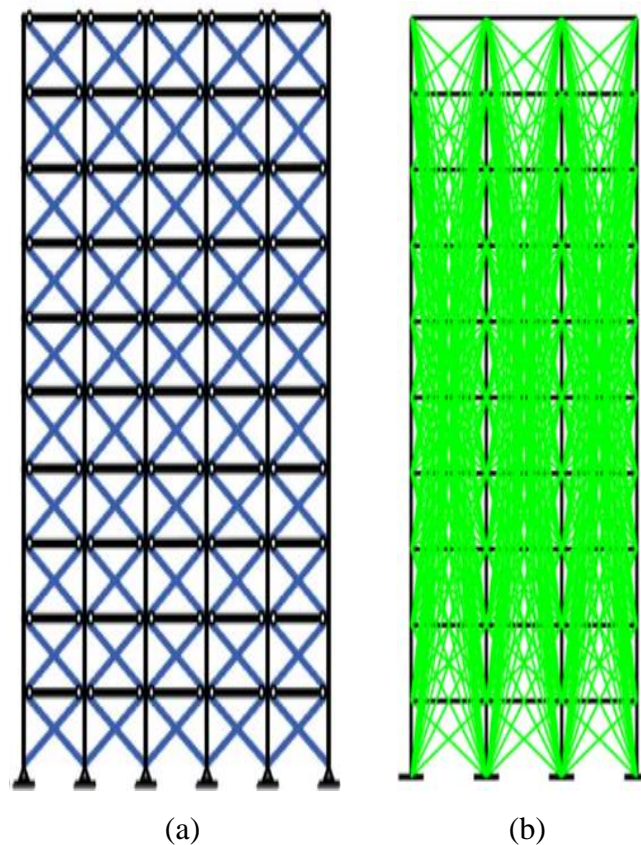
Bresing Konvensional Model 1			Bresing Konvensional Model 2			Bresing Optimasi Topologi Model 1			Bresing Optimasi Topologi Model 2		
Lantai		Perpindahan	Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan	
Base	$U(m)$	0	Base	$U(m)$	0	Base	$U(m)$	0	Base	$U(m)$	0
	$V(m)$	0		$V(m)$	0		$V(m)$	0		$V(m)$	0
	$\theta(rad)$	0		$\theta(rad)$	0		$\theta(rad)$	0		$\theta(rad)$	0
1	$U(m)$	0.000812	1	$U(m)$	0.003106	1	$U(m)$	0.000734	1	$U(m)$	0.010038
	$V(m)$	0.000942		$V(m)$	5.67E-05		$V(m)$	0.000763		$V(m)$	0.000121
	$\theta(rad)$	-0.00026		$\theta(rad)$	-0.00128		$\theta(rad)$	-0.00036		$\theta(rad)$	-0.00383
2	$U(m)$	0.001765	2	$U(m)$	0.010392	2	$U(m)$	0.00284	2	$U(m)$	0.028067
	$V(m)$	0.001917		$V(m)$	0.000123		$V(m)$	0.001681		$V(m)$	0.000257
	$\theta(rad)$	-0.00026		$\theta(rad)$	-0.00215		$\theta(rad)$	-0.00059		$\theta(rad)$	-0.00434
3	$U(m)$	0.003123	3	$U(m)$	0.021668	3	$U(m)$	0.005359	3	$U(m)$	0.040612
	$V(m)$	0.002816		$V(m)$	0.000193		$V(m)$	0.002705		$V(m)$	0.000413
	$\theta(rad)$	-0.00039		$\theta(rad)$	-0.00307		$\theta(rad)$	-0.00063		$\theta(rad)$	-0.00169
4	$U(m)$	0.004835	4	$U(m)$	0.036348	4	$U(m)$	0.008011	4	$U(m)$	0.03973
	$V(m)$	0.003544		$V(m)$	0.000259		$V(m)$	0.003728		$V(m)$	0.000576
	$\theta(rad)$	-0.00046		$\theta(rad)$	-0.00366		$\theta(rad)$	-0.00066		$\theta(rad)$	0.001458
5	$U(m)$	0.006837	5	$U(m)$	0.05395	5	$U(m)$	0.010688	5	$U(m)$	0.029983
	$V(m)$	0.004225		$V(m)$	0.000331		$V(m)$	0.004281		$V(m)$	0.000787
	$\theta(rad)$	-0.00053		$\theta(rad)$	-0.00424		$\theta(rad)$	-0.00062		$\theta(rad)$	0.001489
6	$U(m)$	0.009072	6	$U(m)$	0.073892	6	$U(m)$	0.013154	6	$U(m)$	0.028972
	$V(m)$	0.004726		$V(m)$	0.000395		$V(m)$	0.004833		$V(m)$	0.001001
	$\theta(rad)$	-0.00058		$\theta(rad)$	-0.00452		$\theta(rad)$	-0.00069		$\theta(rad)$	-0.00021

Tabel 4.19: *Lanjutan*

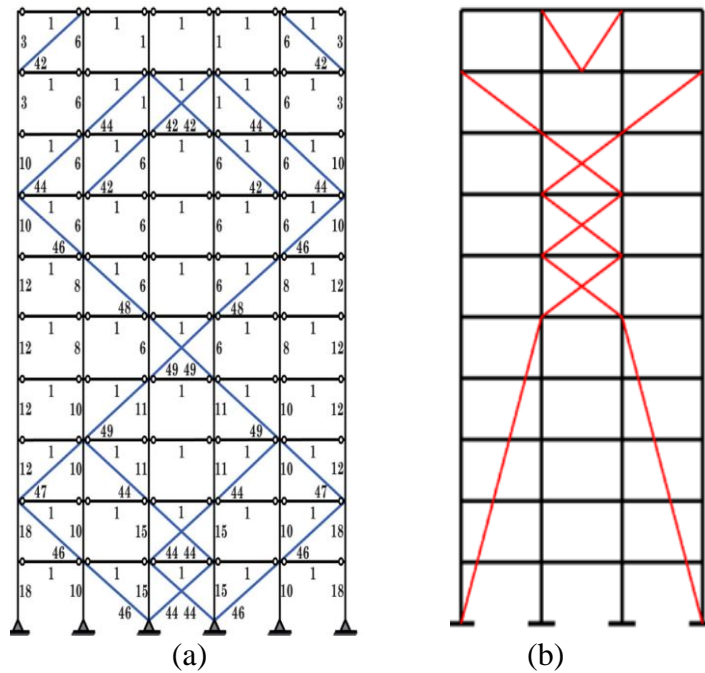
Bresing Konvensional Model 1			Bresing Konvensional Model 2			Bresing Optimasi Topologi Model 1			Bresing Optimasi Topologi Model 2		
Lantai		Perpindahan	Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan	
7	$U(m)$	0.011484	7	$U(m)$	0.095701	7	$U(m)$	0.016651	7	$U(m)$	0.029194
	$V(m)$	0.005185		$V(m)$	0.000472		$V(m)$	0.005621		$V(m)$	0.001306
	$\theta(rad)$	-0.00061		$\theta(rad)$	-0.00472		$\theta(rad)$	-0.00094		$\theta(rad)$	-0.00037
8	$U(m)$	0.013998	8	$U(m)$	0.118771	8	$U(m)$	0.020244	8	$U(m)$	0.029604
	$V(m)$	0.00546		$V(m)$	0.000533		$V(m)$	0.005727		$V(m)$	0.001611
	$\theta(rad)$	-0.00063		$\theta(rad)$	-0.00458		$\theta(rad)$	-0.00073		$\theta(rad)$	0.001296
9	$U(m)$	0.016565	9	$U(m)$	0.142526	9	$U(m)$	0.022493	9	$U(m)$	0.031341
	$V(m)$	0.005621		$V(m)$	0.000592		$V(m)$	0.005862		$V(m)$	0.002005
	$\theta(rad)$	-0.00064		$\theta(rad)$	-0.00575		$\theta(rad)$	-0.00063		$\theta(rad)$	-0.00842
10	$U(m)$	0.019128	10	$U(m)$	0.166076	10	$U(m)$	0.025539	10	$U(m)$	0.035268
	$V(m)$	0.005673		$V(m)$	0.00063		$V(m)$	0.005997		$V(m)$	0.001446
	$\theta(rad)$	-0.00063		$\theta(rad)$	0.000158		$\theta(rad)$	-0.00082		$\theta(rad)$	-0.00037

4.8. Perbandingan Hasil Optimasi Topologi Diskrit dengan Penelitian Sebelumnya

Pada subab ini membahas hasil penelitian sebelumnya sebagai perbandingan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan. Penelitian yang dibandingkan adalah penelitian yang dilakukan oleh Gholizadeh & Ebadijalal, 2018 yang meneliti sistem lateral bresing menggunakan optimasi topologi diskrit pada struktur baja 10 lantai dengan metode *Center of mass optimization*. Pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 desain domain struktur penelitian sebelumnya dan hasil optimasi topologi diskrit dimana pemodelan struktur sebagai berikut.



Gambar 4.16: Desain domain struktur baja 10 lantai (a) Struktur utama penelitian sebelumnya, (b) Struktur utama penelitian yang telah dilakukan. (Gholizadeh & Ebadijalal, 2018).



Gambar 4.17: Perbandingan hasil penelitian optimasi topologi diskrit
 (a) Struktur baja 10 lantai penelitian sebelumnya (b) Struktur baja 10 lantai yang telah dilakukan. (Gholizadeh & Ebadijalal, 2018).

Perbandingan hasil optimasi topologi diskrit yang dilakukan oleh Gholizadeh & Ebadijalal, 2018 dengan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Sistem lateral bresing dari hasil penelitian Gholizadeh & Ebadijalal, 2018 tidak optimal. Hal ini disebabkan oleh:
 - a. Penempatan sistem lateral bresing yang tidak optimal.
 - b. Elemen sistem lateral bresing tidak optimal dan tidak efektif.
2. Pola yang dihasilkan pada kedua penelitian yang dilakukan berbeda.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh sebagai berikut :

1. Keunggulan dari proses optimasi topologi sistem lateral bresing pada penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut :
 - a) Optimasi topologi dapat mengeliminasi elemen yang tidak efektif serta menjaga struktur dengan simpangan maksimum yang sesuai dengan batasan yang ditentukan.
 - b) Optimasi topologi dapat menentukan aliran gaya yang optimal pada struktur.
2. Sistem lateral bresing yang menggunakan optimasi topologi lebih optimal dan efektif dibandingkan dengan sistem lateral bresing konvensional, dimana perbandingan *rasio panjang sistem lateral bresing* dan *rasio simpangan maksimum* dengan hasil optimasi topologi model 2 adalah sebagai berikut:
 - a) Sistem lateral bresing konvensional model 1
 - Pada arah x , 5,6 kali lebih panjang dan 0,5 kali lebih kecil.
 - Pada arah y , 3,9 kali lebih panjang dan 0,5 kali lebih kecil.
 - b) Sistem lateral bresing konvensional model 2
 - Pada arah x , 1,9 kali lebih panjang dan sebesar 3,7 lebih besar.
 - Pada arah y , 1,3 kali lebih panjang dan sebesar 4,7 lebih besar.
3. Pengujian optimasi topologi diskrit dengan perbedaan jumlah desain domain dimana jumlah desain domain model 2 lebih banyak dari model 1. Hasil pengujian adalah sebagai berikut :
 - a) Hasil optimasi topologi model 2 lebih optimal daripada model 1, dimana *rasio panjang sistem lateral bresing* dan *rasio simpangan maksimum* model 1 terhadap model 2 adalah sebagai berikut:
 - Pada arah x , 1,9 kali lebih panjang dan sebesar 0,9 lebih kecil.
 - Pada arah y , 1,3 kali lebih panjang dan sebesar 0,7 lebih kecil.

- b) Hasil optimasi topologi lebih optimal apabila jumlah kemungkinan elemen dan penempatan desain domain lebih banyak.

5.2. Saran

Penelitian ini hanya menganalisa dan menentukan tata letak atau konfigurasi bresing yang optimal terhadap struktur portal gedung 10 lantai. Diperlukan penelitian lanjut optimasi topologi pada gedung diatas 10 lantai . Diharapkan tugas akhir ini dapat diteruskan atau dievaluasi kembali dalam rangka mendapatkan hasil yang optimal dan dapat dilakukan perbandingan terhadap hasil yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Allaire, G. (1997). The Homogenization Method for Topology and Shape Optimization. *Topology Optimization in Structural Mechanics*, 101–133.
- Atrek E. (1989). SHAPE: A program for shape optimization of continuum structures. *Computer Aided Design of Structures*, 135–144.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung SNI 1726:2019. In *Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*.
- Beckers, M., & Fleury, C. (1997). Topology optimization involving discrete variables. In *Proceedings of the second world congress of Structural and multidisciplinary optimization: {M}ay 26--30 1997, {Z}akopane, {P}oland*.
- Bendsoe, M. P., & Kikuchi, N. (1988). Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 71(2), 197–224.
- Bendsøe, M. P. (1989). Optimal shape design as a material distribution problem. *Structural Optimization*, 1(4), 193–202. <https://doi.org/10.1007/BF01650949>
- Bendsøe, M. P., & Kikuchi, N. (1988). Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 71(2), 197–224. [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(88\)90086-2](https://doi.org/10.1016/0045-7825(88)90086-2)
- Bourdin, B., & Chambolle, A. (2003). Design-dependent loads in topology optimization. *ESAIM - Control, Optimisation and Calculus of Variations*, 9, 19–48. <https://doi.org/10.1051/cocv:2002070>
- Burger, M., Hackl, B., Ring, W. (2004). Incorporating topological derivatives into level set methods. *Journal of Computational Physics*, 194(1), 344–362.
- Deaton, J. D., & Grandhi, R. V. (2014). A survey of structural and multidisciplinary continuum topology optimization: Post 2000. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 49(1), 1–38. <https://doi.org/10.1007/s00158-013-0956-z>
- Eschenauer, H. A., Kobelev, V. V., & Schumacher, A. (1994). Bubble Method for Topology and Shape Optimization of Structures. *Structural Optimization*, 8(1), 42–51.
- Gholizadeh, S., & Ebadijalal, M. (2018). Performance based discrete topology optimization of steel braced frames by a new metaheuristic. *Advances in Engineering Software*, 123(June), 77–92. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2018.06.002>
- Huang, X., & Xie, Y. (2007). Convergent and mesh-independent solutions for the bi-directional evolutionary structural optimization method. *Finite Elements in Analysis and Design*, 43(14), 1039–1049.
- Huang, J., & Wang, Z. (2011). Topology optimization of bracing systems for multistory steel frames under earthquake loads. *Advanced Materials Research*, 255–260, 2388–2393. [https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.255-](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.255-255-260)

- Huang, X., & Xie, Y. (2010). A further review of ESO type methods for topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 41, 671–683. <https://doi.org/10.1007/s00158-010-0487-9>
- Jia, H. P., Beom, H. G., Wang, Y. X., Lin, S., & Liu, B. (2011). Evolutionary level set method for structural topology optimization. *Computers & Structures*, 89(5–6), 445–454.
- Kikuchi N, & Suzuki K. (1991). Structural optimization of a linearly elastic structure using the homogenization method. *Composite Media and Homogenization Theory*, 183–204.
- Liang, Q. Q. (2007). Effects of continuum design domains on optimal bracing systems for multistory steel building frameworks. *Proceedings of the Fifth Australasian Congress on Applied Mechanics*, 794–799. <https://www.researchgate.net/publication/43476973>
- Luo, Z., Chen, L., Yang, J., Zhang, Y., & Abdel-Malek, K. (2005). Compliant mechanism design using multi-objective topology optimization scheme of continuum structures. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 30(2), 142–154.
- Mahyunirsyah, & Irwan, K. (2004). 2014, Topology optimization on lateral bracing system in multistory building.pdf. *Topology Optimization on Lateral Bracing System in Multistory Building*.
- Mei, L., & Wang, Q. (2021). Structural Optimization in Civil Engineering: A Literature Review. *Buildings* 2021, 11(2), 66, 11(2). <https://doi.org/10.3390/buildings11020066>
- Mijar, A. R., Swan, C. C., Arora, J. S., & Kosaka, I. (1998). Continuum Topology Optimization for Concept Design of Frame Bracing Systems. *Journal of Structural Engineering*, 124(5), 541–550. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(1998\)124:5\(541\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1998)124:5(541))
- Misztal, M. K., & Bærentzen, J. A. (2012). Topology-adaptive interface tracking using the deformable simplicial complex. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 31(3), 24.
- Mlejnek HP, & Schirmacher R. (1993). An engineering approach to optimal material distribution and shape finding. *Comp Meth Appl Mech Eng*.
- Osher, S., & Sethian, J. A. (1988). Fronts Propagating with Curvature-Dependent Speed - Algorithms Based on Hamilton-Jacobi Formulations. *Journal of Computational Physics*, 79(1), 12–49.
- Querin, O., Steven, G., & Xie, Y. (2000). Evolutionary structural optimisation using an additive algorithm. *Finite Elements in Analysis and Design*, 34(3–4), 291–308.
- Querin, O., Young, V., Steven, G., & Xie, Y. (2000). Computational efficiency and validation of bi-directional evolutionary structural optimisation. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 189(2), 559–573.

- Querin, O. M., Steven, G. P., & Xie, Y. M. (1998). Evolutionary structural optimisation (ESO) using a bidirectional algorithm. *Engineering Computations (Swansea, Wales)*, 15(8), 1031–1048. <https://doi.org/10.1108/02644409810244129>
- Querin, O. M., Victoria, M., Alonso, C., Ansola, R., & Martí, P. (2017). *Topology Design Methods for Structural Optimization*. Elsevier Ltd.
- Rozvany, Bendsoe, M., & Kirsch, U. (1995). Layout optimization of structures. *American Society of Mechanical Engineers*, 48(2), 41–119.
- Rozvany, G. I. N. (2001). Aims, scope, methods, history and unified terminology of computer aided topology optimization in structural mechanics. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 90–108.
- Siddiqi, Z., Hameed, R., & Akmal, U. (2014). Comparison of Different Bracing Systems for Tall Buildings. *Pak. J. Engg. & Appl. Sci.*, 14(March 2015), 17–26.
- SNI 1727:2020. (2020). SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. In *BSN* (Issue 8).
- Sotiropoulos, S., & Lagaros, N. D. (2022a). Optimum topological bracing design of tall steel frames subjected to dynamic loading. *Computers and Structures*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2021.106705>
- Sotiropoulos, S., & Lagaros, N. D. (2022b). Optimum topological bracing design of tall steel frames subjected to dynamic loading. *Computers and Structures*, 259, 106705. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2021.106705>
- Stolpe, M., & Svanberg, K. (2001). An alternative interpolation scheme for minimum compliance topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 22(2), 116–124.
- Tyflopoulos, E., Flem, D. T., Steinert, M., & Olsen, A. (2018). State of the art of generative design and topology optimization and potential research needs. *Proceedings of NordDesign: Design in the Era of Digitalization, NordDesign 2018, August*.
- Van Miegroet, L., & Duysinx, P. (2007). Stress concentration minimization of 2D filets using X FEM and level set description. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 33(4–5), 425–438.
- Wallin, M., & Ristinmaa, M. (2014). Boundary effects in a phase-field approach to topology optimization. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 278, 145–159.
- Xie, Y. M., & Steven, G. P. (1993). A simple evolutionary procedure for structural optimization. *Computers & Structures*, 49(5), 885–896.
- Zhou, M., & Rozvany, G. I. N. (1991). The COC algorithm, Part II: Topological, geometrical and generalized shape optimization. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 89(1), 309–336. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0045-7825\(91\)90046-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0045-7825(91)90046-9)
- Zhou, M., & Rozvany, G. I. N. (2001). On the validity of ESO type methods in

topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 21(1), 80–83. <https://doi.org/10.1007/s001580050170>

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama lengkap : Muhammad Regiansya
Tempat tanggal lahir : Takengon, 03 November 2001
Jenis kelamin : Laki-laki
Alamat : Jalan Raya Menteng Gg. Rahayu No. 70
Sumatera Utara
Agama : Islam
Nama Ayah : Syafril
Nama Ibu : Devi Novrianti
No. Hp : 0895707571166
Email : regiansya777@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

SD Perguruan Islam Amalia	2007 – 2013
MTS Pondok Pesantren Mawaridussalam	2013 – 2015
MTS Swasta Al-Ulum Medan	2015 – 2016
SMA Swasta Al-Ulum Medan	2016 – 2019
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2019 – Selesai

