

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

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

Disusun Oleh:

MUHAMAD AKBAR
NPM: 1907210148



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

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhamad Akbar
NPM : 1907210148
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Optimasi Topologi Kontinum Sistem Lateral Bresing Pada Gedung Lantai Banyak
Bidang Ilmu : Struktur

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 : Muhamad Akbar
NPM : 1907210148
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Optimasi Topologi Kontinum Sistem Lateral Bresing Pada Gedung Berlantai Banyak
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Pembanding 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, 8 Maret 2024

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



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

Dosen Pembanding I

Assoc. Prof. Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc., PhD

Dosen Pembanding II

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

Ketua Prodi Teknik Sipil



Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Muhamad Akbar
Tempat, Tanggal Lahir : Tanjung Morawa, 27 Maret 2001
NPM : 1907210148
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul : **“Optimasi Topologi Kontinum 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 kesarjanaan 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, 8 Maret 2024

Saya yang menyatakan,


Muhamad Akbar
Muhamad Akbar

ABSTRAK

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

Muhamad Akbar
1907210148
Dr. Mahyunirsyah, S.T., M.T

Gedung bertingkat sangat rentan terhadap gaya lateral yang terjadi akibat gempa bumi. Gaya lateral ini dapat menyebabkan deformasi struktur yang mengakibatkan keruntuhan gedung. Perancangan struktur khusus dalam pemikulan gaya lateral diperlukan, salah satu solusi yang dapat digunakan adalah sistem lateral bresing yang berguna untuk meningkatkan kekuatan dan kestabilan gedung tersebut. Pada umumnya penempatan sistem lateral bresing pada perancangan gedung bertingkat dilakukan dengan *trial-and-error* dan berdasarkan pengalaman sebelumnya. Hal ini tidak efektif jika dilakukan pada perancangan gedung tinggi dengan sistem lateral bresing yang cukup banyak. Perlu penelitian lebih lanjut suatu metode yang dapat menentukan konfigurasi sistem lateral bresing yang optimal, salah satu solusinya adalah optimasi topologi. Dalam tugas akhir ini akan menerapkan optimasi topologi kontinum untuk mendapatkan sistem lateral bresing yang optimal pada gedung struktur baja 10 lantai dengan membatasi perpindahan lateral maksimum antar lantai melalui program analisis struktur dan juga dibandingkan dengan sistem lateral bresing konvensional. Hasil optimasi topologi pada tugas akhir ini mendapatkan hasil yang lebih optimal dibandingkan dengan sistem lateral bresing konvensional. Perbandingan sistem lateral bresing konvensional dengan sistem lateral bresing hasil optimasi topologi pada model 1 arah- x panjang total bresing 5,17 kali lebih panjang dan kekakuannya 2,21 lebih besar dan pada arah- y panjang total bresing 4,12 kali lebih panjang dan kekakuannya 1,96 kali lebih besar. Pada model 2 arah- x panjang total bresing 1,72 kali lebih panjang dan kekakuannya 0,41 kali lebih kecil dan pada arah- y panjang total bresing 1,37 kali lebih panjang dan kekakuannya 0,26 kali lebih kecil.

Kata kunci : Gempa, Sistem lateral bresing, Optimasi topologi kontinum

ABSTRACT

CONTINUUM TOPOLOGY OPTIMIZATION OF LATERAL BRACING SYSTEMS IN MULTISTORY BUILDING

(Literature Study)

Muhamad Akbar

1907210148

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

Multi-story buildings are very vulnerable to lateral forces that occur due to earthquakes. These lateral forces can cause structural deformations that result in building collapse. Special structural design in lateral force loading is required, one solution that can be used is a lateral bracing system that is useful for increasing the strength and stability of the building. In general, the placement of lateral bracing systems in the design of multi-story buildings is done by trial and error and based on previous experience. This is not effective if done in the design of tall buildings with a large number of lateral bracing systems. Further research is needed on a method that can determine the optimal configuration of the lateral bracing system, one solution is topology optimization. In this final project, we will apply continuum topology optimization to obtain the optimal lateral bracing system in a 10-story steel structure building by limiting the maximum lateral displacement between floors through a structural analysis program and also compare it with a conventional lateral bracing system. The topology optimization results in this final project obtained more optimal results compared to the conventional lateral bracing system. Comparison of conventional lateral bracing system with topology optimization lateral bracing system in model 1 x-direction the total length of braces is 5.17 times longer and the stiffness is 2.21 times greater and in the y-direction the total length of braces is 4.12 times longer and the stiffness is 1.96 times greater. In model 2, in the x-direction, the total length of the brace is 1.72 times longer and the stiffness is 0.41 times smaller, and in the y-direction, the total length of the brace is 1.37 times longer and the stiffness is 0.26 times smaller.

Keywords : Earthquake, Lateral bracing systems, Continuum topology optimization

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 Kontinum Sistem Lateral Bresing 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 Assoc. Prof. Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembanding I sekaligus sebagai Wakil Dekan I Fakultas Teknik yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T., selaku Dosen Pembanding II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T., selaku Sekretaris 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. 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, 8 Maret 2024

Penulis

Muhamad Akbar

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	II
LEMBAR PENGESAHAN	III
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	IV
ABSTRAK	V
<i>ABSTRACT</i>	VI
KATA PENGANTAR	VII
DAFTAR ISI	IX
DAFTAR TABEL	XIII
DAFTAR GAMBAR	XIV
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	XVI
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Sistem lateral bresing	6
2.2. Sistem pembebanan	8
2.2.1. Beban mati	8
2.2.2. Beban hidup	8
2.2.3. Beban gempa	9
2.2.4. Berat seismik efektif	9
2.2.5. Kombinasi pembebanan	9
2.3. Tata cara perencanaan bangunan tahan gempa	10
2.3.1. Penentuan simpang antar tingkat	10
2.3.2. Faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan	12
2.3.1. Penentuan kelas situs	13
	ix

2.3.2. Penentuan parameter percepatan terpetakan	14
2.3.3. Penentuan koefisien situs	16
2.3.4. Penentuan parameter spektrum respons percepatan	17
2.3.5. Penentuan parameter spektrum respons percepatan	17
2.3.6. Penentuan spektrum respons percepatan desain	17
2.3.7. Penentuan spektrum respons percepatan desain	19
2.3.8. Penentuan perioda fundamental struktur	20
2.3.9. Penentuan koefisien respons seismik	20
2.3.10. Penentuan gaya geser dasar seismik	21
2.3.11. Penentuan distribusi vertikal gaya gempa	21
2.4. Metode Elemen Hingga	21
2.4.1. Elemen aksial	21
2.4.2. Elemen lentur	22
2.4.3. Elemen portal bidang	23
2.4.4. Elemen Q4	25
2.5. Optimasi struktur	28
2.6. Optimasi topologi	29
2.6.1. <i>State of the art</i> optimasi topologi	29
2.6.2. Fungsi objektif dan desain kriteria optimasi topologi	31
2.6.3. Desain domain	31
2.6.4. Langkah-langkah optimasi topologi kontinum	32
2.7. Beberapa penelitian optimasi topologi pada sistem lateral bresing	33
BAB 3 METODE PENELITIAN	36
3.1. Umum	36
3.2. Data Struktur	37
3.2.1. Data Perencanaan Struktur	37
3.2.2. Data Pembebanan dan Material	39
3.3. Proses optimasi dimensi struktur	40
3.4. Optimasi topologi sistem lateral bresing	41
3.4.1. Fungsi objektif	41
3.4.2. Analisis sensitivitas	42

3.4.3. Proses optimasi topologi kontinum sistem lateral bresing	45
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1. Perhitungan Pembebanan	46
4.1.1. Perhitungan pembebanan pada pelat	46
4.1.2. Perhitungan distribusi beban pada balok	47
4.2. Optimasi dimensi penampang struktur	49
4.3. Perhitungan sistem pembebanan dalam 2 dimensi	50
4.4. Perhitungan beban gempa statik ekivalen	56
4.4.1. Berat keseluruhan bangunan	56
4.4.2. Koefisien situs untuk desain seismik F_a dan F_v	58
4.4.3. Parameter spektrum respons percepatan S_{MS} dan S_{MI}	58
4.4.4. Parameter percepatan spektral desain S_{DS} dan S_{DI}	58
4.4.5. Parameter percepatan spektral desain pada periode 1 detik S_{DI}	58
4.4.6. Spektrum respons desain	58
4.4.7. Faktor keutamaan gempa, I_e	60
4.4.8. Periode fundamental struktur, T	60
4.4.9. Gaya geser dasar seismik, V	60
4.4.10. Distribusi gaya gempa lateral, F_x	60
4.4.11. Simpangan maksimum akibat gaya gempa dengan Matlab	62
4.5. Optimasi topologi kontinum sistem lateral bresing	63
4.5.1. Hasil optimasi topologi kontinum	63
4.5.2. Interpretasi hasil	67
4.6. Sistem lateral bresing konvensional	68
4.7. Perbandingan hasil sistem lateral bresing dengan optimasi topologi kontinum dan sistem lateral bresing konvensional	70
4.8. Penelitian sebelumnya	73
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	76
5.1. Kesimpulan	76
5.2. Saran	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Berat material konstruksi (SNI 1727, 2020).	8
Tabel 2.2: Beban hidup pada lantai dan atap gedung (SNI 1727, 2020).	9
Tabel 2.3: Simpangan antar tingkat izin (SNI 1726, 2019).	11
Tabel 2.4: Kategori risiko (SNI 1726, 2019).	12
Tabel 2.5: Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726, 2019).	13
Tabel 2.6: Klasifikasi situs (SNI 1726, 2019).	13
Tabel 2.7: Koefisien situs, F_a (SNI 1726, 2019).	16
Tabel 2.8: Koefisien situs, F_v (SNI 1726, 2019).	17
Tabel 2.9: Faktor R , C_d dan Ω_o untuk sistem penahan gaya gempa (SNI 1726, 2019).	19
Tabel 2.10: Nilai parameter periode metode C_t dan x (SNI 1726, 2019).	20
Tabel 2.11: Beberapa penelitian optimasi topologi pada sistem lateral bresing.	34
Tabel 4.1: Perhitungan distribusi beban mati dan hidup pada balok.	48
Tabel 4.2: Dimensi kolom.	49
Tabel 4.3: Dimensi balok.	49
Tabel 4.4: Perhitungan beban mati dan hidup terpusat pada lantai.	52
Tabel 4.5: Perhitungan jumlah beban mati dan hidup terpusat.	54
Tabel 4.6: Berat bangunan per lantai.	57
Tabel 4.7: Spektrum respon desain.	59
Tabel 4.8: Distribusi beban gempa.	61
Tabel 4.9: Presentasi jumlah elemen efektif dan simpangan selama iterasi.	63
Tabel 4.10: Presentasi jumlah elemen efektif dan simpangan selama iterasi.	65
Tabel 4.11: Perbandingan sistem lateral bresing.	70
Tabel 4.12: Perbandingan perpindahan tiap lantai arah-x.	70
Tabel 4.13: Perbandingan perpindahan tiap lantai arah-y.	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Rangka bresing konsentrik (Siddiqi dkk., 2014).	6
Gambar 2.2: Rangka bresing eksentrik (Siddiqi dkk., 2014).	7
Gambar 2.3: Perilaku bresing terhadap gaya lateral (Siddiqi dkk., 2014).	7
Gambar 2.4: Penentuan simpangan antar tingkat (SNI 1726, 2019).	11
Gambar 2.5: Peta gerak tanah seismik untuk S_s (SNI 1726, 2019).	15
Gambar 2.6: Peta gerak tanah seismik untuk S_I (SNI 1726, 2019).	15
Gambar 2.7: Peta transisi periode panjang T_L (SNI 1726, 2019).	16
Gambar 2.8: Spektrum respon desain (SNI 1726, 2019).	18
Gambar 2.9: Elemen aksial penampang prismatic (Mahyunirsyah, 2004).	22
Gambar 2.10: Elemen lentur pada penampang prismatic (Mahyunirsyah, 2004).	22
Gambar 2.11: Elemen portal bidang dalam sumbu lokal (Mahyunirsyah, 2004).	23
Gambar 2.12: Elemen portal bidang dengan sumbu global (Mahyunirsyah, 2004).	23
Gambar 2.13: Elemen Q4 (Mahyunirsyah, 2004).	25
Gambar 2.14: Fungsi bentuk elemen Q4 (Mahyunirsyah, 2004).	26
Gambar 2.15: Perbedaan metode optimasi struktur (a) Optimasi dimensi (b) Optimasi bentuk (c) Optimasi topologi (Alexander dkk., 2015).	29
Gambar 2.16: Desain domain (a) Kontinum (b) Diskrit.	32
Gambar 2.17: (a) Desain domain hasil optimasi topologi, (b) Interpretasi hasil optimasi topologi (Quan dkk., 2000).	33
Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.	36
Gambar 3.2: Pemodelan gedung perkantoran 10 lantai.	37
Gambar 3.3: Denah gedung.	38
Gambar 3.4: Gambar Struktur (a) Portal memanjang arah-x, (b) Portal melintang arah-y.	39
Gambar 3.5: Desain domain pada sistem lateral bresing (a) Desain domain arah-y (b) Desain domain arah-x.	42
Gambar 3.6: Diagram alir proses optimasi topologi.	45
Gambar 4.1: Sketsa distribusi beban pada balok.	47

Gambar 4.2: Distribusi beban mati dan hidup terpusat ke portal memanjang arah- x .	50
Gambar 4.3: Distribusi beban mati dan hidup terpusat ke portal melintang arah- y .	51
Gambar 4.4: Grafik respons spektrum desain.	59
Gambar 4.5: Beban gempa pada struktur (a) Arah- x (b)Arah- y .	62
Gambar 4.6: Grafik perubahan simpangan selama iterasi.	63
Gambar 4.7: Proses optimasi topologi arah- x .	64
Gambar 4.8: Grafik perubahan simpangan selama iterasi.	65
Gambar 4.9: Proses optimasi topologi arah- y .	66
Gambar 4.10: Interpretasi hasil (a) arah- x (b) arah- y .	67
Gambar 4.11: Bresing konvensional model 1 (a) Arah- x (b) Arah- y .	68
Gambar 4.12: Bresing konvensional model 2.	69
Gambar 4.13: Struktur baja 12 lantai (a) Struktur utama, (b) Struktur utama dengan desain domain (Huang dan Wang, 2011).	73
Gambar 4.14: Proses optimasi topologi (Huang dan Wang, 2011).	74
Gambar 4.15: Perbandingan hasil penelitian optimasi topologi kontinum (a) Struktur baja 10 lantai (b) Struktur baja 12 lantai (Huang dan Wang, 2011).	74

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Arti lambang

- A : luas penampang struktur (m^2)
- A^e : luas elemen (m^2)
- C_s : resultan tegangan baja tulangan tekan
- C_{sg} : koefisien respons seismik
- C_t : koefisien periode getar alami
- D : beban mati
- E : pengaruh gempa atau momen dan gaya dalam yang terkait
- F_a : faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek
- F_i : beban gempa nominal statik ekuivalen pada lantai ke- i (kN)
- F_v : faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik
- f'_c : kuat tekan beton (MPa)
- f_y : kuat tarik atau kuat leleh baja tulangan longitudinal (MPa)
- h : tinggi penampang struktur (mm)
- 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
- Δ_{li} : Simpangan Izin antar lantai
- Δ_{gi} : Simpangan Izin gedung
- P_D : beban mati terpusat (kg)
- P_{DEks} : beban mati terpusat sisi luar (kg)
- P_{DInt} : beban mati terpusat sisi dalam (kg)
- P_L : beban hidup terpusat (kg)
- P_{LEks} : beban hidup terpusat sisi luar (kg)
- P_{LInt} : beban hidup terpusat sisi dalam (kg)
- P_{Dk} : beban terpusat kolom (kg)

- P_{Db} : beban terpusat balok (kg)
 P_{DL} : beban mati terpusat pada pelat (kg)
 P_{LL} : beban hidup terpusat pada pelat (kg)
 q_D : beban mati tipe a atau b pada pelat (kg/m)
 q_L : beban hidup tipe a atau b pada pelat (kg/m)
 R : koefisien modifikasi respons
 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)
 V : gaya geser dasar seisemik (kN)
 W : beban angin
 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

Gedung bertingkat sangat rentan terhadap gaya lateral yang terjadi akibat gempa bumi. Gaya lateral ini dapat menyebabkan deformasi struktur dan bahkan keruntuhan gedung. Oleh karena itu, perencanaan dan konstruksi gedung bertingkat harus memperhatikan faktor kekuatan dan kestabilan terhadap gaya lateral. Permasalahan dalam menangani gaya lateral pada gedung bertingkat diperlukan solusi khusus yang dapat menahan gaya tersebut dengan aman. Sistem lateral bresing merupakan salah satu solusi yang umum digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan kestabilan gedung bertingkat terhadap gaya lateral.

Sistem lateral bresing adalah sistem atau elemen dalam struktur bangunan yang berfungsi untuk menahan gaya lateral yang terjadi pada struktur. Sistem ini mampu menahan beban dalam kondisi tekan maupun tarik sehingga membuat struktur menjadi kaku secara lateral. Hal ini membuat sistem lateral bresing efisien dalam menahan gaya lateral serta dapat menjaga agar simpangan horizontal yang terjadi tidak melebihi dari simpangan yang diijinkan.

Pada umumnya penempatan sistem lateral bresing pada perancangan gedung bertingkat dilakukan dengan *trial-and-error* dan berdasarkan pengalaman sebelumnya. Hal ini tidak efektif jika dilakukan pada perancangan gedung tinggi dengan sistem lateral bresing yang cukup banyak. Penyelesaian permasalahan ini diperlukan suatu metode optimasi yang dapat menentukan konfigurasi sistem lateral bresing yang optimal, penelitian yang berkembang pada saat ini untuk meninjau hal tersebut adalah optimasi topologi.

Optimasi topologi sistem lateral bresing dapat membuat struktur menjadi lebih efisien dan kinerja yang lebih baik dengan cara mengoptimalkan konfigurasi bresing. Dalam penentuan penempatan sistem lateral bresing ini pada optimasi topologi memerlukan desain domain yaitu lokasi yang ditinjau untuk penempatan sistem lateral bresing. Ada dua tipe desain domain dalam optimasi topologi yaitu dalam bentuk diskrit dan kontinum.

Penelitian optimasi topologi sistem lateral bresing kontinum mulai diteliti tahun 1998. Penelitian ini dimulai oleh Mijar dkk., (1998) meneliti optimasi topologi kontinum sistem lateral bresing pada gedung 6 lantai dengan menggunakan material elastis linier, kemudian Huang dan Wang (2011) mengaplikasikan optimasi topologi kontinum dalam merancang tata letak sistem bresing berdasarkan pendekatan berbasis ESO (*Evolutionary Structural Optimization*). Selanjutnya Gomez dkk., (2020) mengusulkan optimasi topologi untuk bangunan yang mengalami gerakan tanah dinamik. Gao dkk., (2022) memformulasikan optimasi topologi seismik berdasarkan metode spektrum respon untuk mengurangi nilai puncak respon dinamik struktur akibat gempa.

Pada tugas akhir ini merupakan studi perencanaan struktur untuk mencari konfigurasi sistem lateral bresing yang optimal pada gedung perkantoran 10 lantai dengan menggunakan metode optimasi topologi kontinum dan struktur baja pada balok dan kolom. Penelitian ini melanjutkan penelitian Mahyunirsyah, (2004) dengan menambahkan kriteria *displacement* serta meninjau sistem lateral bresing pada setiap lantai dan keseluruhan gedung. Untuk itu, penulis akan melakukan optimasi topologi sistem lateral bresing 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 perbandingan sistem lateral bresing konvensional dengan topologi kontinum sistem lateral bresing.
2. Bagaimana sifat material dalam perhitungan struktur.
3. Bagaimana metode perhitungan struktur dan software yang digunakan.
4. Bagaimana metode perhitungan akibat gempa.
5. Bagaimana menentukan penempatan sistem lateral bresing yang optimal.
6. Apakah hasil optimasi topologi sistem lateral bresing dapat memenuhi persyaratan 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. Sistem pembebanan dan perencanaan struktur baja direncanakan berdasarkan:
 - Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung berdasarkan SNI 1727:2020,
 - Beban gempa dan perancangan gedung direncanakan menggunakan Standar Perencanaan Tahan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726:2019.
5. Analisis menggunakan alat bantu berupa program yaitu:
 - SAP2000 untuk perancangan struktur utama.
 - MATLAB untuk optimasi sistem lateral bresing.
6. Perancangan struktur utama hanya memperhitungkan akibat beban mati dan hidup.
7. Struktur pelat lantai menggunakan desain diafragma kaku.
8. Gaya yang ditinjau hanya gaya lateral yaitu gaya gempa yang diidealisasikan sebagai gaya gempa statik ekuivalen.
9. Optimasi topologi digunakan untuk menentukan konfigurasi sistem lateral bresing yang optimal.
10. Optimasi topologi menggunakan desain domain kontinum dengan menghilangkan elemen yang tidak efektif.
11. Desain domain dalam perancangan optimasi topologi menggunakan elemen Q4.

12. Pada tugas akhir ini hanya meninjau sampai dengan konfigurasi sistem lateral bresing gedung yang optimal.
13. Membandingkan simpangan maksimum dan volume antara hasil sistem lateral bresing menggunakan optimasi topologi dengan konvensional.
14. Membandingkan dengan penelitian optimasi topologi kontinum sebelumnya dengan kasus yang sama.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah menerapkan optimasi topologi kontinum sistem lateral bresing yang optimal pada gedung struktur baja 10 lantai dengan membatasi perpindahan lateral maksimum antar lantai.

1.5. Manfaat Penelitian

Dari hasil perencanaan pada pemodelan struktur lateral bresing maka diharapkan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat untuk mengetahui konfigurasi sistem lateral bresing yang optimal (efisien, ekonomis dan aman) dan bagaimana respon sistem lateral bresing tersebut terhadap gaya lateral dari gempa.

1.6. Sistematika Penulisan

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

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini akan menguraikan penjelasan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, ruang lingkup permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang teori yang berhubungan dengan tugas akhir ini agar dapat memberikan gambaran pada permodelan dan metode analisis yang akan digunakan.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini akan menampilkan bagaimana metode penelitian yang digunakan dari awal sampai akhir penelitian dan penjelasan mengenai cara memodelkan dan mendesain struktur sistem lateral bresing yang optimal dengan menggunakan Program Analisa Struktur MatLab dan SAP2000,

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

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari keseluruhan penulisan Tugas Akhir ini dan saran-saran yang dapat diterima penulis agar lebih baik lagi kedepannya.

BAB 2

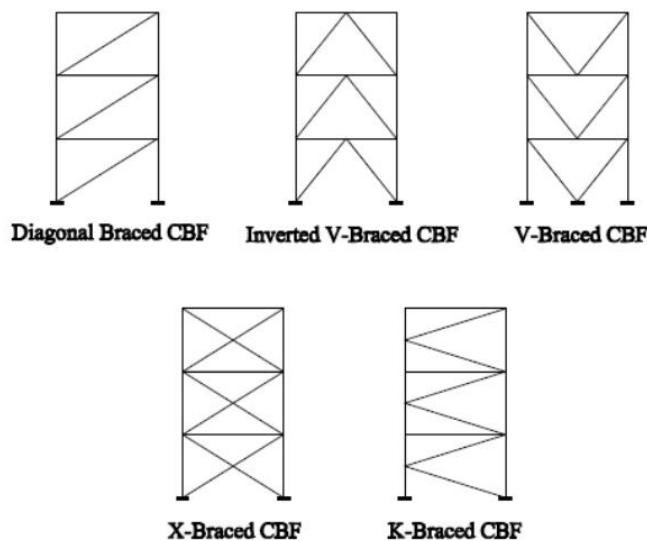
TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas tentang teori-teori, peraturan dan penelitian yang berhubungan dengan penulisan pada tugas akhir ini seperti sistem lateral bresing, sistem pembebanan, struktur tahan gempa, tata cara perencanaan bangunan tahan gempa, metode elemen hingga, optimasi struktur, optimasi topologi, dan optimasi topologi pada sistem lateral bresing.

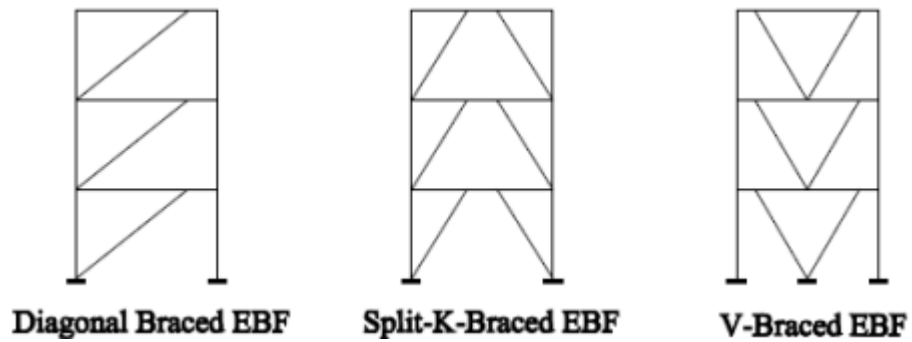
2.1. Sistem lateral bresing

Sistem lateral bresing adalah metode yang efisien dan ekonomis untuk memperkuat struktur terhadap gaya lateral yang diakibatkan oleh angin dan gempa. Sistem lateral bresing terdiri dari kolom dan bresing 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 dkk., 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.



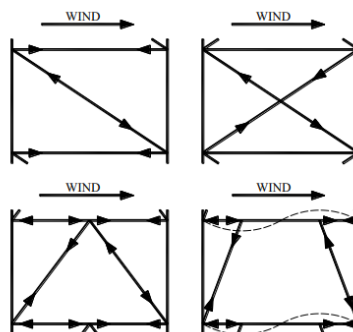
Gambar 2.1: Rangka bresing konsentrik (Siddiqi dkk., 2014).



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

Kelemahan perancangan sistem lateral bresing pada gedung bertingkat saat ini dilakukan dengan *trial-and-error* dan berdasarkan pengalamannya. Hal ini tidak efektif jika dilakukan untuk gedung tinggi dengan sistem lateral bresing yang cukup banyak. Untuk mendapatkan sistem bresing yang optimal pada gedung bertingkat, diperlukan metode optimasi topologi sistem lateral bresing yang efisien.

Desain bangunan tinggi dipengaruhi oleh gaya lateral yang diakibatkan oleh angin dan gempa. Rangka bresing dianggap paling efisien untuk menahan gaya-gaya ini gaya-gaya lateral di kedua arah. Mekanisme untuk menahan geser horizontal dapat dipahami dengan mengikuti jalur geser horizontal di sepanjang rangka. Hal ini dapat dijelaskan dengan mempertimbangkan empat jenis bresing yang mengalami pembebanan lateral seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



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

Dari Gambar 2.3, terlihat bahwa ketika bresing konsentrik mengalami tekanan, bagian horizontalnya akan mengalami tegangan aksial agar tetap seimbang secara lateral. Ini menyebabkan bengkokan dan deformasi yang diperkuat. Dalam kasus

k-bresing, setengah dari elemen penopangnya, baik yang horizontal maupun diagonal, akan mengalami tegangan dan tekanan secara bersamaan. Gaya dan deformasi pada masing-masing elemen yang ditekuk akan berbalik saat bangunan mengalami beban lateral dari arah berlawanan (Siddiqi dkk., 2014).

2.2. Sistem pembebanan

Peraturan pembebanan yang digunakan pada penelitian ini adalah SNI 1727:2020 .

2.2.1. Beban mati

Menurut SNI 1727:2020 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 2.1 dapat dilihat berat material konstruksi yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2.1: 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 2.2: 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 beban induksi 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. $0,9 D + 1,0 E$

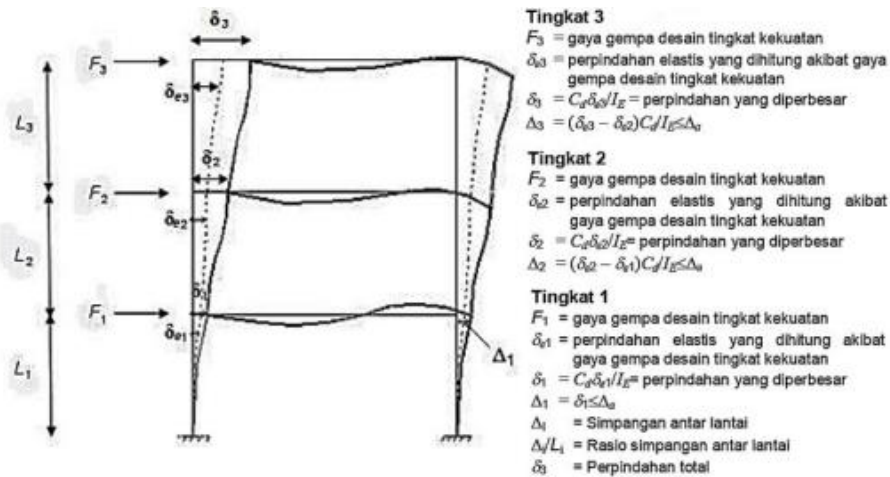
Pengecualian: Faktor beban untuk L pada kombinasi 3 dan 4 diizinkan diambil sama dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila beban hidup desain tak tereduksi (L_o) dalam SNI 1727, lebih kecil atau sama dengan 4,78 kN/m², kecuali garasi atau ruang pertemuan publik.

2.3. Tata cara perencanaan bangunan tahan gempa

Perencanaan suatu konstruksi gedung harus memperhatikan aspek kegempaan, terutama di Indonesia karena merupakan salah satu daerah dengan zona gempa yang tinggi. aspek kegempaan tersebut dianalisis berdasarkan peraturan yang berlaku di negara tersebut dan Indonesia memiliki peraturan sendiri dan peta gempanya. Peraturan yang akan digunakan ialah SNI 1726:2019.

2.3.1. Penentuan simpang 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 2.4: 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 2.5

Simpangan antar tingkat berdasarkan SNI 1726,2019 dapat dijelaskan dalam tabel berikut

Tabel 2.3: 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.	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

2.3.2. 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 (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
<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> <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</p>	III

Tabel 2.4: *Lanjutan.*

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
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	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

2.3.1. Penentuan kelas situs

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplikasi 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 2.6: 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

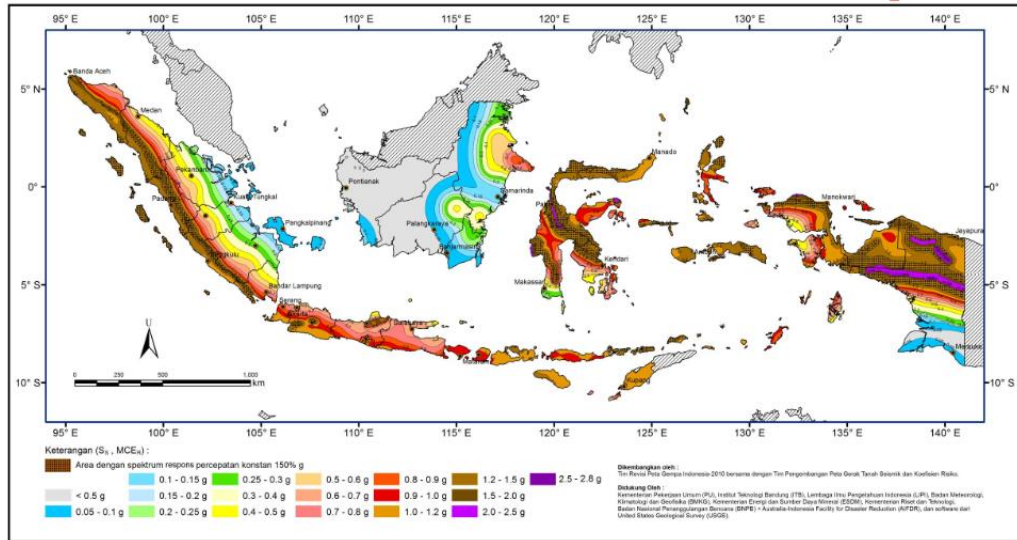
Tabel 2.6: Lanjutan.

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
-------------	-----------------------	-------------------------------	-------------------

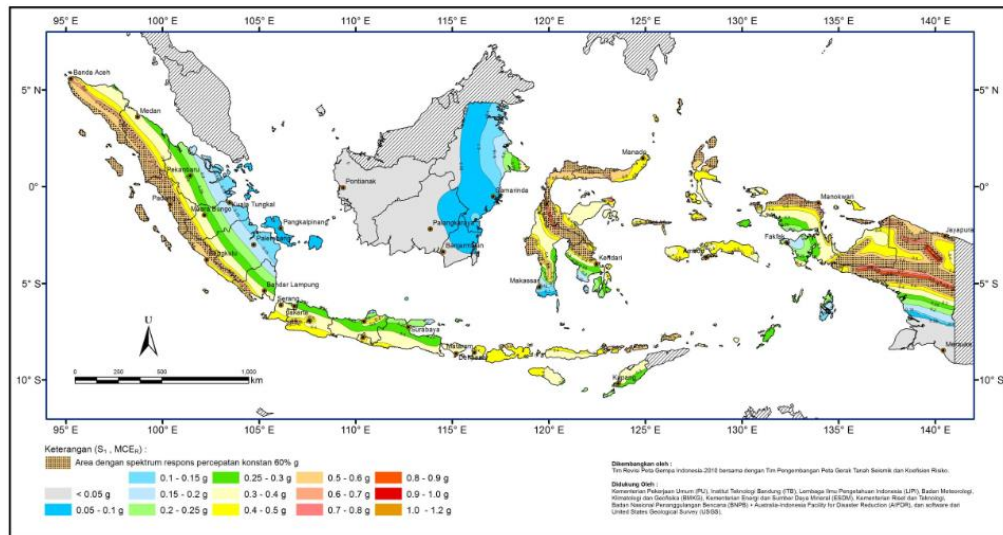
<i>SB</i> (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
<i>SC</i> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
<i>SD</i> (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
<i>SE</i> (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir, $\bar{S}_u < 25\text{kPa}$		
<i>SF</i> (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik yang mengikuti pasal 6.10,1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3\text{ m}$) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5\text{m}$ dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35\text{m}$ dengan $\bar{S}_u < 50\text{kPa}$		

2.3.2. Penentuan parameter percepatan terpetakan

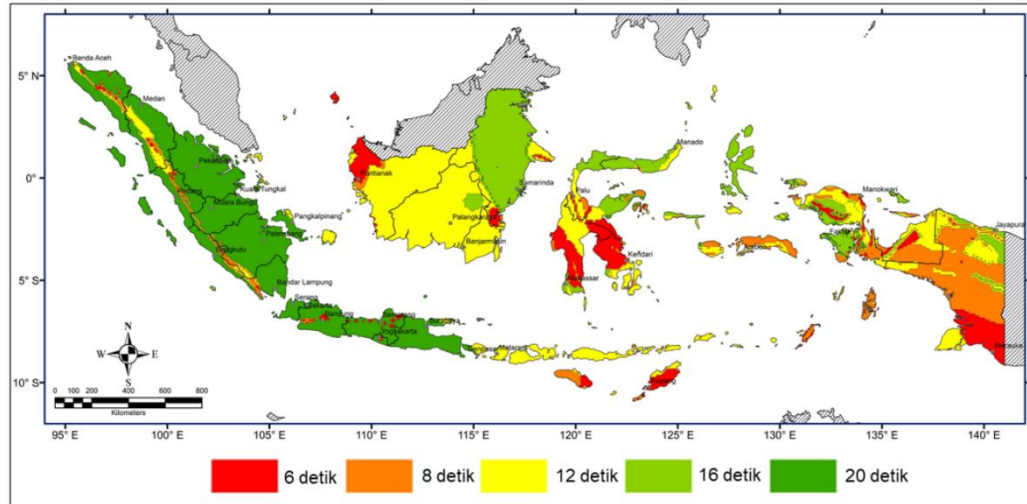
Parameter S_5 (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R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



Gambar 2.5: Peta gerak tanah seismik untuk S_s (SNI 1726, 2019).



Gambar 2.6: Peta gerak tanah seismik untuk S_1 (SNI 1726, 2019).



Gambar 2.7: Peta transisi periode panjang T_L (SNI 1726, 2019).

2.3.3. 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 2.7: 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
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS^a					

Tabel 2.8: 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					

2.3.4. 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:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.2)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.3)$$

2.3.5. 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:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.4)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.5)$$

2.3.6. 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:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.6)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.7)$$

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:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.8)$$

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

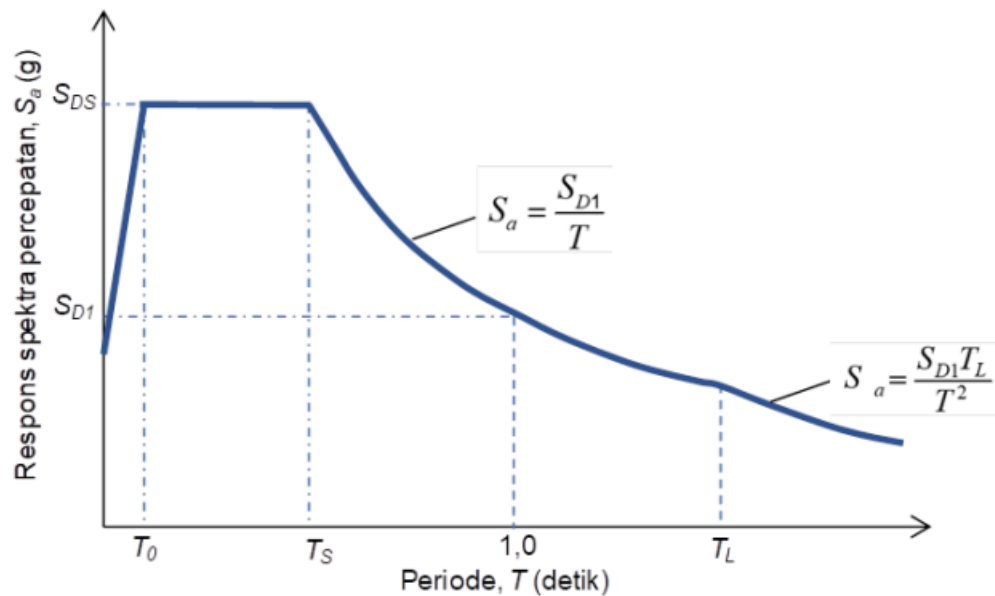
$$S_a = S_{DS} \quad (2.9)$$

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

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

4) Untuk $T > T_L$ maka:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.11)$$



Gambar 2.8: Spektrum respon desain (SNI 1726, 2019).

2.3.7. Penentuan spektrum respons percepatan desain

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

Tabel 2.9: Faktor R , C_d 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^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan system struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n(m)^c$				
				Kategori desain seismik				
				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

2.3.8. Penentuan perioda fundamental struktur

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

$$T = T_a = C_t h_n^x \quad (2.12)$$

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

Tabel 2.10: Nilai parameter periode metode 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

2.3.9. Penentuan koefisien respons seismik

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

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

Nilai C_s yang dihitung dari persamaan diatas tidak perlu melebihi berikut ini:

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

Dan C_s harus kurang dari:

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

2.3.10. Penentuan gaya geser dasar seismik

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

$$V = C_s W_t \quad (2.16)$$

2.3.11. 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, $k = 2$

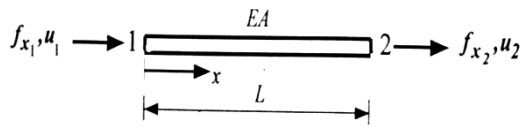
untuk $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau harus ditentukan dengan interpolasi

2.4. Metode Elemen Hingga

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

Pada penelitian ini untuk perhitungan optimasi topologi sistem lateral bresing dilakukan dalam dua dimensi. Perhitungan struktur portal dalam dua dimensi menggunakan elemen portal bidang dan struktur desain domain menggunakan elemen membran membran Q4. Elemen pada portal bidang terdiri dari dua tipe elemen yaitu elemen aksial dan elemen lentur.

2.4.1. Elemen aksial



Gambar 2.9: Elemen aksial penampang prismatik (Mahyunirsyah & Katili, 2004).

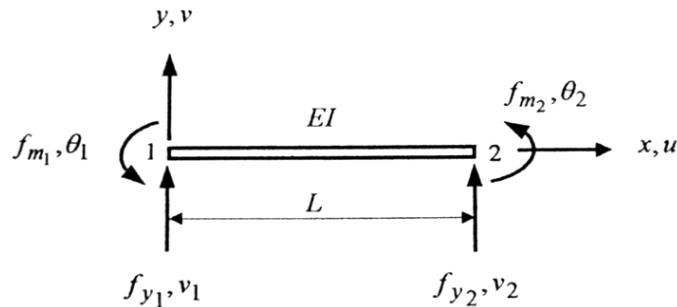
Elemen aksial merupakan elemen satu dimensi dengan hubungan regangan dan perpindahan, adalah:

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

matriks kekakuan:

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

2.4.2. Elemen lentur



Gambar 2.10: Elemen lentur pada penampang prismatic (Mahyunirsyah & Katili, 2004).

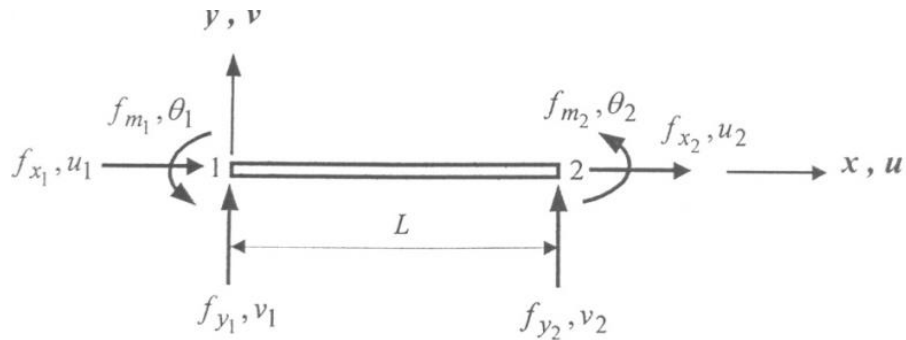
hubungan regangan dan perpindahan pada elemen lentur, adalah:

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

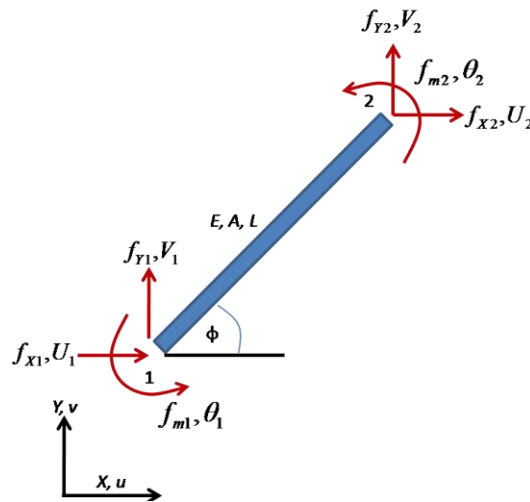
matriks kekakuan :

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

2.4.3. Elemen portal bidang



Gambar 2.11: Elemen portal bidang dalam sumbu lokal (Mahyunirsyah & Katili, 2004).



Gambar 2.12: Elemen portal bidang dengan sumbu global (Mahyunirsyah & Katili, 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-elemen 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:

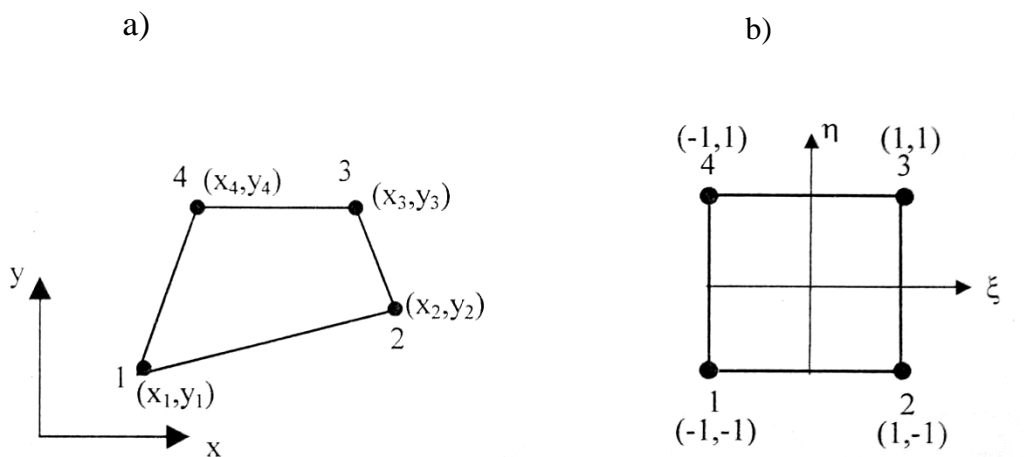
$$[k]_{global} = [T]^T [k] [T] \quad (2.31)$$

Dengan metode energi gaya dalam struktur setiap elemen dapat diperoleh:

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

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

2.4.4. Elemen Q4



Gambar 2.13: Elemen Q4 (Mahyunirsyah & Katili, 2004).

- a) Elemen Riil dalam sistem koordinat global (x,y).
- b) Elemen Referensi dalam sistem koordinat natural (ξ,η).

Elemen Q4 adalah elemen dua dimensi dimana hubungan regangan dan perpindahan dapat diekspresikan :

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u,x \\ u,y \\ v,x \\ v,y \end{Bmatrix} \quad (2.34)$$

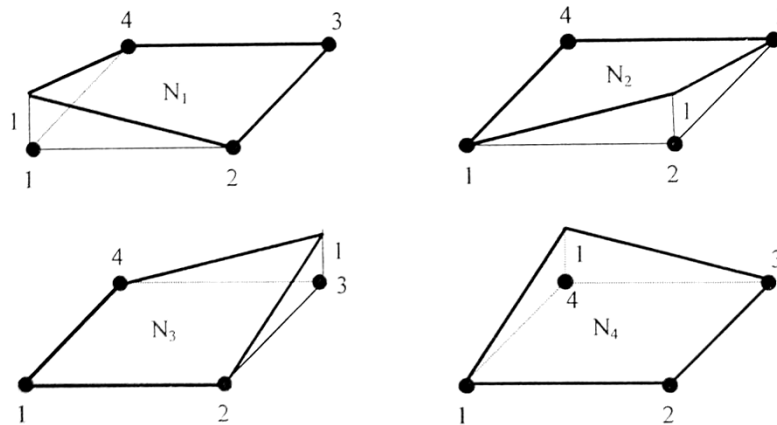
Hubungan antara koordinat global dengan koordinat natural dapat diekspresikan :

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^4 N_i \begin{Bmatrix} x_i \\ y_i \end{Bmatrix}$$

dimana fungsi transformasi koordinat dapat ditulis :

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{(1-\xi)(1-\eta)}{4} & N_2 &= \frac{(1+\xi)(1-\eta)}{4} \\ N_3 &= \frac{(1+\xi)(1+\eta)}{4} & N_4 &= \frac{(1-\xi)(1+\eta)}{4} \end{aligned} \quad (2.35)$$

Dengan asumsi fungsi peralihan bilinear, fungsi bentuk dapat diekspresikan seperti persamaan (2.34). Karena elemen Q4 adalah elemen isoparametrik, dimana fungsi interpolasi untuk fungsi bentuk peralihannya sama dengan fungsi transformasi geometriknnya.



Gambar 2.14: Fungsi bentuk elemen Q4 (Mahyunirsyah & Katili, 2004).

Hubungan antara turunan pertama fungsi transformasi koordinat dalam koordinat global (x,y) dengan turunan pertama fungsi transformasi dalam koordinat natural (ξ, η) dapat diekspresikan:

$$\begin{aligned}\frac{\partial N_i}{\partial \xi} &= \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial N_i}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial \xi} \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} &= \frac{\partial x}{\partial \eta} \frac{\partial N_i}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial \eta} \frac{\partial N_i}{\partial y}\end{aligned}\quad (2.36)$$

atau :

$$\begin{Bmatrix} N_{i,\xi} \\ N_{i,\eta} \end{Bmatrix} = [J] \begin{Bmatrix} N_{i,x} \\ N_{i,y} \end{Bmatrix}\quad (2.37)$$

dimana: $[J]$ matriks Jacobian

dengan :

$$[J] = \begin{bmatrix} x_{,\xi} & y_{,\xi} \\ x_{,\eta} & y_{,\eta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle N_{i,\xi} \rangle \{x_n\} & \langle N_{i,\xi} \rangle \{y_n\} \\ \langle N_{i,\eta} \rangle \{x_n\} & \langle N_{i,\eta} \rangle \{y_n\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix}\quad (2.38)$$

dimana: $\langle x_n \rangle = \langle x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \rangle$ dan $\langle y_n \rangle = \langle y_1 \ y_2 \ y_3 \ y_4 \rangle$

Persamaan (2.35), dapat diekspresikan:

$$[J] = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{i,\xi} \\ N_{i,\eta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \\ x_4 & y_4 \end{Bmatrix}\quad (2.39)$$

dimana :

$$\begin{bmatrix} N_{i,\xi} \\ N_{i,\eta} \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -(1-\eta) & (1-\eta) & (1+\eta) & -(1+\eta) \\ -(1-\xi) & -(1+\xi) & (1+\xi) & (1-\xi) \end{bmatrix}\quad (2.40)$$

Diferensial fungsi bentuk atau matriks regangan perpindahan $[B]$, dapat diekspresikan dari persamaan (2.36)

$$[B] = \begin{bmatrix} N_{i,x} \\ N_{i,y} \end{bmatrix} = [j] \cdot \begin{bmatrix} N_{i,\xi} \\ N_{i,\eta} \end{bmatrix}\quad (2.41)$$

dimana $[j] = [J]^{-1}$ = matrik invers jacobian.

Atau

$$[j] = \begin{bmatrix} j_{11} & j_{12} \\ j_{21} & j_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{|J|} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} = \frac{1}{|J|} \begin{bmatrix} y_{,\eta} & -y_{,\xi} \\ -x_{,\eta} & x_{,\xi} \end{bmatrix}\quad (2.42)$$

Dalam bentuk format matriks regangan, maka matriks $[B]$:

$$[B] = \left[\dots \begin{array}{cc} j_{11}N_{i,\xi} + j_{12}N_{i,\eta} & 0 \\ 0 & j_{21}N_{i,\xi} + j_{22}N_{i,\eta} \\ j_{21}N_{i,\xi} + j_{22}N_{i,\eta} & j_{11}N_{i,\xi} + j_{12}N_{i,\eta} \end{array} \dots \right]_{i=1,4} \quad (2.43)$$

Dari persamaan (2.7) matriks kekakuan elemen, dapat diekspresikan :

$$[k] = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [H] [B] |J| d\xi d\eta \quad (2.44)$$

dimana : $dA = |J| d\xi d\eta$

Dirubah dalam bentuk integrasi numerik dengan menggunakan rumus Gauss, dapat diekspresikan :

$$[k] \approx \sum_{i=1}^4 [B_i]^T [H] [B_i] |J_i| \omega_i \omega_j \quad (2.45)$$

2.5. Optimasi struktur

Tujuan optimasi struktur adalah untuk mendapatkan hasil perancangan struktur yang optimal tergantung dari parameter yang digunakan. Salah satu parameter yang sering digunakan adalah meminimalkan berat struktur dengan memperhitungkan beban-beban yang bekerja dan batasan struktur yang diijinkan, dengan formulasi sebagai berikut:

$$\begin{array}{ll} \min & f(s) \\ \text{syarat batas} & h_i(s) \neq 0, \quad i = 1, \dots, k, \\ & g_j(s) \leq 0, \quad j = 1, \dots, m. \end{array}$$

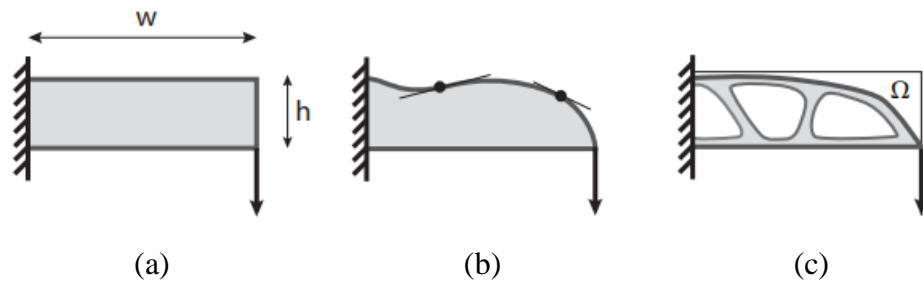
dimana f adalah fungsi objektif (contohnya adalah, berat, defleksi, dan lainnya). Batasan yang digunakan dalam optimasi struktur, pertama parameter h adalah batasan tidak ekuivalen contohnya frekuensi alami dan kedua parameter g adalah batasan maksimum yang diijinkan contohnya tegangan struktur, defleksi, dan lainnya. s adalah parameter perancangan yang diperhitungkan (Alexander dkk., 2015).

Secara umum optimasi struktur dapat dibagi dalam tiga metode, yaitu:

1. Optimasi dimensi
2. Optimasi bentuk

3. Optimasi topologi

Pada Gambar 2.15 dapat dilihat perbedaan metode-metode tersebut dimana optimasi dimensi bertujuan untuk mendapatkan dimensi penampang struktur yang optimal, optimasi bentuk bertujuan untuk mendapatkan bentuk (*shape*) struktur yang optimal, dan optimasi topologi bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi struktur yang optimal. Perbandingan antara ketiga metode tersebut dapat dilihat bahwa optimasi topologi memberikan hasil yang lebih optimal disebabkan optimasi topologi dapat membentuk konfigurasi struktur yang optimal sesuai dengan distribusi tegangan yang terjadi.



Gambar 2.15: Perbedaan metode optimasi struktur (a) Optimasi dimensi (b) Optimasi bentuk (c) Optimasi topologi (Alexander dkk., 2015).

2.6. 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 menghilangkan elemen atau material yang kurang efektif dalam struktur sehingga dapat mengurangi massa struktur dengan mempertimbangkan parameter yang digunakan.

2.6.1. *State of the art* optimasi topologi

Ada tiga metode berbeda yang berkembang dalam penentuan topologi yang optimal dari suatu struktur (Rozvany dkk., 1995), yaitu:

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

Menurut (Tyflopoulos dkk., 2018) ada 3 kategori 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 Discrete 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. *Discrete*

- *Evolutionary Structural Optimization (ESO)* (X. Huang dan Xie, 2010; Xie, 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)

2.6.2. Fungsi objektif dan desain kriteria optimasi topologi

Optimasi topologi umumnya melibatkan algoritma komputasional dan analisis elemen hingga untuk menghasilkan desain yang optimal. Penyelesaian matematis umum dari masalah optimasi berbasis elemen kontinu mencari nilai minimum (atas ke bawah) atau maksimum (bawah ke atas) dari fungsi (f) dan variabel terkaitnya vektor $x = (x_1, \dots, x_n) \in IR^n$ yang menghasilkannya, dengan memperhatikan kondisi yang memungkinkan dan yang mungkin terjadi dan batasan-batasannya. Menurut (Hassani dan Hinton, 1999), f dapat disebut sebagai fungsi tujuan atau biaya dan masing-masing kuantitas x_i dengan $i = 1, \dots, n$ variabel desain dan n jumlah variabel desain. Variabel desain bergantung karena adanya persamaan di antara batasan-batasan, sehingga dapat diasumsikan bahwa ruang desain yang sebenarnya adalah subruang dari IR^n dimana dimensinya adalah n dikurangi dengan jumlah kendala kesetaraan independen. Maka masalah optimasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

(x) meminimalkan fungsi objektif

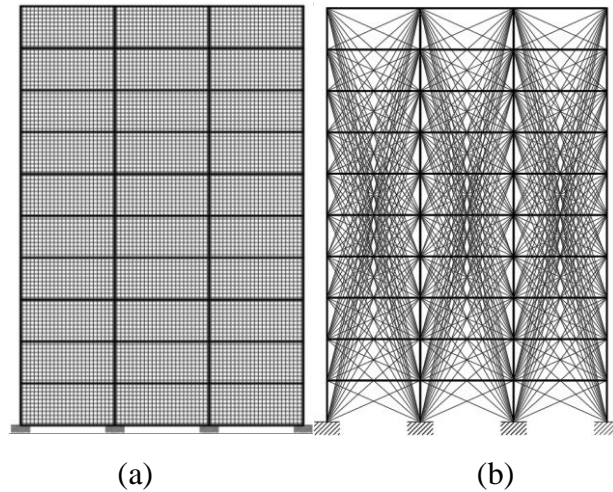
$h_j(x) = 0, j = 1, \dots, nh$ batasan persamaan

$g_k(x) \leq 0, k = 1, \dots, ng$ batasan pertidaksamaan

$x^l_i \leq x_i \leq x^u_i, i = 1, \dots, n$ variabel desain (Tyflopoulos dkk., 2018)

2.6.3. 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 2.16 dapat dijelaskan perbedaan keduanya.



Gambar 2.16: Desain domain (a) Kontinum (b) Diskrit.

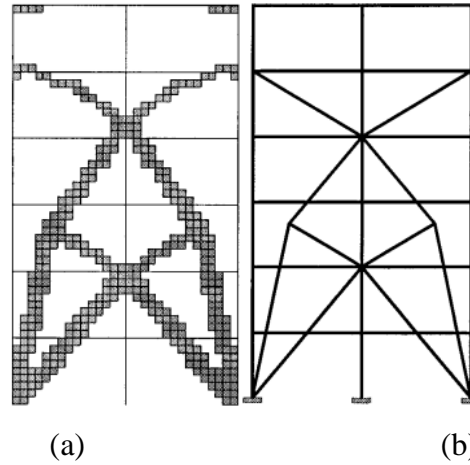
Desain domain kontinum adalah desain domain yang menggunakan variabel kontinu atau tidak terbatas secara spesifik, ini berarti variabel desain dapat bervariasi secara kontinu di seluruh ruang desain. Sedangkan desain domain diskrit adalah desain domain yang menggunakan variabel diskrit atau elemen-elemen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

2.6.4. Langkah-langkah optimasi topologi kontinum

Optimasi topologi kontinum adalah metode yang digunakan untuk mencari konfigurasi struktur yang optimal dari variabel desain yang kontinu.

Langkah – langkah optimasi topologi kontinum :

1. Menentukan desain domain
2. Menghilangkan elemen dari desain domain yang tidak efektif sesuai parameter yang digunakan
3. Menginterpretasikan hasil optimasi topologi agar mudah untuk diterapkan



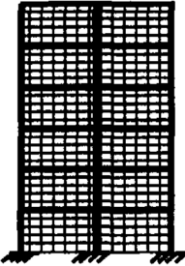
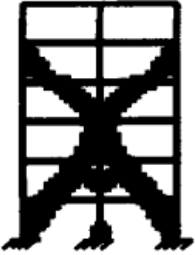
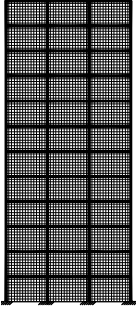
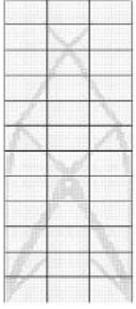
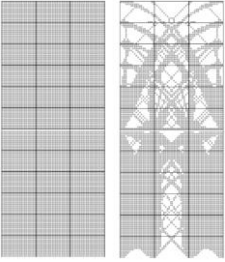
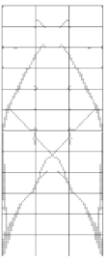
Gambar 2.17: (a) Desain domain hasil optimasi topologi, (b) Interpretasi hasil optimasi topologi (Quan dkk., 2000).

4. Pengujian interpretasi hasil dengan syarat batas yang telah ditentukan.

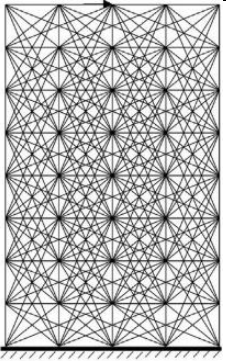
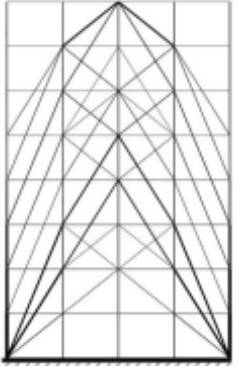
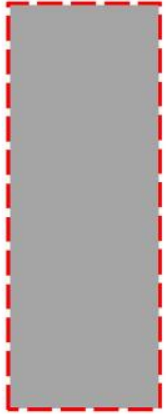

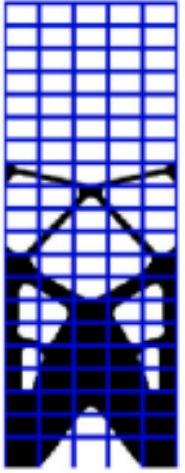
2.7. Beberapa penelitian optimasi topologi pada sistem lateral bresing

Aplikasi optimasi topologi struktur dari sistem lateral bresing pada *multistroy tall building* telah dilakukan oleh beberapa peneliti dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 2.11: Beberapa penelitian optimasi topologi pada sistem lateral bresing.

Penulis dan Tahun	Judul	Desain domain	Metode	Gambar	
				Awal	Akhir
Mijar dkk., 1998	<i>Continuum Topology Optimization For Concept Design Of Frame Bresing 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>		
Huang dan Wang, 2011	<i>Topology Optimization of Bresing Systems for Multistory Steel Frames under Earthquake Loads</i>	Kontinum	<i>Evolutionary Structural Optimization (ESO)</i>		

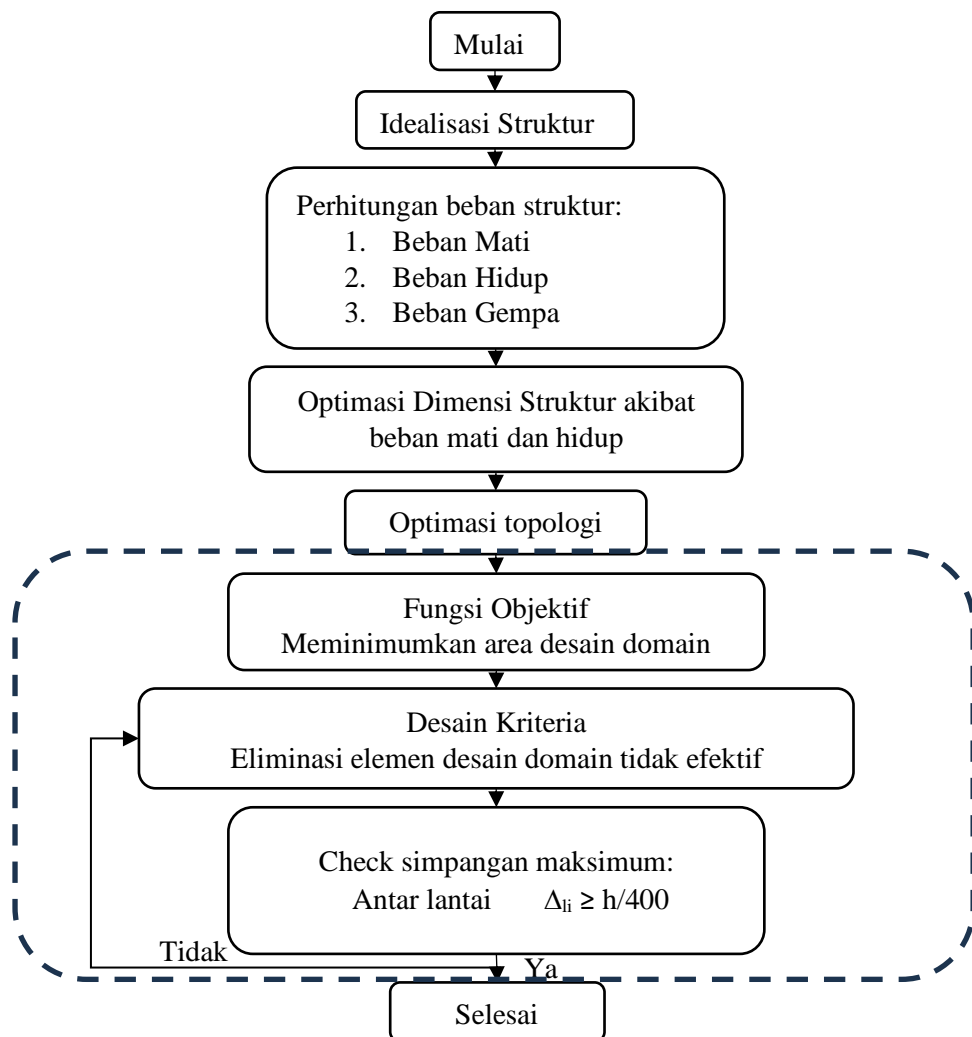
Tabel 2.11: *Lanjutan.*

Penulis dan Tahun	Judul	Desain domain	Metode	Gambar	
				Awal	Akhir
Sotiropoulos dan Lagaros, 2022	<i>Optimum topological bresing design of tall steel frames subjected to dynamic loading</i>	Diskrit	<i>Material removal method</i>		
Gao dkk., 2022	<i>Seismic topology optimization based on spectral approaches</i>	Kontinum	<i>Homogenization based optimization method</i>	 	

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Umum

Bab ini berisi tentang metodologi dan proses optimasi topologi sistem lateral bresing pada struktur gedung baja 10 lantai. Diagram alir penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1. Ada dua tahap yang dilakukan pada penelitian ini, pertama optimasi dimensi dengan menggunakan beban mati dan beban hidup, dan tahap kedua adalah proses optimasi topologi sistem lateral bresing diakibat beban gempa dengan menggunakan metode beban statik ekuivalen. Diagram alir proses perhitungan tersebut dapat dilihat pada diagram dibawah ini.



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

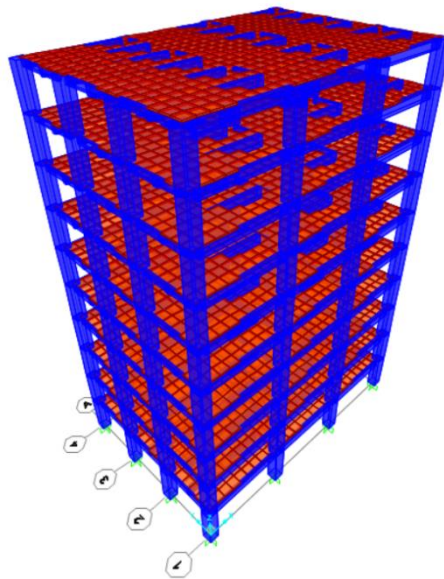
Material

Kolom dan balok : Baja – profil IWF

Lantai : Beton bertulang

b. Data geometri

Pemodelan gedung perkantoran dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3.2: Pemodelan gedung perkantoran 10 lantai.

Jumlah lantai bangunan : 10 lantai

Tinggi per lantai : 4 meter

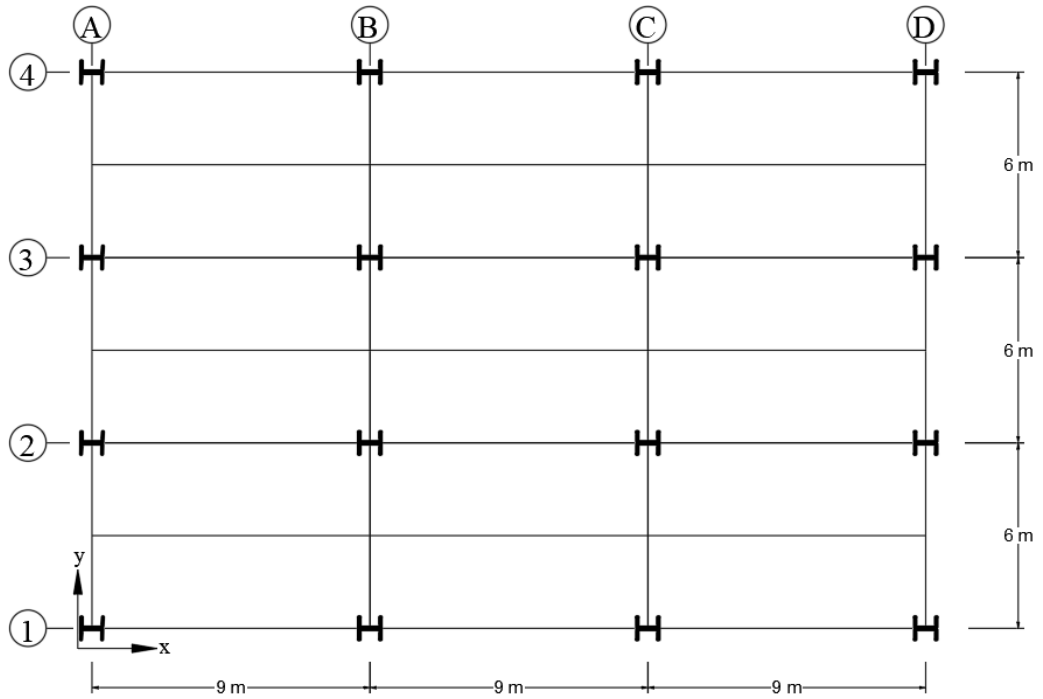
Total tinggi gedung : 40 meter

Jumlah bentang arah- x : 3 buah

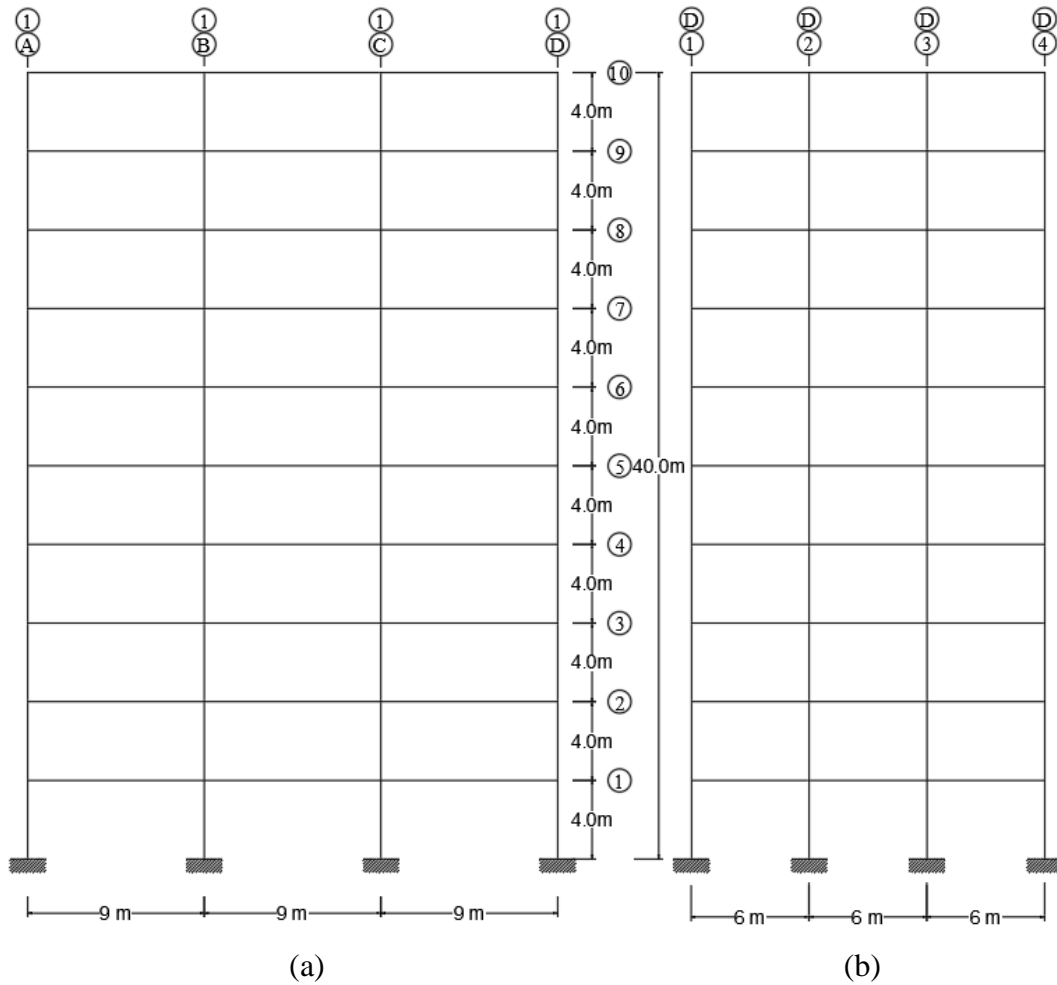
Panjang per bentang arah- x : 9 meter

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.

3.2.2. Data Pembebanan dan Material

Data pembebanan terdiri dari data beban mati, beban hidup dan data gempa, sebagai berikut:

a. Data beban mati

1) Data material bahan bangunan gedung:

a) Beton

Berat jenis beton bertulang : 2400 kg/m³

Kuat tekan beton (f_c') : 25 MPa

b) Baja

Berat jenis baja : 7850 kg/m³

Mutu Baja : BJ-41

Kuat leleh baja (f_y)	: 250 MPa
Kuat ultimit baja (f_u)	: 410 MPa
Modulus elastisitas 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

b. Data beban hidup

Beban hidup pada atap gedung	: 600 kg/m ²
Beban hidup pada lantai gedung	: 240 kg/m ²

c. Data beban gempa

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 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. Optimasi topologi sistem lateral bresing

Persamaan dari fungsi objektif dan analisis sensitivitas yang digunakan untuk menentukan desain domain yang efektif dijelaskan pada sub-bab berikut ini.

3.4.1. Fungsi objektif

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

$$A = \sum_{i=1}^n A^e \quad (3.1)$$

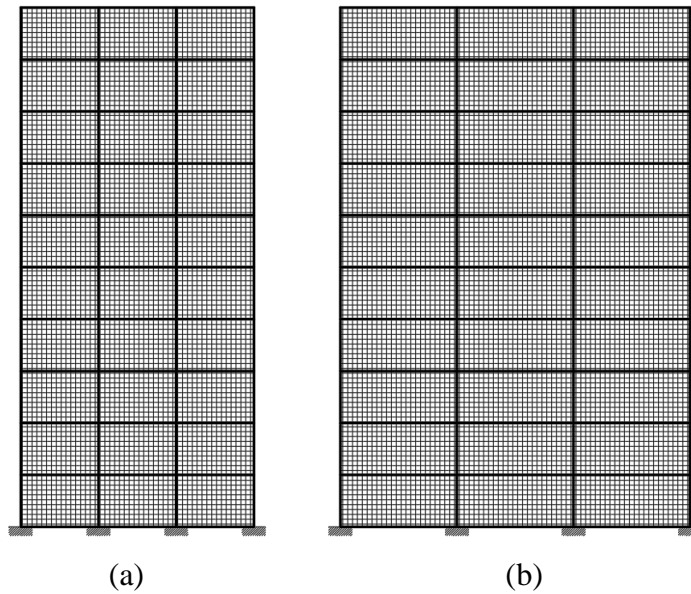
dimana :

A = Luas total kontinum desain domain.

A^e = Luas elemen.

n = Jumlah elemen yang digunakan.

Optimasi topologi mengoptimasi suatu daerah batas desain domain (*boundary area*), desain domain ini sangat mempengaruhi bentuk topologi dari struktur karena menjadi suatu batas awal untuk proses optimasi. Pada Gambar 3.5 kita dapat melihat desain domain (daerah yang dioptimasi) pada struktur sistem lateral bresing.



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

Perhitungan struktur dilakukan dengan metode elemen hingga dengan menggunakan *elemen plane stress* Q4 (empat nodal dengan 3 derajat kebebasan per nodal) pada daerah desain domain dan elemen portal bidang untuk struktur utama (non desain domain).

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*

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 :

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

dimana : A^e = Luas elemen.

b. Kriteria *displacement*.

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 displacement.

Evaluasi akan dilakukan bila simpangan maksimum pada iterasi ke-*i* lebih besar dari *Displacement Rasio* yang diizinkan (*DR*) dikalikan simpangan maksimum iterasi sebelumnya, atau dapat diformulasikan :

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

dimana :

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

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

DR = *Displacement Rasio*.

Displacement Rasio berguna mengontrol perubahan displacement pada setiap iterasi untuk mendapat kekakuan sistem lateral bresing yang diinginkan. *Displacement Rasio awal* yang dilakukan dalam penelitian ini dimulai dari nilai $DR = 0,1$.

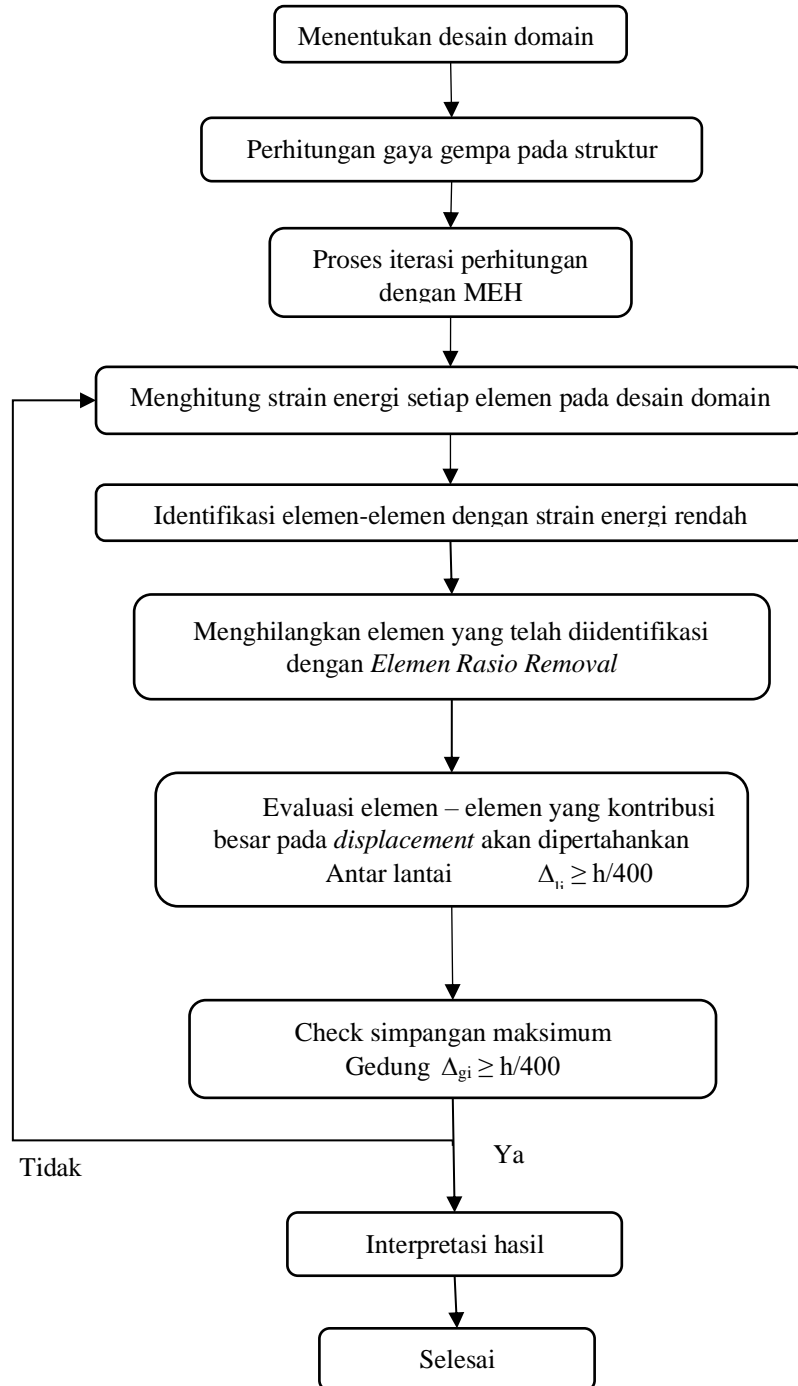
Evaluasi elemen-elemen dilakukan dengan cara mengikutkan kembali elemen-elemen tersebut satu-persatu kedalam perhitungan struktur, dimulai dari elemen yang memiliki *strain energy density* terbesar sampai elemen yang memiliki

strain energy density terkecil. Kemudian dihitung setiap perubahan simpangan maksimum yang terjadi, ada tiga kemungkinan yang terjadi :

1. Evaluasi kriteria *displacement* dihentikan bila $U_{max_i} < DR \times U_{max_{i-1}}$, elemen-elemen yang belum diikuti sertakan dalam evaluasi akan dieliminasi secara permanen.
2. Bila evaluasi yang dilakukan sampai kepada elemen yang terakhir yaitu elemen memiliki *strain energy density* yang terkecil, dimana $U_{max_i} = U_{max_{i-1}}$ maka elemen tersebut dinyatakan sebagai elemen yang dipertahankan.

3.4.3. Proses optimasi topologi kontinum sistem lateral bresing

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



Gambar 3.6: Diagram alir proses optimasi topologi.

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

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

2) Beban mati pelat lantai 1-9

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

b. Beban hidup (*LL*)

1) Beban hidup pelat atap

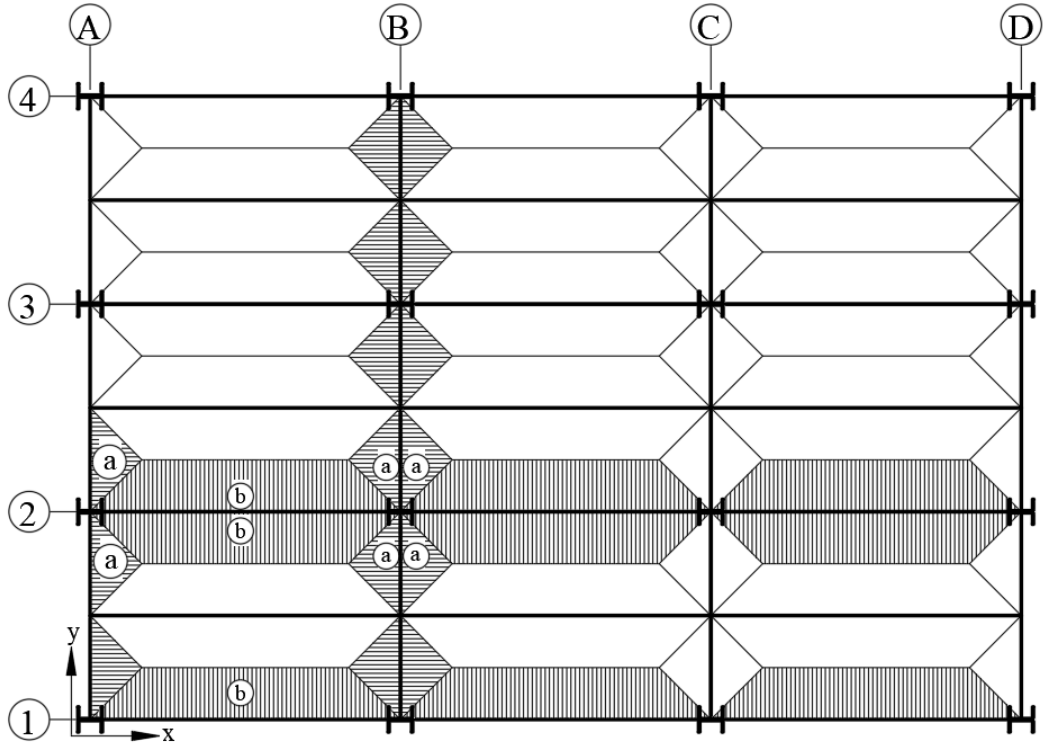
$$\begin{aligned} &\text{Beban atap menurut SNI (bangunan kantor)} \\ &\text{Beban Gudang Penyimpanan dan pekerja (ringan)} = 6 \text{ kN/m}^2 \\ \text{LL}_{\textit{atap}} &= 600 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

2) Beban hidup pelat lantai 1-9

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

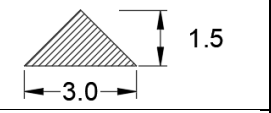
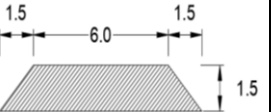
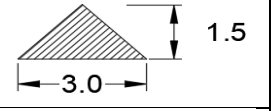
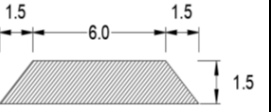
4.1.2. Perhitungan distribusi beban pada balok

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, $q_D = \text{tinggi} \times DL$ (Kg/m)	Beban hidup pada puncak, $q_L = \text{tinggi} \times DL$ (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 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	W24x17 6	0,64 1	0,32 7	0,03 4	0,01 9	0,033	261,83 6	0,0023 6	0,00019 9
2	W24x14 6	0,62 8	0,32 7	0,02 7	0,01 6	0,027	217,77 4	0,0019 0	0,00016 3
3	W24x13 1	0,62 1	0,32 6	0,02 4	0,01 5	0,024	194,98 6	0,0016 7	0,00014 2
4	W24x13 1	0,62 1	0,32 6	0,02 4	0,01 5	0,024	194,98 6	0,0016 7	0,00014 2
5	W18x10 6	0,47 5	0,28 4	0,02 3	0,01 4	0,020	157,50 2	0,0007 9	0,00009 2
6	W18x10 6	0,47 5	0,28 4	0,02 3	0,01 4	0,020	157,50 2	0,0007 9	0,00009 2
7	W14x74	0,35 9	0,25 5	0,01 9	0,01 1	0,014	110,40 2	0,0003 3	0,00005 6
8	W14x74	0,35 9	0,25 5	0,01 9	0,01 1	0,014	110,40 2	0,0003 3	0,00005 6
9	W12x58	0,30 9	0,25 4	0,01 6	0,00 9	0,010	86,098	0,0001 9	0,00004 5
10	W12x58	0,30 9	0,25 4	0,01 6	0,00 9	0,010	86,098	0,0001 9	0,00004 5

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	W14x 48	0,35 0	0,20 3	0,015 1	0,008 63	0,00909	71,41	0,0002 02	0,0000 21
2	W14x 48	0,35 0	0,20 3	0,015 1	0,008 63	0,00909	71,41	0,0002 02	0,0000 21
3	W14x 48	0,35 0	0,20 3	0,015 1	0,008 63	0,00909	71,41	0,0002 02	0,0000 21
4	W14x 48	0,35 0	0,20 3	0,015 1	0,008 63	0,00909	71,41	0,0002 02	0,0000 21
5	W14x 48	0,35 0	0,20 3	0,015 1	0,008 63	0,00909	71,41	0,0002 02	0,0000 21
6	W14x 48	0,35 0	0,20 3	0,015 1	0,008 63	0,00909	71,41	0,0002 02	0,0000 21

Tabel 4.3: Lanjutan.

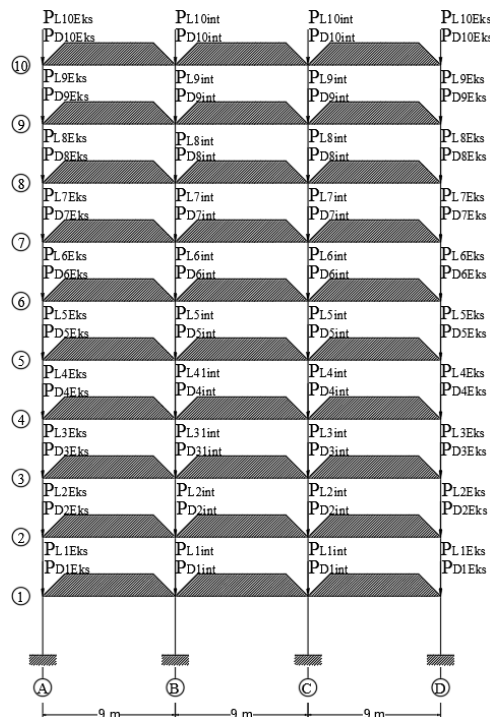
Lantai	Balok	Dimensi (m)				Luas penampang (m ²)	Berat (kg/m)	I ₃₃ (m ⁴)	I ₂₂ (m ⁴)
		b	h	tf	tw				
7	W14x48	0,350	0,203	0,0151	0,00863	0,00909	71,41	0,000202	0,000021
8	W14x48	0,350	0,203	0,0151	0,00863	0,00909	71,41	0,000202	0,000021
9	W14x48	0,350	0,203	0,0151	0,00863	0,00909	71,41	0,000202	0,000021
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-x dan arah-y, maka beban terpusat yang bekerja akibat beban mati dan beban pada struktur tersebut adalah sebagai berikut:

1) Beban terpusat arah-x

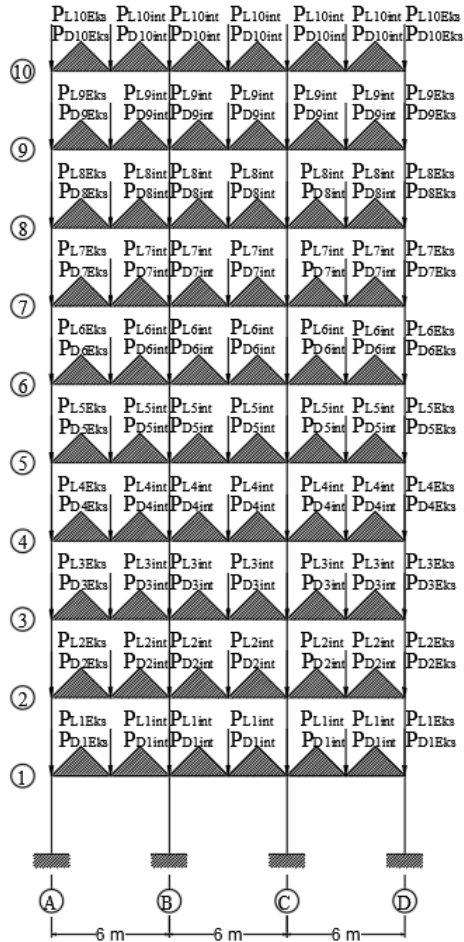
Distribusi beban terpusat ke portal memanjang arah-x dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.2: Distribusi beban mati dan hidup terpusat ke portal memanjang arah-x.

2) Beban terpusat arah-y

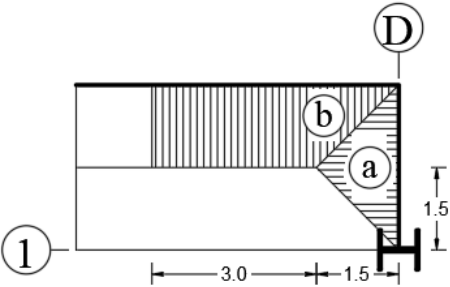
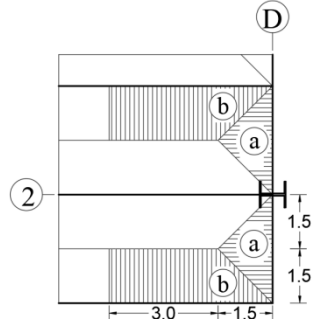
Distribusi beban terpusat ke portal memanjang arah-x dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.3: Distribusi 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 _D (kg)	P _L (kg)	P _D (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

Tabel 4.5: *Lanjutan.*

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 _D (kg)	P _L (kg)	P _D (kg)	P _L (kg)
7	Eksterior	3118,5	1890	2227,5	1350	71,41	5,25	187	4,5	321	261,84	2	959,22	426,5	1890	3508	1350
	Interior	6237	3780	4455	2700		10,5	375	4,5	321	217,77			2	661,2	3780	4776
8	Eksterior	3118,5	1890	2227,5	1350	71,41	5,25	375	4,5	321	217,77	2	825,52	431,9	1890	3374	1350
	Interior	6237	3780	4455	2700		10,5	750	4,5	321	194,99			2	698,7	3780	4776
9	Eksterior	3118,5	1890	2227,5	1350	71,41	5,25	375	4,5	321	194,99	2	779,94	427,3	1890	3329	1350
	Interior	6237	3780	4455	2700		10,5	750	4,5	321	194,99			2	698,7	3780	4776
10	Eksterior	4252,5	4725	3037,5	3375	96,74	5,25	375	4,5	321	194,99	2	704,98	419,8	1890	3254	1350
	Interior	8505	9450	6075	6750		10,5	750	4,5	321	157,50			2	698,7	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

$$16 \times 2 \times 261,84 \text{ (W24x176)} = 8378,77 \text{ kg}$$

$$16 \times 2 \times 217,77 \text{ (W24x146)} = 6968,8 \text{ kg}$$

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

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

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

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

$$\text{c) Total beban lantai 1 (W)} = \text{WD} + \text{WL}$$

$$= 406441,95 + 34992$$

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

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

$$16 \times 2 \times 86,09 \text{ (W12x58)} = 2755,16 \text{ kg}$$

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

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

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

$$\text{c) Total beban lantai atap (W)}$$

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

$$= 290443,14 + 87480$$

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

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	Tinggi	W	Berat	Arah-x Arah-y					(kg)
	(kg/m)	(m)	(kg)	(kg/m)						
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

- 1) Faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek,

$$F_a = 1,28 g$$

- 2) 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_{MI}

- 1) Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek, S_{MS}

$$S_{MS} = F_a \times S_S = 1,28 \times 0,65 = 0,83 g$$

- 2) Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik, S_{MI}

$$S_{MI} = F_v \times S_I = 1,94 \times 0,36 = 0,70 g$$

4.4.4. Parameter percepatan spektral desain S_{DS} dan S_{D1}

- 1) Parameter percepatan spektral desain pada periode pendek S_{DS}

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,83 = 0,55 g$$

4.4.5. Parameter percepatan spektral desain pada periode 1 detik S_{D1}

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,63 = 0,47 g$$

4.4.6. Spektrum respons desain

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

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

- 1) Untuk $T < T_0$: $S_a = 0,4 S_{DS} + 0,6 \frac{S_{DS}}{T_0} T = 0,22 + 1,98 T$

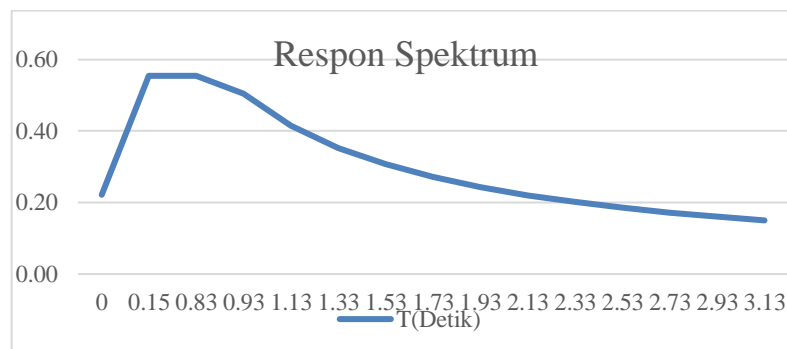
- 2) Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$: $S_a = S_{DS} = 0,55$

- 3) 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.

4.4.7. Faktor keutamaan gempa, I_e

Berdasarkan Tabel 2.5 untuk kategori risiko II, faktor keutamaan gempa sebesar,
 $I_e = 1,0$

4.4.8. Periode fundamental struktur, T

Berdasarkan Tabel 2.10 nilai C_t dan x adalah:

$$C_t = 0,0731$$

$$x = 0,75$$

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

Maka:

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

c. 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 $T (1.16) \leq T_L (20)$,

$$C_{s.maks} = \frac{S_{d1} \times I_e}{T^2 \times R} = \frac{0,47 \times 1,0}{1.16 \times 3} = 0,115$$

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 . $C_s > C_{s.maks}$, maka $C_s = 0,115$

4.4.9. Gaya geser dasar seismik, V

$$V = C_s \times W_{total} = 0,115 \times 4302532,52 \text{ kg} = 493959,27 \text{ kg}$$

4.4.10. 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:

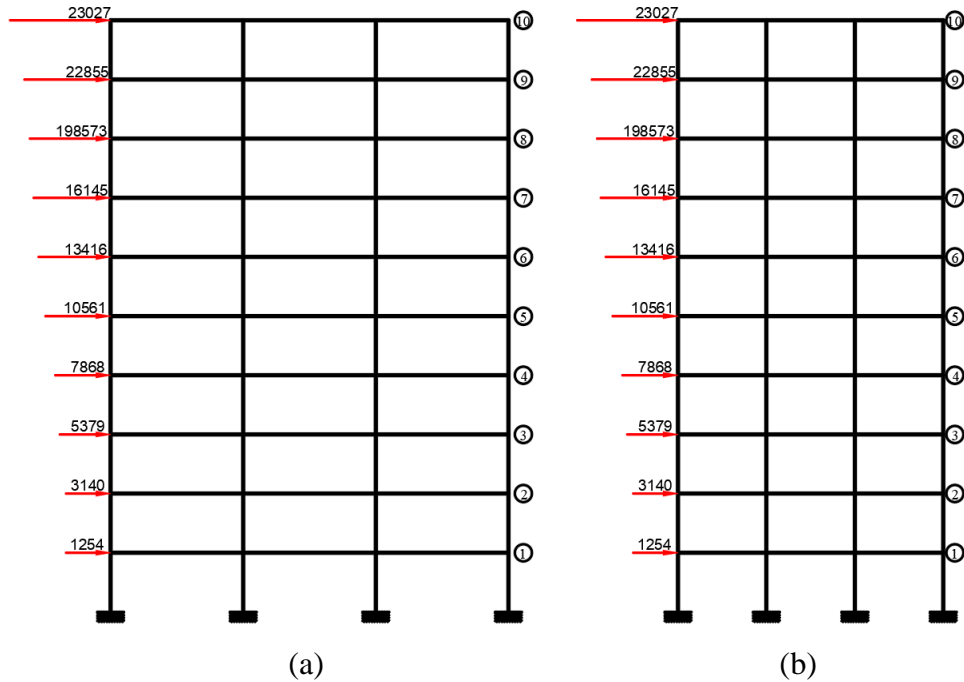
$T = 1,16$ detik

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

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	5.016,62	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 dengan sistem diafragma dimana lantai dan balok pada bidangnya.



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

4.4.11. Simpangan maksimum akibat gaya gempa dengan Matlab

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

- a. Struktur arah- x

$$U_{\max} = 0,76157 \text{ m}$$

- b. Struktur arah- y

$$U_{\max} = 5.077406 \text{ m}$$

4.5. Optimasi topologi kontinum sistem lateral bresing

4.5.1. Hasil optimasi topologi kontinum

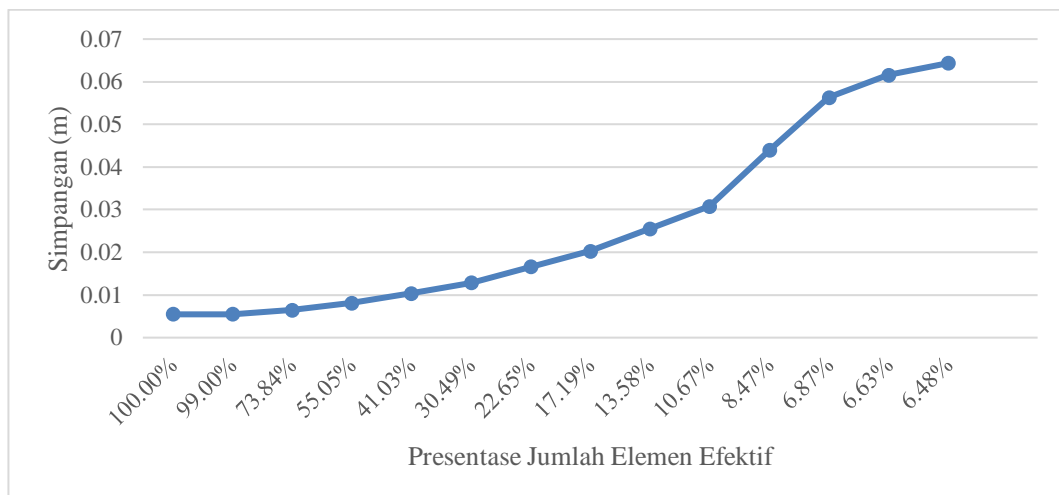
a. Struktur arah- x

Luas penampang elemen desain domain (elemen Q4) : $0,01 \text{ m}^2$

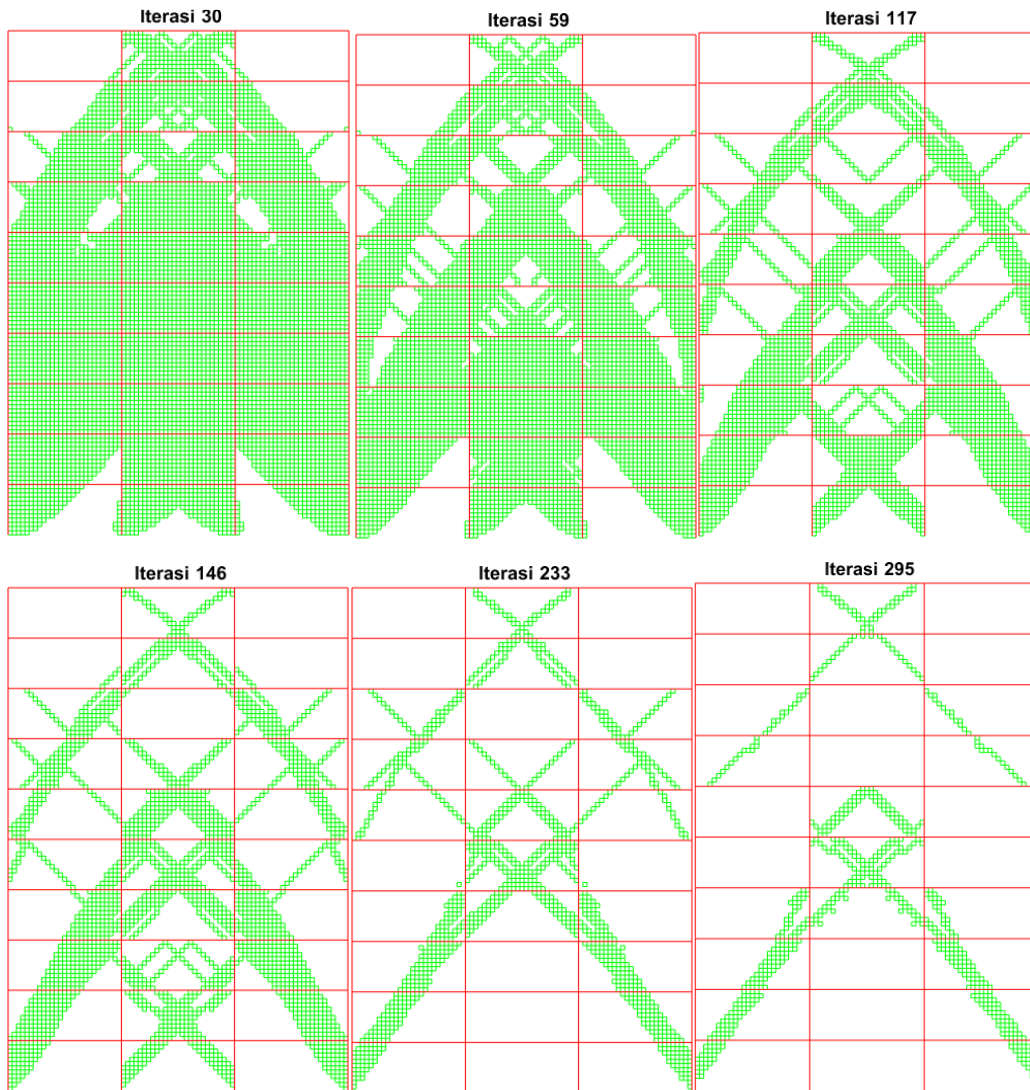
Jumlah elemen desain domain awal : 9720

Tabel 4.9: Presentasi jumlah elemen efektif dan simpangan selama iterasi.

Iterasi	Jumlah Elemen	% Jumlah Elemen	Simpangan (m)
1	9623	99,00%	0,00546
30	7177	73,84%	0,00646
59	5351	55,05%	0,00812
88	3988	41,03%	0,01037
117	2964	30,49%	0,01286
146	2202	22,65%	0,0166
175	1671	17,19%	0,02025
204	1320	13,58%	0,02554
233	1037	10,67%	0,03079
262	823	8,47%	0,04393
289	668	6,87%	0,05632
292	644	6,63%	0,06159
295	630	6,48%	0,06436



Gambar 4.6: Grafik perubahan simpangan selama iterasi.



Gambar 4.7: Proses optimasi topologi arah-x.

b. Struktur arah-y

Luas penampang elemen desain domain (elemen Q4) : 0,01 m²

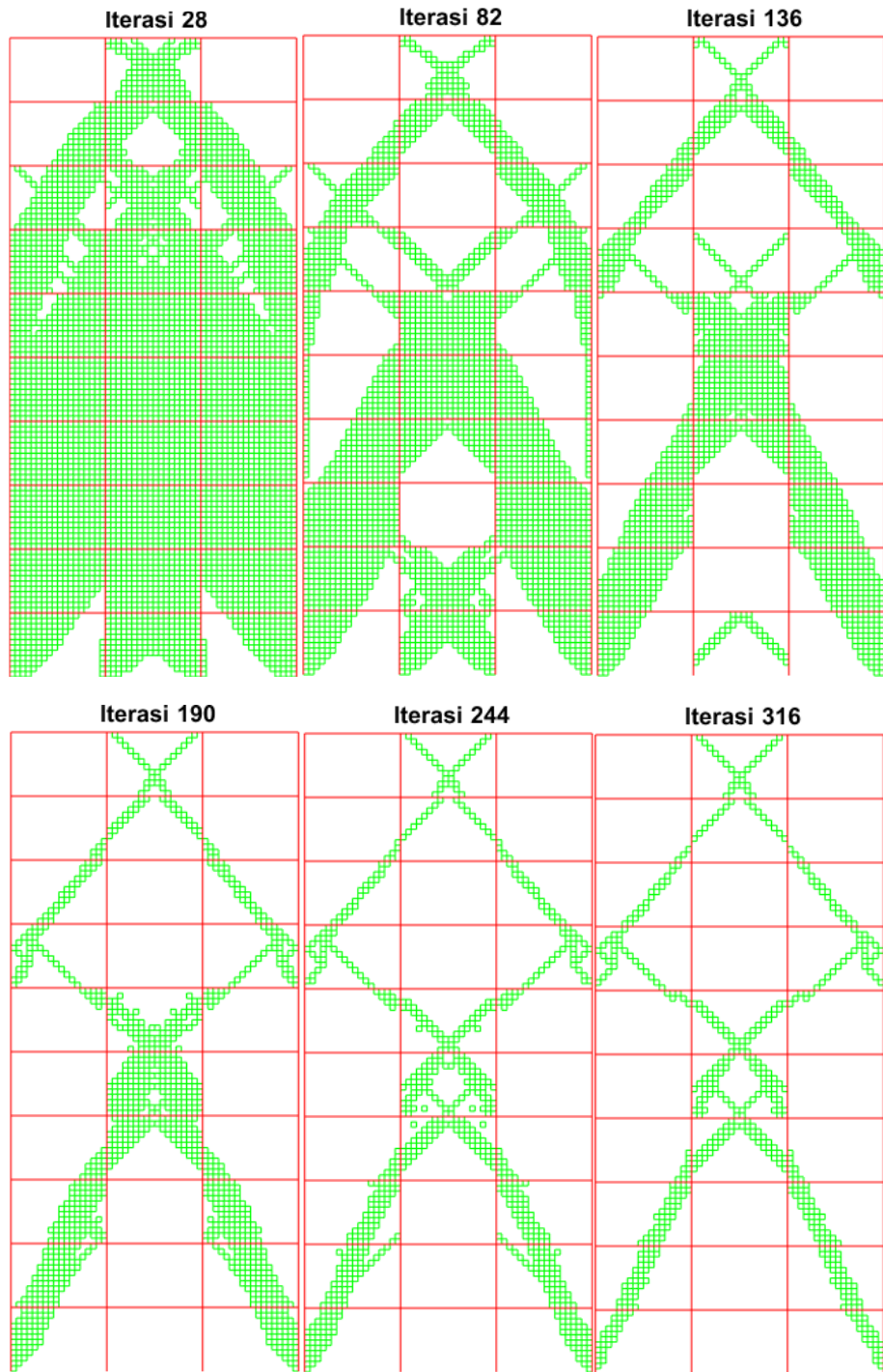
Jumlah elemen desain domain awal : 6480

Tabel 4.10: Presentasi jumlah elemen efektif dan simpangan selama iterasi.

Iterasi	Jumlah Elemen	% Jumlah Elemen	Simpangan (m)
1	6414	98,98%	0,01198
28	4878	75,28%	0,01362
55	3706	81,39%	0,01632
82	2812	43,40%	0,01976
109	2134	32,93%	0,02478
136	1616	24,94%	0,03007
163	1220	18,83%	0,03738
190	964	14,88%	0,04539
217	776	11,98%	0,05729
244	658	10,15%	0,06741
264	584	9,01%	0,07712
291	558	8,61%	0,08315
316	344	5,31%	0,08587



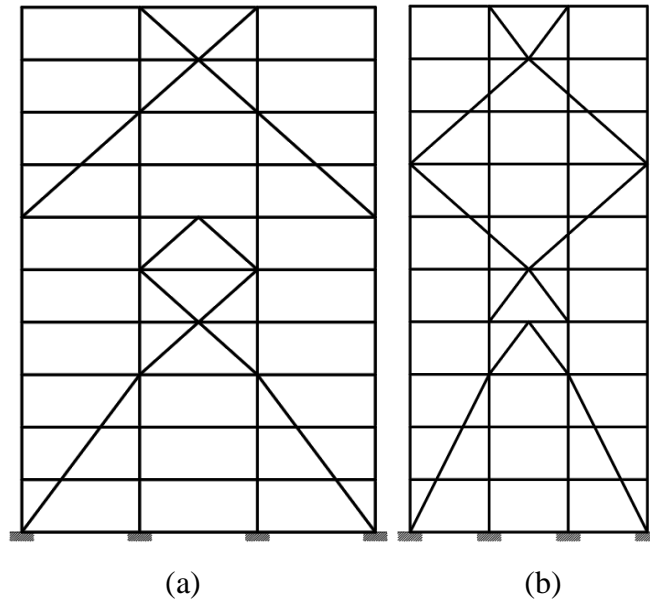
Gambar 4.8: Grafik perubahan simpangan selama iterasi.



Gambar 4.9: Proses optimasi topologi arah-y.

4.5.2. Interpretasi hasil

Setelah diketahui bentuknya dari proses iterasi optimasi topologi kontinum, maka selanjutnya tahap interpretasi hasil agar konfigurasi bresing dapat diterapkan pada gedung. Berikut dapat dilihat interpretasi hasil pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10: Interpretasi hasil (a) arah-x (b) arah-y.

a. Struktur arah-x

Luas penampang elemen bresing	: 0,01 m ²
Total panjang elemen bresing	: 114.29 m
U _{max}	: 0,0357m

b. Struktur arah-y

Luas penampang elemen bresing	: 0,01 m ²
Total panjang elemen bresing	: 104.99 m
U _{max}	: 0,0482 m

Perbandingan simpangan maksimum sistem lateral bresing hasil optimasi topologi kontinum dan hasil interpretasi

a. Hasil optimasi topologi kontinum

Arah-x , U _{max}	= 0,06436 m
Arah-y, U _{max}	= 0,08587 m

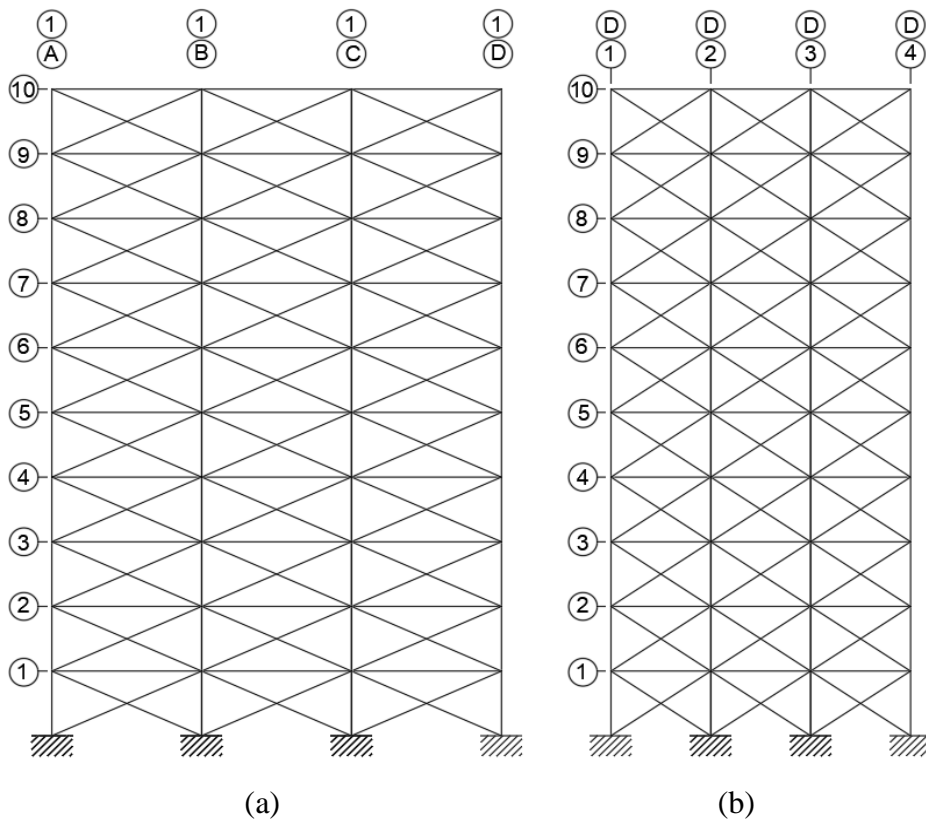
b. Interpretasi hasil optimasi topologi kontinum

$$\text{Arah-}x, U_{\max} = 0,0357\text{m}$$

$$\text{Arah-}y, U_{\max} = 0,0482\text{ m}$$

4.6. Sistem lateral bresing konvensional

Pada tugas akhir ini direncanakan 2 model bresing konvensional, dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.11: Bresing konvensional model 1
(a) Arah- x (b) Arah- y .

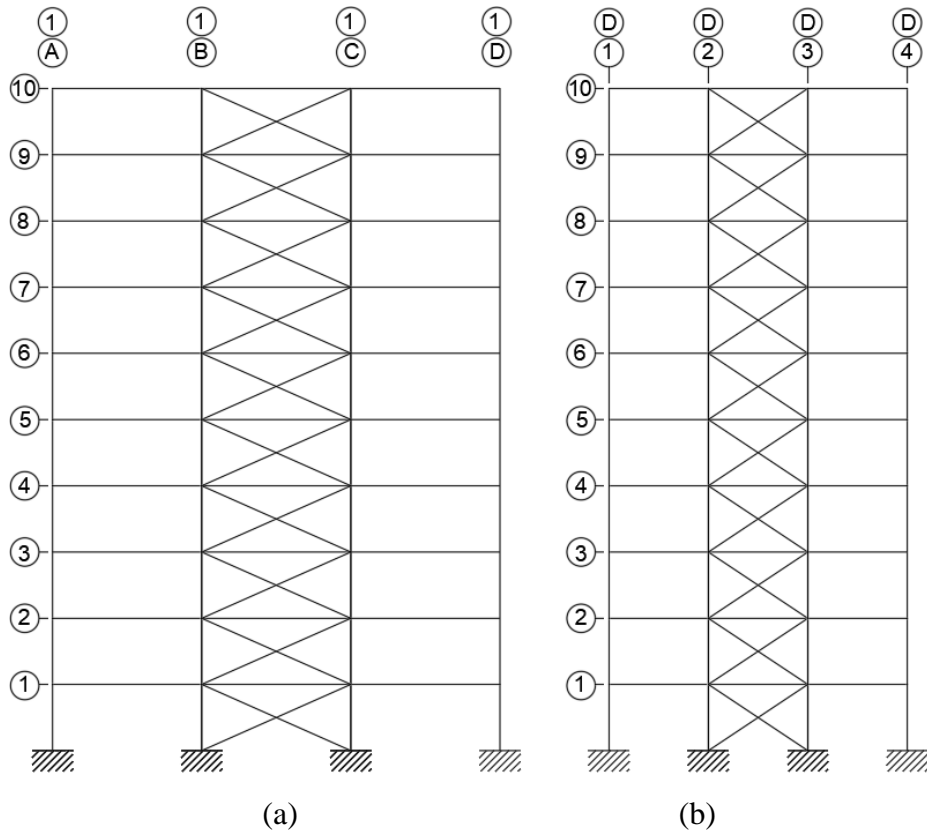
a. Struktur arah- x

Luas penampang elemen bresing	: 0,01 m ²
Total panjang elemen bresing	: 590,93 m
U_{\max}	: 0,0161 m

b. Struktur arah- y

Luas penampang elemen bresing	: 0,01 m ²
-------------------------------	-----------------------

Total panjang elemen bresing : 432,66 m
 U_{\max} : 0,0245 m



Gambar 4.12: Bresing konvensional model 2.
 (a) Arah-x (b) Arah-y.

a. Struktur arah-x

Luas penampang elemen bresing : 0,01 m²
 Total panjang elemen bresing : 196,97m
 U_{\max} : 0,0854 m

b. Struktur arah-x

Luas penampang elemen bresing : 0,01 m²
 Total panjang elemen bresing : 144,22 m
 U_{\max} : 0,1803 m

4.7. Perbandingan hasil sistem lateral bresing dengan optimasi topologi kontinum dan sistem lateral bresing konvensional

Pada tugas akhir ini akan membandingkan panjang bresing dan perpindahan sistem lateral bresing konvensional dengan sistem lateral bresing optimasi topologi kontinum. Perbandingan panjang bresing dan perpindahan dijelaskan pada tabel berikut.

Tabel 4.11: Perbandingan sistem lateral bresing.

Keterangan		Sistem lateral bresing dengan optimasi topologi kontinum	Bresing konvensional	
			Model 1	Model 2
Struktur arah-x				
1	Luas Penampang (m ²)	0,01	0,01	0,01
2	Total panjang elemen bresing (m)	114,29	590,93	196,97
3	Simpangan maksimum (m)	0,0357	0,0161	0,0854
Struktur arah-y				
1	Luas Penampang (m ²)	0,01	0,01	0,01
2	Total panjang elemen bresing (m)	104,99	423,66	144,22
3	Simpangan maksimum (m)	0,0482	0,245	0,1803

Tabel 4.12: Perbandingan perpindahan tiap lantai arah-x.

Interpretasi hasil Optimasi topologi			Bresing konvensional model 1			Bresing konvensional model 2		
Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan	
Base	$U(m)$	0	Base	$U(m)$	0	Base	$U(m)$	0
	$V(m)$	0		$V(m)$	0		$V(m)$	0
	$\theta(rad)$	0		$\theta(rad)$	0		$\theta(rad)$	0
1	$U(m)$	0,00193232	1	$U(m)$	0,001215222	1	$U(m)$	0,003307
	$V(m)$	0,00023525		$V(m)$	0,000665011		$V(m)$	9,65E-05
	$\theta(rad)$	-0,00076		$\theta(rad)$	-0,000412091		$\theta(rad)$	-0,0013
2	$U(m)$	0,00585091	2	$U(m)$	0,002723816	2	$U(m)$	0,009416
	$V(m)$	0,00050198		$V(m)$	0,001346198		$V(m)$	0,000206
	$\theta(rad)$	-0,0010542		$\theta(rad)$	-0,000366963		$\theta(rad)$	-0,00164
3	$U(m)$	0,01013228	3	$U(m)$	0,004335432	3	$U(m)$	0,016801
	$V(m)$	0,00079465		$V(m)$	0,001972567		$V(m)$	0,000319
	$\theta(rad)$	-0,0010096		$\theta(rad)$	-0,000417693		$\theta(rad)$	-0,00193

Tabel 4.12: Lanjutan.

Interprestasi Optimasi topologi			Bresing konvensional model 1			Bresing konvensional model 2		
Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan	
4	$U(m)$	0,01417618	4	$U(m)$	0,006074819	4	$U(m)$	0,02525
	$V(m)$	0,0010824		$V(m)$	0,002472975		$V(m)$	0,00042
	$\theta(rad)$	-0,0009864		$\theta(rad)$	-0,000434859		$\theta(rad)$	-0,00212
5	$U(m)$	0,01913891	5	$U(m)$	0,007883688	5	$U(m)$	0,034753
	$V(m)$	0,00143237		$V(m)$	0,002945066		$V(m)$	0,000528
	$\theta(rad)$	-0,0015004		$\theta(rad)$	-0,000445324		$\theta(rad)$	-0,00229
6	$U(m)$	0,02618665	6	$U(m)$	0,00971125	6	$U(m)$	0,044757
	$V(m)$	0,00177374		$V(m)$	0,003285558		$V(m)$	0,000617
	$\theta(rad)$	-0,0015124		$\theta(rad)$	-0,000442191		$\theta(rad)$	-0,0023
7	$U(m)$	0,02997389	7	$U(m)$	0,011510701	7	$U(m)$	0,0553
	$V(m)$	0,00177372		$V(m)$	0,003604085		$V(m)$	0,000717
	$\theta(rad)$	-0,0004119		$\theta(rad)$	-0,000421399		$\theta(rad)$	-0,0022
8	$U(m)$	0,03008329	8	$U(m)$	0,013221218	8	$U(m)$	0,065747
	$V(m)$	0,00178584		$V(m)$	0,003788021		$V(m)$	0,00079
	$\theta(rad)$	-0,0001551		$\theta(rad)$	-0,000398192		$\theta(rad)$	-0,00206
9	$U(m)$	0,03324687	9	$U(m)$	0,0147896	9	$U(m)$	0,076111
	$V(m)$	0,00179898		$V(m)$	0,003893867		$V(m)$	0,00085
	$\theta(rad)$	-0,0006998		$\theta(rad)$	-0,000355846		$\theta(rad)$	-0,00194
10	$U(m)$	0,03575482	10	$U(m)$	0,016179837	10	$U(m)$	0,085488
	$V(m)$	0,00180409		$V(m)$	0,003925046		$V(m)$	0,000877
	$\theta(rad)$	-0,0002868		$\theta(rad)$	-0,000328216		$\theta(rad)$	-0,00093

Tabel 4.13: Perbandingan perpindahan tiap lantai arah-y.

Interprestasi Optimasi topologi			Bresing konvensional model 1			Bresing konvensional model 2		
Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan	
Base	$U(m)$	0	Base	$U(m)$	0	Base	$U(m)$	0
	$V(m)$	0		$V(m)$	0		$V(m)$	0
	$\theta(rad)$	0		$\theta(rad)$	0		$\theta(rad)$	0
1	$U(m)$	0,004987	1	$U(m)$	0,001422	1	$U(m)$	0,005092
	$V(m)$	3,91E-04		$V(m)$	0,000977		$V(m)$	5,93E-05
	$\theta(rad)$	-0,00176		$\theta(rad)$	-0,00046		$\theta(rad)$	-0,0019
2	$U(m)$	0,012625	2	$U(m)$	0,003109	2	$U(m)$	0,014449
	$V(m)$	0,000856		$V(m)$	0,001972		$V(m)$	0,000128
	$\theta(rad)$	-0,00165		$\theta(rad)$	-0,00043		$\theta(rad)$	-0,0026
3	$U(m)$	0,018145	3	$U(m)$	0,005183	3	$U(m)$	0,02768
	$V(m)$	0,001374		$V(m)$	0,002887		$V(m)$	0,000201
	$\theta(rad)$	-0,00128		$\theta(rad)$	-0,00056		$\theta(rad)$	-0,00353

Tabel 4.13: *Lanjutan.*

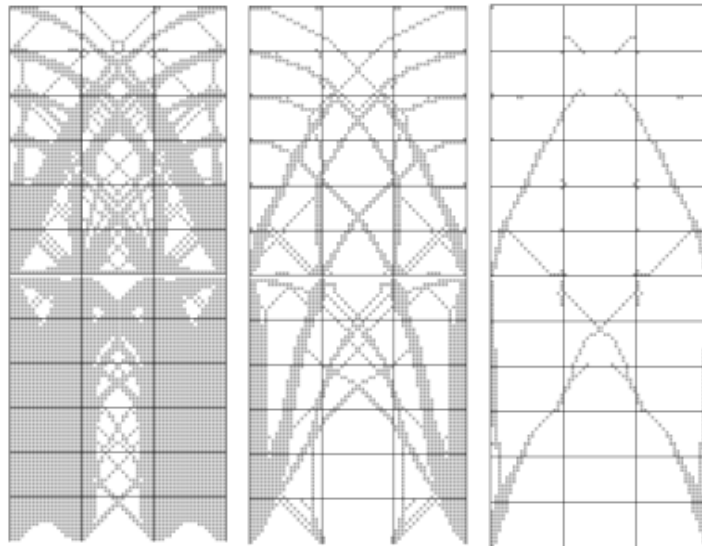
Interprestasi Optimasi topologi			Bresing konvensional model 1			Bresing konvensional model 2		
Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan		Lantai	Perpindahan	
4	$U(m)$	0,023928	4	$U(m)$	0,007583	4	$U(m)$	0,04421
	$V(m)$	0,001891		$V(m)$	0,00362		$V(m)$	0,000268
	$\theta(rad)$	-0,00133		$\theta(rad)$	-0,00062		$\theta(rad)$	-0,00409
5	$U(m)$	0,029545	5	$U(m)$	0,010229	5	$U(m)$	0,063524
	$V(m)$	0,002529		$V(m)$	0,004311		$V(m)$	0,000342
	$\theta(rad)$	-0,00156		$\theta(rad)$	-0,00068		$\theta(rad)$	-0,00462
6	$U(m)$	0,03583	6	$U(m)$	0,013052	6	$U(m)$	0,084978
	$V(m)$	0,003166		$V(m)$	0,004812		$V(m)$	0,000407
	$\theta(rad)$	-0,00083		$\theta(rad)$	-0,00071		$\theta(rad)$	-0,00484
7	$U(m)$	0,037684	7	$U(m)$	0,015976	7	$U(m)$	0,108079
	$V(m)$	0,00407		$V(m)$	0,005278		$V(m)$	0,000485
	$\theta(rad)$	-0,00098		$\theta(rad)$	-0,00072		$\theta(rad)$	-0,00497
8	$U(m)$	0,044775	8	$U(m)$	0,018915	8	$U(m)$	0,132146
	$V(m)$	0,004067		$V(m)$	0,00555		$V(m)$	0,000547
	$\theta(rad)$	-0,00146		$\theta(rad)$	-0,00072		$\theta(rad)$	-0,00478
9	$U(m)$	0,044583	9	$U(m)$	0,021789	9	$U(m)$	0,156583
	$V(m)$	0,004071		$V(m)$	0,005706		$V(m)$	0,000606
	$\theta(rad)$	-5.01E-05		$\theta(rad)$	-0,00069		$\theta(rad)$	-0,00585
10	$U(m)$	0,048219	10	$U(m)$	0,024524	10	$U(m)$	0,180356
	$V(m)$	0,004074		$V(m)$	0,005751		$V(m)$	0,000644
	$\theta(rad)$	-0,00073		$\theta(rad)$	-0,00066		$\theta(rad)$	0,000135

4.8. Penelitian sebelumnya

Pada subab ini membahas hasil penelitian sebelumnya sebagai perbandingan. Penelitian yang dibandingkan adalah penelitian yang dilakukan oleh Huang dan Wang, 2011 yang meneliti sistem lateral bresing menggunakan optimasi topologi kontinum pada struktur baja 12 lantai dengan beban gempa statis ekuivalen. Pada gambar 4.13 dan gambar 4.14 pemodelan struktur dan hasil optimasi topologi kontinum dimana pemodelan struktur sebagai berikut.



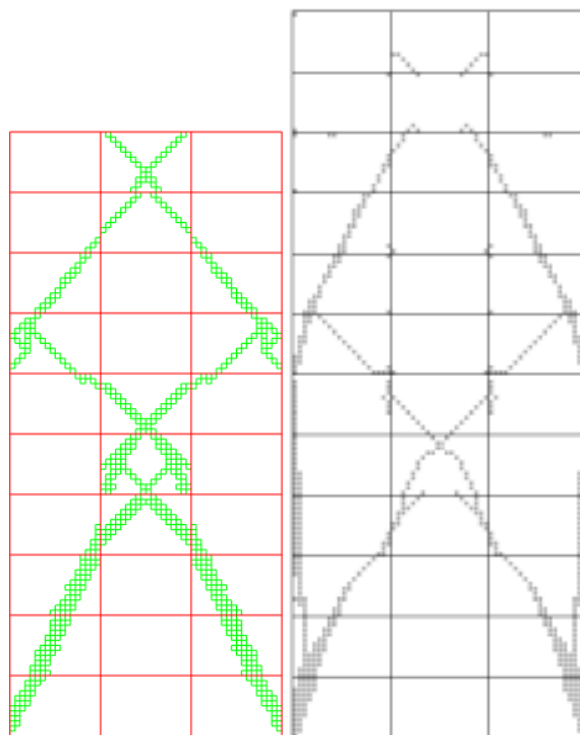
Gambar 4.13: Struktur baja 12 lantai (a) Struktur utama, (b) Struktur utama dengan desain domain (Huang dan Wang, 2011).



(a) (b) (c)

Gambar 4.14: Proses optimasi topologi

(a) Presentase jumlah elemen 70% (b) Presentase jumlah elemen 30%
 (c) Presentase jumlah elemen 7,9% (Huang dan Wang, 2011).



(a) (b)

Gambar 4.15: Perbandingan hasil penelitian optimasi topologi kontinum
 (a) Struktur baja 10 lantai (b) Struktur baja 12 lantai (Huang dan Wang, 2011).

Perbandingan hasil optimasi topologi kontinum yang dilakukan oleh Huang dan Wang, 2011 dengan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Sistem lateral bresing dari hasil penelitian Huang dan Wang, 2011 tidak kontinum pada setiap lantai hal ini dapat disebabkan
 - a. Penelitian tersebut tidak meninjau batasan simpangan maksimum setiap lantai
 - b. Simulasi dalam penelitian tsb tdk mempertahankan elemen desain domain yang memberi kontribusi besar terhadap displasment
2. Pola yang dihasilkan pada kedua penelitian yang dilakukan hampir serupa.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil optimasi topologi sistem lateral bresing pada arah- x diperlukan panjang sistem lateral bresing 114,29 m dengan simpangan maksimum adalah 0,0357 m dan pada arah- y diperlukan panjang sistem lateral bresing 104,99 m dengan simpangan maksimum adalah 0,0482 m.
2. Hasil model struktur yang menggunakan sistem lateral bresing konvensional, pada struktur model 1 arah- x gedung panjang total bresing 590,93 m dengan simpangan maksimum adalah 0,0161 m, arah- y panjang total bresing 432,66 m dengan simpangan maksimum adalah 0,0245 m. Dan pada struktur model 2 arah- x gedung panjang total bresing 196,97 m dengan simpangan maksimum adalah 0,0854 m, arah- y panjang total bresing 144,22 m dengan simpangan maksimum adalah 0,1803 m.
3. Perbandingan sistem lateral bresing konvensional dengan sistem lateral bresing hasil optimasi topologi sebagai berikut :
 - a. Model 1
 - Pada arah- x panjang total bresing 5,17 kali lebih panjang dan kekakuannya 2,21 kali lebih besar.
 - Pada arah- y panjang total bresing 4,12 kali lebih panjang dan kekakuannya 1,96 kali lebih besar.
 - b. Model 2
 - Pada arah x panjang total bresing 1,72 kali lebih panjang dan kekakuannya 0,41 kali lebih kecil.
 - Pada arah y panjang total bresing 1,37 kali lebih panjang dan kekakuannya 0,26 kali lebih kecil.
4. Sistem lateral bresing dengan optimasi topologi memberikan hasil yang optimal disebabkan optimasi topologi dapat memprediksi kebutuhan sistem

lateral bresing sesuai dengan distribusi beban gempa terhadap gedung ke pondasi.

5.2. Saran

Perlu penelitian lebih lanjut sistem lateral bresing terhadap pengaruh beban dinamis, frekuensi alami struktur dan penambahan sistem peredam struktur. Diharapkan tugas akhir ini dapat diteruskan atau dievaluasi kembali dalam rangka mendapatkan hasil yang lebih optimal dan dapat dilakukan perbandingan terhadap hasil yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, V., Fred, V. K., & Matthijs, L. (2015). *Topology Optimization with Stress Constraints*. Delft University of Technology.
- 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*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain SNI 1727:2020. 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.
- Bendsøe, Martin Philip, & Kikuchi, N. (1988). Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 71(2), 197–224.
- Bourdin, B., & Chambolle, A. (2003). Design-dependent loads in topology optimization. *ESAIM - Control, Optimisation and Calculus of Variations*, 9,
- 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.
- Eschenauer, H. A., Kobelev, V. V., & Schumacher, A. (1994). Bubble Method for Topology and Shape Optimization of Structures. *Structural optimization*, 8(1), 42–51.
- Gao, W., Lu, X., & Wang, S. (2022a). Seismic topology optimization based on spectral approaches. *Journal of Building Engineering*, 47.
- Gao, W., Lu, X., & Wang, S. (2022b). Seismic topology optimization based on spectral approaches. *Journal of Building Engineering*, 47(July 2021), 103781.
- Gomez, F., Spencer, B. F., & Carrion, J. (2020). Topology optimization of buildings

- subjected to stochastic base excitation. *Engineering Structures*, 223.
- Hassani, B., & Hinton, E. (1999). Homogenization Theory for Media with Periodic Structure. In *Homogenization and Structural Topology Optimization*.
- 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.
- Huang, X., & Xie, Y. (2010). A further review of ESO type methods for topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 41, 671–683.
- 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.
- 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. (2004). *Optimasi Topologi Sistem Lateral Bresing pada Gedung Berlantai Banyak*. Universitas Indonesia.
- Mahyunirsyah, & Katili, I. (2004). *Topology Optimization on Lateral Bracing System in Multistrory Building*.
- Mijar, B. A. R., Member, C. S., Member, J. S. A., & Kosaka, I. (1998). *Continuum Topology Optimization for Concept Design of Frame Bracing Systems*. May, 541–550.
- 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.
- Quan, Q., Xie, Y. M., & Steven, G. P. (2000). Optimal Topology Design Of Bracing Systems For Multistory Steel Frames. *J. Struct. Eng.*, July, 823–829.
- 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.
- 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.
- Sotiropoulos, S., & Lagaros, N. D. (2022). Optimum topological bracing design of tall steel frames subjected to dynamic loading. *Computers and Structures*, 259, 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 fillets 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.
- 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.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama lengkap : Muhamad Akbar
Tempat tanggal lahir : Tanjung Morawa, 27 Maret 2001
Jenis kelamin : Laki-laki
Alamat : Dusun III Gg Bilal IV Desa Buntu bedimbar
Kec. Tanjung morawa
Agama : Islam
Nama Ayah : Azis Hasbullah
Nama Ibu : Yuniar
No. Hp : 082365044842
Email : akbaryoung92@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

SD Negeri 105855 PTPN II Tanjung Morawa	2007 – 2013
SMP Negeri 1 Tanjung Morawa	2013 – 2016
SMA Negeri 1 Tanjung Morawa	2016 – 2019
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2019 – Selesai