TUGAS AKHIR

STUDI KOMPARASI RESPON STRUKTUR PADA GEDUNG BERTINGKAT DENGAN SISTEM DINIDNG GESER DAN PERTAMBATAN

(*COMPARATIVE STUDY OF STRUCTURAL RESPONSE ON MULTI-STORY BUILDINGS WITH SHEAR WALL AND BRACING SYSTEMS*)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Muhammad Aulia Rahman
16511096

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2021

TUGAS AKHIR

STUDI KOMPARASI RESPON STRUKTUR PADA GEDUNG BERTINGKAT DENGAN SISTEM DINIDNG GESER DAN PERTAMBATAN

(*COMPARATIVE STUDY OF STRUCTURAL RESPONSE ON MULTI-STORY BUILDINGS WITH SHEAR WALL AND BRACING SYSTEMS*)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Muhammad Aulia Rahman
16511096

Disetujui:
Pembimbing

Prof. Ir. Mochamad Teguh. MSCE., Ph.D.
Tanggal 16 April 2021

TUGAS AKHIR

STUDI KOMPARASI RESPON STRUKTUR PADA GEDUNG BERTINGKAT DENGAN SISTEM DINDING GESER DAN PERTAMBATAN

(*COMPARATIVE STUDY OF STRUCTURAL RESPONSE ON MULTI-STORY BUILDINGS WITH SHEAR WALL AND BRACING SYSTEMS*)

Disusun oleh

Muhammad Aulia Rahman
16511096

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan

Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji Pada tanggal: 30 April 2021

Oleh
Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph. D.	**Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D**	**Astriana Handawati S.T., M.Eng.**
NIK : 855110201	**NIK : 8845110101**	**NIK : 165111301**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, MT.
NIK : 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundangundangan yang berlaku

Yogyakarta,..... 2020

Yang membuat pernyataan,

Muhammad Aulia Rahman

16511096

DEDIKASI

Bismillahirrohmanirrohim

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang atas segala hidayah dan rahmat-Nya dipermudahkan untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Dengan segala rasa terimakasih saying persembahkan tugas akhir ini untuk:

1. Bapak Akhsyim affandi dan Ibu Ista Maharsi selaku orangtua saya yang telah memberikan dukungan dan do'a untuk saya. Kedua orangtua saya yang telah memberikan motivasi dan *supportnya* dalam keadaan hal apapun. Terimakasih sebanyak-banyaknya.
2. Teman-teman Teknik Sipil 2016 yang telah memberikan waktu dan pemahaman saat saya membutuhkan penjelasan dalam berbagai hal yang saya kurang pahami untuk mengerjakan tugas akhir ini.
3. Teman-teman grup diskusi Himi, Aryo, Rhesnu, Hoga, Koko, Kiko, Fauzi, Adit, Bagas, Naufal, Bagus, Aya, Yumi, dan Amartya yang telah memberikan arahan dan masukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Pembimbing Tugas akhir saya Prof. Ir. Mochammad Teguh, MSCE. PhD dan dosen-dosen lain yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi dalam pengerjaan tugas akhir.
5. Teman-teman satu bimbingan Prof. Ir. Mochammad Teguh, MSCE. PhD yang telah memberikan dukungan saat mengerjakan tugas akhir bersama.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga tugas akhir yang berjudul *Komparasi Respon Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Menggunakan Dinding Geser dan Sistem Pertambatan* dapat diselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan hingga tuntas, meskipun banyak rintangan dan hambatan, namun banyak pihak yang memberikan kritik, saran, dan dukungan semangat, Alhamdulillah. Dengan ini diucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya disampaikan kepada:

1. Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph. D. selaku Dosen Pembimbing.
2. Bapak Ir. Suharyatma, M.T selaku Penguji I.
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng selaku Penguji II.
4. Ibu Kaprodi Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.

Akhir kata, tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi para pembaca yang berkenan membacanya.

Yogyakarta, 18 Februari 2021

Penulis,

Muhammad Aulia Rahman

16511096

Daftar Isi

Halaman	i
Halaman Pengesahan	iii
Pernyataan Bebas Plagiasi	iv
Dedikasi	v
Kata Pengantar	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan penelitian	5
BAB II DAFTAR PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Perbedaan Penelitian	12
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Prinsip Bangunan Tahan gempa	15
3.2 Pembebanan	15
3.2.1 Beban Mati	15
3.2.2. Beban Hidup	15
3.2.3 Beban Gempa	16
3.2.4 Kombinasi Pembebanan Dasar untuk Metode Ultimit	16
3.2.5 Kombinasi Pembebanan Dasar untuk Metode Tegangan Izin	17
3.2.6 Gempa Horizontal dan Vertikal	18
3.3 Ketidakberaturan Struktur	19
3.4 Respon Dinamik Struktur	25
3.4.1 Klasifikasi Situs	25

3.4.2 Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum 26
3.4.3 Parameter Percepatan Spektral Desain 28
3.4.4 Geser Dasar Seismik 30
3.4.5 Distribusi Vertikal Gaya Seismik 31
3.5 Simpangan Antar Lantai 32
3.5.1 Penentuan Simpangan Antar Lantai 32
3.5.2 Batasan Simpangan Antar Lantai 33
3.6 Sistem Ganda 34
3.6.1 Dinding Geser 34
3.6.2 Sistem Pertambatan 35
BAB IV METODE PENELITIAN 38
4.1 Umum 38
4.2 Model Struktur 38
4.3 Data Penelitian 40
4.4 Metode Penelitian 40
4.5 Tahapan Penelitian 41
BAB V ANALSIS DAN PEMBAHASAN 44
5.1 Perhitungan Pembebanan Struktur 44
5.1.1 Bahan/Material 44
5.1.2 Beban Mati 44
5.1.3 Beban Hidup 47
5.1.4 Beban Dinding 47
5.1.5 Beban Gempa Respon Spektrum 48
5.1.6 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*) 58
5.1.7 Cek Ketidakberaturan Struktur 59
5.1.8 Cek Sistem Rangka Memikul 25% Gaya Seismik 64
5.2 Studi Komparasi Struktur 65
5.2.1 Simpangan Antar Lantai 65
5.2.2 *Drift Ratio* 70
5.2.3 *Displacement* 73
5.3 Perhitungan Estimasi Dimensi 74

5.3.1 Estimasi Dimensi Balok 75
5.3.2 Estimasi Dimensi Kolom 76
5.3.3 Dinding Geser 77
5.3.4 *Bracing* 77
5.3.5 Hasil Permodelan Struktur 81
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 84
6.1 Kesimpulan 84
6.2 Saran 86
DAFTAR PUSTAKA 87
LAMPIRAN 88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Permodelan 3D Struktur Menggunakan *Shearwall* Tipe 1 7
Gambar 2.2 Permodelan 3D Struktur Menggunakan *Shearwall* Tipe 2 8
Gambar 2.3 Permodelan 3D Struktur Menggunakan *Shearwall* Tipe 3 8
Gambar 2.4 Permodelan 3D Struktur Tanpa Menggunakan *Shearwall* Tipe 4 8
Gambar 2.5 Model Struktur 3D Tanpa Menggunakan Bresing Konsentrik X 9
Gambar 2.6 Model Struktur 3D Menggunakan Bresing Konsentrik X 9
Gambar 2.7 Model 3D Struktur Gedung 11
Gambar 3.1 Ketidakberaturan 1a dan 1b 20
Gambar 3.2 Ketidakberaturan 2 20
Gambar 3.3 Ketidakberaturan 3 20
Gambar 3.4 Ketidakberaturan 4 20
Gambar 3.5 Ketidakberaturan 5 21
Gambar 3.6 Ketidakberaturan 1a dan 1b 23
Gambar 3.7 Ketidakberaturan 2 23
Gambar 3.8 Ketidakberaturan 3 23
Gambar 3.9 Ketidakberaturan 4 23
Gambar 3.10 Ketidakberaturan 5 24

Gambar 3.11 Parameter gerak tanah Ss, gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spectrum respons 0,2 detik (redaman kritis 5%) 27
Gambar 3.12 Parameter gerak tanah, S1, gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2- detik (redaman kritis 5 %) 28
Gambar 3.13 Spektrum Respons Desain 29
Gambar 3.14 Penentuan Simpangan Antar Lantai 33
Gambar 3.15 Diagonal *Bracing* 35
Gambar 3.16 K-*Bracing* 35
Gambar 3.17 *Eccentric Bracing* 36
Gambar 3.18 Rangka *Bracing* Konsentrik 36
Gambar 3.19 Rangka *Bracing* Eksentrik 36
Gambar 4.1 Model 1 Denah Bangunan 39
Gambar 4.2 Model 2 Denah Bangunan Menggunakan *Shearwall* 39
Gambar 4.3 Model 3 Denah Bangunan Menggunakan *Bracing* 39
Gambar 4.4 *Flowchart* Penelitian 42
Gambar 5.1 Grafik Respon Spektrum 50
Gambar 5.2 Perbandingan Nilai *Base Shear* 59
Gambar 5.3 Grafik Simpangan Antar Lantai Model 1 67
Gambar 5.4 Grafik Simpangan Antar Lantai Model 2 68
Gambar 5.5 Grafik Simpangan Antar Lantai Model 3 68
Gambar 5.6 Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah X 69
Gambar 5.7 Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah Y 69
Gambar 5.8 Grafik Perbandingan *Drift Ratio* Arah X 72
Gambar 5.9 Grafik Perbandingan *Drift Ratio* Arah Y 72
Gambar 5.10 Grafik Perbandingan Nilai *Displacement* Arah X 73
Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Nilai *Displacement* Arah Y 74
Gambar 5.12 Denah Estimasi Balok 75

Gambar 5.13 Kategori Keamanan Profil Baja 77
Gambar 5.14 Cek Keamanan Tampang Samping 1 78
Gambar 5.15 Cek Keamanan Tampang Samping 2 78
Gambar 5.16 Cek Keamanan Tampang Samping 3 79
Gambar 5.17 Cek Keamanan Tampang Samping 4 79
Gambar 5.18 Cek Keamanan Tampang Samping 5 80
Gambar 5.19 hasil Analisis Frame 1866 81
Gambar 5.20 3D Model 1 (Tanpa Dinding Geser dan Pertambatan) 82
Gambar 5.21 3D Model 2 (Menggunakan Dinding Geser) 82
Gambar 5.22 3D Model 3 (Menggunakan Sistem Pertambatan 83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu 13
Tabel 3.1 Faktor Keutamaan Gempa 17
Tabel 3.2 Ketidakberaturan horizontal pada strukur 20
Tabel 3.3 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur 22
Tabel 3.4 Prosedur Analisis yang Diizinkan 24
Tabel 3.5 Klasifikasi Situs 25
Tabel 3.6 Koefisien Situs F_a 26
Tabel 3.7 Koefisien Situs F_v 27
Tabel 3.8 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x 31
Tabel 3.9 Simpangan Antar Tingkat Izin ($\Delta_a^{a,b}$) 34
Tabel 4.1 Permodelan Penelitian 38
Tabel 4.2 Data Penelitian 40
Tabel 5.1 Jenis Struktur Setiap Model 48
Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Desain Respon Spektrum 50
Tabel 5.3 Berat Total Bangunan 55
Tabel 5.4 Gaya Horisontal Model 1 57
Tabel 5.5 Gaya Horisontal Model 2 57
Tabel 5.6 Gaya Horisontal Model 3 58
Tabel 5.7 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*) 59
Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Torsi Model 1 Tanpa Pengaku 60
Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Torsi Model 2 dengan *Shearwall* 61
Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Torsi Model 3 dengan *Bracing* 62
Tabel 5.11 Hasil Perhitungan Ketidakberaturan Massa Model 1 63
Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Ketidakberaturan Massa Model 2 63
Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Ketidakberaturan Massa Model 3 63
Tabel 5.14 Cek Bangunan Memikul 25%
Gaya Seismik pada Model 2 (*Shearwall*) 64

Tabel 5.15 Cek Bangunan Memikul 25%
Gaya Seismik pada Model 3 (*Bracing*) 65
Tabel 5.16 Simpangan Antar Lantai pada Model 1
(tanpa pengaku) Arah X 66
Tabel 5.17 Simpangan Antar Lantai pada Model 1
(tanpa pengaku) Arah Y 67
Tabel 5.18 *Drift Ratio* Model 1 (Tanpa Pengaku) 70
Tabel 5.19 *Drift Ratio* Model 2 (Menggunakan *Shearwall*) 71
Tabel 5.20 *Drift Ratio* Model 3 (Menggunakan *Bracing*) 71
Tabel 5.21 Perbandingan Nilai *Displacement* 73
Tabel 5.22 Hasil Estimasi Ukuran Balok 76

ABSTRAK

Bangunan gedung bertingkat didesain agar dapat menahan gaya lateral dari gempa. Terdapat beberapa cara untuk memperkuat gedung bertingkat. Salah satu caranya adalah dengan ditambahkan sistem ganda yaitu dinding geser dan atau sistem pertambatan pada gedung. Dinding geser dan sistem pertambatan dapat difungsikan untuk menahan gaya horizontal atau gaya gempa yang terjadi pada bangunan. Tujuan penelitian ini dimaksudkan untuk membandingkan hasil analisis struktur terhadap 3 model struktur. Respon struktur dalam analisis ini mencakup nilai simpangan antar lantai, *base shear*, dan *displacement* yang terjadi diakibatkan oleh gaya gempa. Secara umum, model struktur bangunan yang dianalisis terdiri dari lantai 10. Model 1 adalah bangunan struktur yang tidak menggunakan dinding geser dan sistem pertambatan, model 2 adalah bangunan struktur yang menggunakan dinding geser berbentuk L, dan model 3 bangunan struktur yang menggunakan sistem pertambatan X. Ketiga model ini dimodelkan dan dianalisis menggunakan SAP2000. Hasil analisis struktur ketiga model tersebut menunjukkan nilai simpangan terkecil terjadi pada model 2 yaitu 0,041 mm. Penurunan nilai simpangan yang terjadi pada model 2 yaitu sebesar 12,6 mm dengan presentase 34,35%. Dengan nilai simpangan antar lantai terkecil adalah model 2, maka model ini menjadi model yang paling efektif dan efisien.

Kata kunci: dinding geser, sistem pertambatan, gedung bertingkat

ABSTRACT

Multi-story buildings are designed to withstand the lateral forces against earthquakes. There are several ways to strengthen multi-story building structures. One way is to add a dual system, namely the shear wall or the bracing systems. Shear walls and bracing techniques can resist earthquake forces in vertical and horizontal directions that occur in building structures. The purpose of this study is to compare the results of the structural analysis to three structural models. The structural response in this analysis includes the story drift, base shear, displacement, and structural behavior due to the earthquake force. In general, the structure models used in this study consist of 10 floors. The 1st model is a structure that does not use the shear wall and the bracing systems, the 2nd model is a structure completed with an L-shaped shear wall, and the 3rd model is a structure installed with the X bracing system. The analyses of three models were carried out by SAP2000 software. The results show that the most negligible story drift occurs in the 2nd model, namely 0.041 mm. The decrease in deviation value that arises in the 2nd model is 12.6 mm, with 34.35%. In the 1st model, the story drift exceeds the allowable limit, so that with such a model, it is not feasible. It is necessary to add shear walls or a mooring system.

Keywords: shearwall, bracing, multi-story building

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan kawasan yang memiliki gunung aktif yang lebih banyak dibandingkan negara lain. Indonesia dikatakan kawasan yang rawan gempa dikarenakan gunung api yang aktif. Secara geografis Indonesia juga merupakan pertemuan antara 4 lempeng yaitu lempeng Eurasia, lempeng Filipina, lempeng Pasifik, dan Lempeng Indo-Autralia. Secara geografis dan geologis, kondisi ini menyebabkan wilayah Indonesia sering dilanda gempa.

Salah satu bangunan sipil yang sangat terdampak karena adanya gempa adalah bangunan gedung bertingkat. Dampak yang terjadi karena gempa terhadap gedung bertingkat adalah pada perancangan struktur bangunan tersebut. Perancangan struktur bangunan bertingkat dengan mempertimbangkan beban gempa dalam proses desain akan memberikan elemen struktur menjadi lebih kokoh dalam menahan beban sementara tersebut dan akan memberikan rasa aman bagi para penghuninya.

Ada beberapa solusi untuk gedung dapat dalam memberikan tambahan kekuatan ekstra agar dapat menahan gaya gempa adalah dengan menambahkan struktur dinding geser (*shearwall*) atau sistem pertambatan (*bracing*) pada struktur utamanya. Dinding geser bukan merupakan dinding biasa tetapi elemen struktur yang dirancang untuk menahan gaya lateral akibat gemba bumi. Menurut Hutahaean dan Aswandy (2016) dinding geser berperan sangat membantu pada gedung bertingkat selain mencegah kegagalan dinding eskterior, dinding geser juga dapat membantu agar struktur tidak runtuh. *Bracing* merupakan elemen struktur penahan gaya lateral. *Bracing system* berupa batang yang dipasang pada portal struktur. Sehingga saat gempa terjadi gaya lateral yang diterima oleh struktur akan diteruskan ke elemen *bracing* ini sebagai gaya aksial. Berbagai bentuk sistem

pertambatan telah lazim diaplikasikan di lapangan baik untuk bangunan bertingkat rendah maupun tinggi. Pemilihan tipe pertambatan sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain; bentuk denah bangunan, geometri struktur, lokasi bangunan, wilayah/zona gempa, kondisi tanah, dan lain-lain. Selain itu pemilihan dan bentuk dinding geser dan pertambatan serta penempatannya juga ditentukan oleh para perencana. Sebelum dinding geser dan pertambatan ditetapkan, para perencana melakukan simulasi dalam analisis strukturnya sampai ditemukan konfigurasi dinding geser dan pertambatan yang sesuai dengan bangunan yang dirancang tersebut. Gambar 3.18 dan Gambar 3.19 memperlihatkan tipe rangka *bracing* yang tak lazim dipakai di lapangan.

Bangunan bertingkat pada daerah rawan gempa diperlukan ketelitian dan kecermatan dalam perancangan. Kompleksitas dalam analisis struktur akan semakin tinggi apabila pada struktur utama ditempatkan struktur dinding geser dan/atau pertambatan dengan tipe tertentu dalam upaya untuk meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan beban gempa. Meskipun masalah torsi dapat diatasi, penempatan dinding geser beserta geometrinya harus sesuai dengan persyaratan teknis dalam SNI 1726-2019 agar tidak berpotensi menimbulkan efek puntir pada bangunan. Untuk memenuhi persyaratan tersebut, maka di dalam proses desain bangunan tersebut di atas diperlukan *trial and error* dalam simulasi guna menguji akurasi dan ketepatan dalam penggunaan dinding geser dan/atau pertambatan. Setiap simulasi dalam analisis struktur akan diperoleh respon struktur dalam menahan beban gempa. Oleh karena itu, permasalahan ini menarik untuk diteliti sebagai materi tugas akhir. Bangunan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah bangunan simulasi (bukan bangunan riil) seperti terlihat pada Gambar 4.1.

Menurut SNI 1726-2019 pada Tabel 1.3 ketidakberaturan horizontal pada struktur disebutkan bahwa termasuk bangunan ketidakberaturan sudut dalam. Bangunan dengan konfigurasi tidak beraturan menjadi pilihan bangunan yang menarik untuk dibangun karena memliki bentuk yang tidak biasa dan terdapat nilai estetika. Akan tetapi bangunan yang tidak beraturan akan mempunyai nilai

eksentrisitas dan torsi yang tidak dimiliki oleh bangunan yang tidak *irregular* sehingga akan meningkatkan risiko pada keruntuhan bangunan saat terjadi gempa.

Perencanaan penelitian ini menggunakan 3 model gedung bertingkat tidak beraturan berbentuk L dengan jumlah lantai 10 dan total tinggi bangunan 31,5 m. Model pertama bangunan tidak menggunakan *shear wall* atau *bracing*, model kedua menggunakan *shear wall L-Shaped*, dan model ketiga menggunakan *bracing* tipe X. Dari ketiga akan diteliti respon strukturnya dari simpangan antar lantai/*drift ratio*, *displacement*, eksentrisitas dari ketiga model gedung bertingkat tersebut.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan analisis struktur untuk mengkomparasikan respon struktur terhadap efektifitas dalam menahan gaya gempa yang ditunjukkan melalui nilai simpangan antar lantai antara bangunan gedung bertingkat tidak beraturan menggunakan dinding geser atau menggunakan sistem pertambatan. Respon struktur dalam penelitian ini mencakup *drift ratio* atau simpangan antar lantai, *base shear*, *displacement*, dan irregularitas. Pada bangunan model pertama akan digunakan *shearwall* dan pada bangunan model yang kedua digunakan *bracing* pada denah yang sama dan penempatan yang sama.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa hal berikut ini.

1. Bagaimana perbandingan nilai *base shear* antara pemakaian *shearwall* dan *bracing* pada bangunan gedung bertingkat tidak beraturan?
2. Bagaimana perbandingan nilai simpangan antar lantai antara pemakaian *shearwall* dan *bracing* pada bangunan gedung bertingkat tidak beraturan?
3. Bagaimana pebandingan nilai *displacement* antara pemakaian *shearwall* dan *bracing* pada bangunan gedung bertingkat tidak beraturan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Menghasilkan perbandingan nilai *base shear* antara pemakaian *shearwall* dan *bracing* pada bangunan gedung bertingkat tidak beraturan.
2. Menghasilkan perbandingan nilai simpangan antar lantai antara pemakaian *shearwall* dan *bracing* pada bangunan gedung bertingkat tidak beraturan.
3. Menentukan nilai *displacement* antara pemakaian *shearwall* dan *bracing* pada bangunan gedung bertingkat tidak beraturan.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perkembangan konstruksi pada pembangunan gedung. Diantara beberapa manfaat adalah sebagai berikut ini.

1. Menghitung nilai simpangan antar lantai antara pemakaian *shearwall* dan *bracing system* pada bangunan gedung bertingkat tidak beraturan.
2. Mengetahui kefektifitasan antara pemakaian *shearwall* dan *bracing* pada bangunan gedung bertingkat tidak beraturan dalam menahan gaya gempa.
3. Memberikan alternatif dalam penggunaan *shearwall* maupun *bracing*
4. Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Penelitian

Beberapa Batasan lingkup penelitian adalah sebagai berikut.

1. Model struktur gedung rangka beton bertulang tidak beraturan dengan ketinggian 10 lantai dengan total tinggi bangunan 31,5 m.
2. Bangunan merupakan bangunan simulasi.
3. Struktur gedung berfungsi sebagai Apartemen.

4. Gedung berada di wilayah Padang dengan kondisi tanah sedang.
5. Analisis struktur dilakukan menggunakan program SAP2000.
6. Struktur gedung dimodelkan dalam bentuk 3 dimensi (3D).
7. Struktur pada gedung beton merupakan *open frame*, tumpuan berperilaku jepit.
8. Beban angin tidak diperhitungkan.
9. Beban yang diperhitungkan dalam analisis adalah beban mati, beban hidup, dan beban gempa.
10. Peraturan yang digunakan, meliputi :
    a. Perencanaan beban hidup dan beban mati menggunakan peraturan SKBI 1.3.53.1987.
    b. Perencanaan beban gempa menggunakan peraaturan SNI 03-1726-2019.
    c. Perencanaan beton bertulang menggunakan peraturan SNI 03-2847-2019.
11. Membandingkan dinding geser dan sistem pertambatan tidak melihat pada volume yang sama.
12. Semua tumpuan diasusmiskan jepit dan pada bagian lantai dasar sebagai struktural.
13. Struktur bawah tidak dianalisis.
14. Tangga dan lift tidak di desain akan tetapi diasumsikan sebagai beban dalam analisis struktur.
15. Tidak menganalisa biaya.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

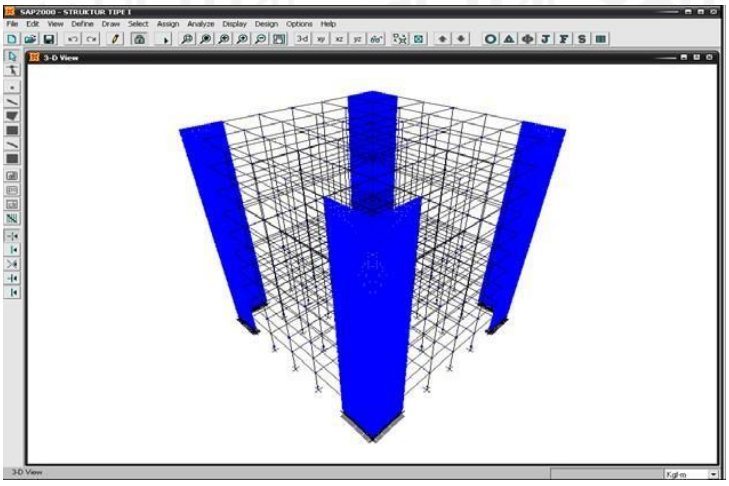
2.1 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan referensi yang dapat menjadi acuan terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Referensi yang dapat dijadikan acuan antara lain adalah jurnal ilmiah ataupun tugas akhir. Penelitian-penelitian mengenai pengaruh adanya dinding geser dan sistem pertambatan terhadap respon struktur pada gedung bertingkat sudah banyak dilakukan. Berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu yang dapat dijadikan sebagai tinjauan pustaka pada penelitian ini.

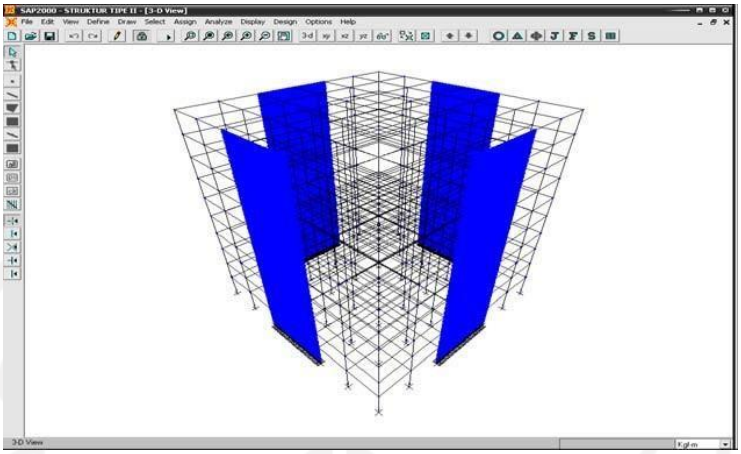
2.1.1 Pengaruh bentuk dan penempatan *shearwall* tipe L *shearwall* dan Tipe *straight shearwall* pada gedung bertingkat beraturan akibat gaya gempa

Penelitian yang dilakukan oleh Windah (2010) bertujuan untuk membandingkan besarnya simpangan pada struktur yang menggunakan dinding geser dan struktur yang tidak menggunakan dinding geser akibat gempa. Untuk analisisnya digunakan software SAP2000.

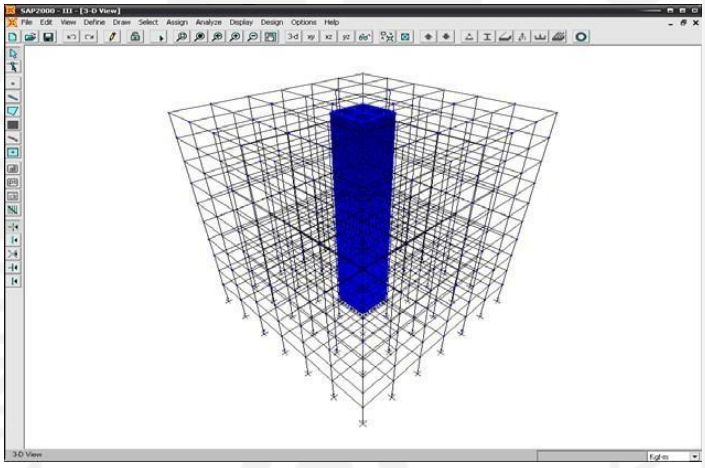
Penempatan dinding geser pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.1 sampai dengan Gambar 2.5.



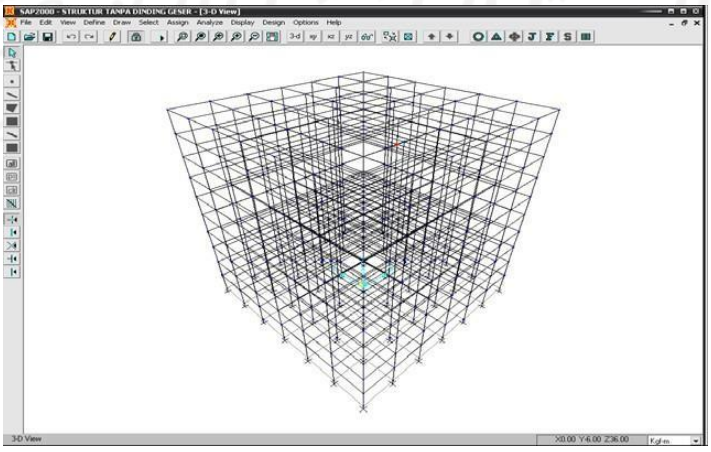
Gambar 2.1 Permodelan 3D struktur menggunakan *shearwall* tipe 1



Gambar 2.2 Permodelan 3D struktur menggunakan *shearwall* tipe 2



Gambar 2.3 Permodelan 3D struktur menggunakan *shearwall* tipe 3



Gambar 2.4 Permodelan 3D struktur tanpa menggunakan *shearwall* tipe 4

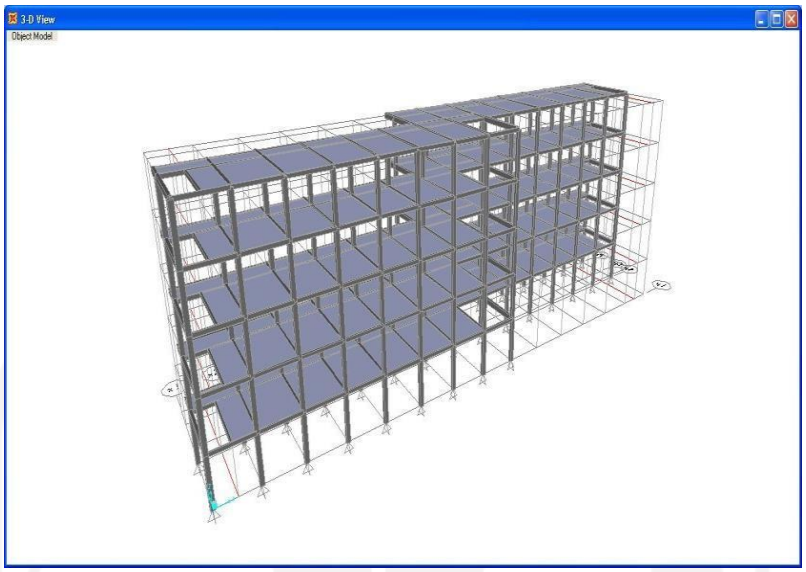
Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penggunaan dinding geser pada suatu struktur yang mengalami pembebanan gempa statik, dapat mereduksi besarnya simpangan lateral yang terjadi pada struktur sebesar *19,7 %*, *37,07 %* dan *30,3 %*.
2. Variasi letak dinding geser pada ketiga struktur yang ditinjau tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya simpangan yang terjadi pada struktur yaitu sebesar *14,5* % dan *8,9* % .
3. Dalam analisa struktur yang menggunakan dinding geser, selain *kekakuan akibat lentur* perlu juga ditinjau *kekakuan akibat geser*.
4. *Inersia penampang* (*I*) merupakan faktor yang paling berpengaruh dalam meningkatkan kekakuan geser maupun kekakuan struktur secara umum.

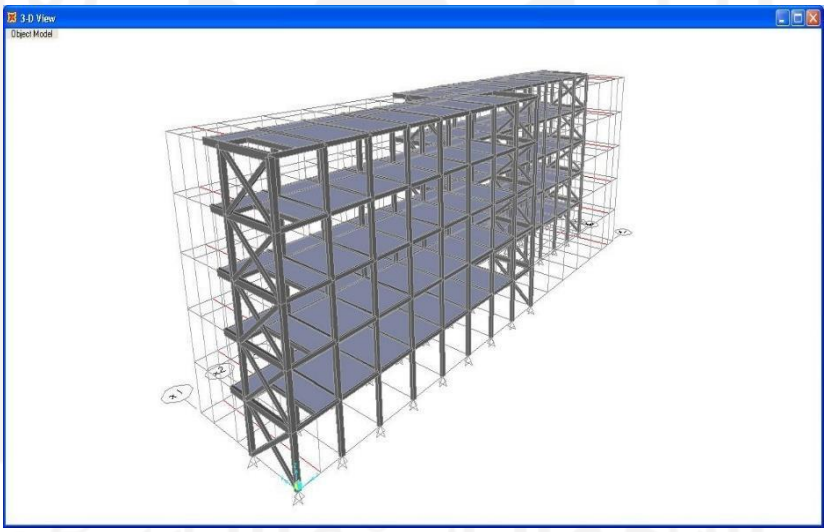
2.1.2 Perbandingan Struktur Gedung dengan menggunakan *bracing* tipe X Sebelum dan Sesudah Terjadi Gempa Sebagai Bentuk Evaluasi Struktur

Haryono (2016) melakukan penelitian bertujuan untuk melakukan evaluasi struktur gedung pada kondisi terjadinya gempa sebelum dan setelah penambahan bresing X. Analisis menggunakan metode analisis gempa statis dan dinamis dengan bantuan program SAP2000. Evalusai dilakukan pada gaya moment (*bending moment*), gaya geser (*shear force*), gaya normal (*axial force*) dan perpindahan (*displacement*).

Struktur gedung yang dianalisis berupa struktur bangunan 5 lantai dengan tinggi bangunan 20 m dan menggunakan atap plat beton. Fungsi gedung digunakan sebagai rumah susun dan terletak pada zona wilayah gempa 3 dengan jenis tanah keras. Model denah yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.



Gambar 2.5 Model struktur 3D tanpa menggunakan bresing konsentrik X



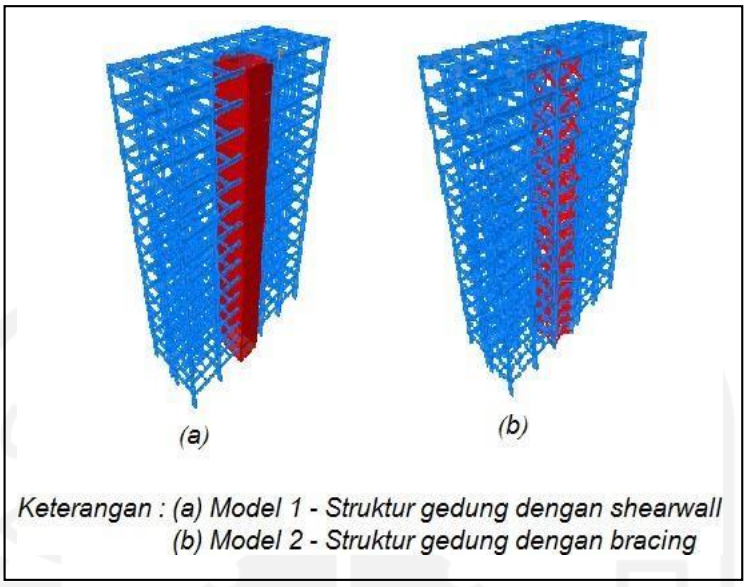
Gambar 2.6 Model struktur 3d menggunakan bresing konsentrik X

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, hasil analisis data dan pembahasan mengenai penggunaan struktur bresing konsentrik X untuk perbaikan kinerja struktur gedung bertingkat terhadap beban lateral akibat gempa dapat diambil kesimpulan :

1. Kinerja batas layan dan batas ultimit struktur tanpa bresing berdasarkan analisis gempa dinamis tidak memenuhi kriteria dalam SNI SNI 03-1726-2002. Struktur tanpa bresing tidak aman baik untuk arah X maupun arah Y.
2. Kinerja batas layan dan batas ultimit struktur dengan penambahan bresing alternatif 1 tidak aman untuk arah X sedangkan untuk arah Y sudah aman. Kinerja batas layan dan batas ultimit struktur dengan penambahan bresing alternatif 1 belum memenuhi kriteria dalam SNI SNI 03-1726-2002.
3. Kinerja batas layan dan batas ultimit struktur dengan penambahan bresing alternatif 2 aman untuk arah X dan arah Y. Kinerja batas layan dan batas ultimit struktur dengan penambahan bresing alternatif 2 sudah memenuhi kriteria dalam SNI SNI 03-1726-2002.
4. Kinerja struktur dengan penambahan bresing alternatif 2 jauh lebih baik jika dibandingkan struktur tanpa bresing dan struktur dengan penambahan bresing alternatif 1. Penambahan bresing dengan lokasi yang tepat dapat memperbaiki kinerja struktur secara signifikan.

2.1.3 Studi Komparasi Struktur Antara *Shearwall* dan *Bracing* Tipe X pada Gedung Beraturan Menggunakan Etabs

Penelitian Hutahaean dkk, (2016) bertujuan untuk mengetahui perilaku kinerja struktur yang terdiri dari pola keruntuhan, *roof displacement, base shear* dan level kinerja pada kedua model struktur. Hasil analisis *pushover* pada kedua model kemudian dibandingkan sehingga didapat perbedaan kinerja pada kedua model. Desain yang digunakan pada penelitian ini adalah gedung hotel 15 lantai yang terdiri dari 2 tipe struktur. Model pertama adalah struktur gedung dengan menggunakan *shear wall* sebagai elemen penahan gaya gempa dan model kedua adalah struktur gedung dengan menggunakan *bracing* tipe X sebagai penahan gaya gempa. Penelitian dibantu dengan aplikasi Etabs. Gambar 2.7 menunjukkan model 3D bangunan yang dianalisis.



Gambar 2.7 Model 3D struktur gedung

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. dimensi *bracing* yang menghasilkan *drift* yang sama adalah WF27x281 untuk lantai 1- lantai 5, WF14x132 untuk lantai 6-lantai 10 dan WF12x87 untuk lantai 11-lantai 15, dan dimensi kolom penopang *bracing* adalah 600x1800 untuk lantai 1-lantai 3, 500x1600 untuk lantai 4-lantai 6, 400x1200 untuk lantai 7-lantai 9, 300x900 untuk lantai 10-lantai 12 dan 300x800 untuk lantai 13-lantai 15;
2. struktur gedung dengan *shear wall* memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih besar daripada struktur gedung dengan *bracing*;
3. kedua struktur memiliki level kinerja yang sama, yaitu *Immediate Occupancy* (IO).

2.2 Perbedaan Penelitian

Berdasarkan dari beberapa penelitian terdahulu adapun perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbedaan penelitian terdahulu

No	Peneliti	Substansi penelitian terdahulu	
		Terdahulu	**Baru**
1	Windah, R.S. (2010)	1. Analisis gempa menggunakan acuan SNI 1726-2002	1. Analisis gempa menggunakan acuan SNI 1726-2019
		2. Bangunan yang digunakan sebagai objek penelitian beraturan	2. Bangunan yang digunakan sebagai objek penelitian *irreguler*
		3. Perbandingan respon struktur pada bangunan menggunakan *shear wall* dan bangunan tanpa *shear wall*	3. Perbandingan respon struktur antara *shear wall* dan *bracing* pada gedung bertingkat
2	Haryono, Sri. dkk (2016)	1. Analisis Gempa menggunakan acuan SNI 1726-2002	1. Analisis gempa menggunakan acuan SNI 1726-2019
		2. Perbandingan struktur gedung saat terjadinya gempa sebelum dan setelah penambahan bresing X	2. Perbandingan respon struktur antara *shear wall* dan *bracing* pada gedung bertingkat
3	Hutahaean, S.G., dan Aswandy (2016)	1. Analisis Gempa menggunakan acuan 1726-2012	1. Analisis gempa menggunakan acuan 1726-2019

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan peneleitian terdahulu

No	Penelitian	Substansi penelitian	
		Terdahulu	**Baru**
		2. Permodelan menggunakan *software* ETABS	2. Permodelan menggunakan *software* SAP2000
		3. Bangunan yang dijadikan objek adalah bangunan beraturan	3. Bangunan yang dijadikan objek adalah bangunan tidak beraturan

Penelitian yang sudah dilakukan mempunyai persamaan dalam menganalisis respon struktur pada bangunan gedung bertingkat dengan pertambahan *shearwall* dan atau *bracing*. Perbedaan dengan penelitian terdahulu adalah bangunan yang digunakan sebagai objek penelitian merupakan bangunan *irregular* (bangunan tidak beraturan) dan standar yang digunakan adalah standar terbaru yaitu SNI 1726-2019. Pertambahan struktur penahan gaya gempa pada penelitian ini adalah dinding geser (*shearwall*) tipe *L-shaped* dan *bracing* tipe "X". Kedua pertambahan struktur penahan gaya gempa akan dianalisis perbedaan hasil respon strukturnya.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Bangunan Tahan Gempa

Pada bangunan gedung di kawasan yang sering terjadi gempa seperti Indonesia, diharuskan perencanaan struktur yang dapat menahan gaya gempa dan beban gedung itu sendiri. Standar bangunan gedung bertingkat juga bermacam-macam tergantung fungsi gedung tersebut. Semakin krusial fungsi gedung maka semakin tinggi pula standar yang harus dicapai.

Dalam memperhitungkan faktor ekonomis suatu bangunan, Widodo (2012) mengatakan bahwa terdapat pengelompokan menurut kekuatan gempa dan peforma bangunan dalam rangka melindungi manusia, tetapi tetap memperhitungkan tingkat ekonomis bangunan yang dituangkan dalam desain filosofi. Desain filosofi yang dimaksud adalah sebagai berikut ini.

1. Pada gempa dengan skala kecil yang sering terjadi, struktur utama pada bangunan tidak boleh rusak. Jika terdapat kerusakan kecil yang terjadi pada elemen non-struktur maka masih dapat ditolerir.
2. Pada gempa dengan skala menengah yang jarang terjadi, struktur bangunan diperbolehkan rusak akan tetapu masih dalam skala kerusakan ringan yang dapat diperbaiki. Kerusakan yang terjadi pada elemen non-struktur dpaat diganti dengan yang baru.
3. Pada gempa dengan skala yang kuat yang jarang terjadi bangunan diperbolehkan untuk rusak akan tetapi tidak boleh mengalami keruntuhan total. Kondisi ini jika terjadi gempa kuat maka masih dapat melindungi penghuni bangunan secara optimal.

3.2 Pembebanan

Beban harus meliputi berat sendiri, beban kerja, dan pengaruh dari gaya prategang, gempa, kekangan terhadap perubahan volume dan perbedaan penurunan (SNI 2847-2019 pasal 5.2). Berdasarkan pasal tersebut penelitian ini memakai beberapa standar pembebanan dalam menganalisis bangunan gedung yang akan diteliti. Beban yang digunakan adalah antara lain beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

3.2.1 Beban Mati

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 lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran (SNI 1727-2013 pasal 3.1.1).

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yag bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan,penyelesaian-penyelesaian, mesin mesin serta perlatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu (PPURG 1987).

Berdasarkan 2 pasal diatas beban mati rencana adalah berat peralatan layan yang sudah diperhitungkan dalam bangunan gedung seperti pengondisian udara, plambing, system mekanikal, system elektrikal, alam pemanas dan lain-lain.

3.1.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang disebabkan beban yang bukan struktural seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati (SNI 1727-2013).

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatanyang tidak merupakan bagian yang tak terpisakan dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dana tap tersebut (PPURG 1987).

Ketentuan nilai beban hidup sudah diatur dalam SNI 1727-2013 Pasal 4 Tabel 1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L*0* dan Beban Hidup Terpusat Minimum.

3.2.3 Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019, dalam menentukan pengaruh gempa rencana yang ditinjau pada evaluasi ataupun perencanaan struktur bangunan ditetapkan kemungkinan terlampaui selama umur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Beban gempa juga menyebabkan risiko yang besar. Ada berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung yang sudah ditentukan oleh SNI 1726-2019 pada Tabel 3 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa halaman 24. Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai Tabel 3 pengaruh gempa rencana terhadapanya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e menurut Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Faktor keutamaan gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : SNI 1726:2019

Pada setiap system struktur memiliki masing-masing nilai R, C_d, dan Ω_0 yang harus dikenakan pada setiap system strukturnya, batasan sistem struktur sudah diatur dalam SNI 1726-2019 pada Tabel 12 Faktor R, C_d, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik halaman 49.

3.2.4 Kombinasi Pembebanan Dasar untuk Metode Ultimit

Mengacu pada SNI 1726-2019, terdapat kombinasi pembebanan dasar untuk metode ultimit yang akan dipakai. Kombinasi pembebanan yang akan dipakai adalah sebagai berikut.

1. 1,4 D (3.1)
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r atau R) (3.2)

3. 1,2 D + 1,6 (L_r atau R) + (L atau 0,5 W) (3.3)
4. 1,2 D + 1 ,0 W + L + 0,5 (L_r atau R) (3.4)
5. 1,2 D + 1,0 E + L (3.5)
6. 0,9 D + 1,0 W (3.6)
7. 0,9 D + 1,0 E (3.7)

dengan :

D = beban mati,
E = beban gempa,
L = beban hidup,
L_r = beban hidup atap,
R = beban hujan,
S = beban salju,
W = beban angin,

3.2.5 Kombinasi Pembebanan Dasar untuk Metode Tegangan Izin

Mengacu pada SNI 1726-2019, terdapat kombinasi pembebanan dasar untuk metode tegangan izin yang akan dipakai. Kombinasi tersebut adalah sebagai berikut.

1. D (3.8)
2. D + L (3.9)
3. D + (L_r atau R) (3.10)
4. D + 0,75 L + 0,75 (L_r atau R) (3.11)
5. D + 0,6 W (3.12)
6. D + 0,75 (0,6 W) + 0,75 L + 0,75 (L_r atau R) (3.13)
7. 0,6 D + 0,6 W (3.14)
8. 0,6 D + 0,7 E (3.15)
9. 1 D + 0,7 E (3.16)
10. 1 D + 0,525 E + 0,75 L (3.17)

dengan :

D = beban mati,

E = beban gempa,

L = beban hidup,

L_r = beban hidup atap,

R = beban hujan,

S = beban salju,

W = beban angin,

3.2.6 Gempa Horizontal dan Vertikal

Pengaruh beban gempa pada bangunan terjadi secara horizontal dan vertikal. Pada SNI 1726-2019 pasal 7.4.2 mengatur pengaruh beban gempa dengan persamaan. Pada kombinasi 5 dan 6 yang menggunakan persamaan berikut untuk menentukan nilai E yang menunjukkan adanya gaya gempa.

$$E = E_h + E_v \quad (3.18)$$

Pada kombinasi 7 menggunakan persamaan berikut dalam menentukan nilai E.

$$E = E_h - E_v \quad (3.19)$$

Pengaruh E_h atau beban gempa horizontal ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$E_h = \rho Q_E \quad (3.20)$$

Pengaruh E_v atau beban gempa vertikal ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$E_v = 0{,}2\ S_{DS}\ D \quad (3.21)$$

Keterangan :

E = pengaruh beban seismik

E_h = pengaruh beban seismik horizontal

E_v = pengaruh beban seismik vertikal

3.3 Ketidakberaturan Struktur

Struktur diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan. Berdasarkan SNI 1726-2019 klasifikasi tersebut didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur.

Ketidakberaturan horizontal mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat pada Tabel 3.2 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Tabel Ketidakberaturan horizontal ditunjukkan sebagai berikut.

Tabel 3.2 Ketidakberaturan horizontal pada strukur

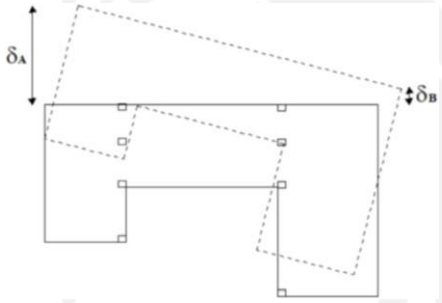
	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	**Ketidakberaturan Torsi** didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan A_x = 1,0, di salah satu ujung struktur melintag terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku	Tabel 3.4	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E dan F
1b.	**Ketidakberaturan Torsi Berlebihan** didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga degan Ax = 1,0, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratanketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	Tabel 3.4	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	**Ketidakberaturan Sudut Dalam** didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	Tabel 3.4	D, E, dan F D, E, dan F
3.	**Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma** didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	Tabel 3.4	D, E, dan F D, E, dan F

Lanjutan Tabel 3.2 Ketidakberaturan horizontal pada strukur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
4.	**Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak turus terhadap** bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	Tabel 3.4	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	**Ketidakberaturan Sistem Nonparalel** didefninisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbusumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	Tabel 3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

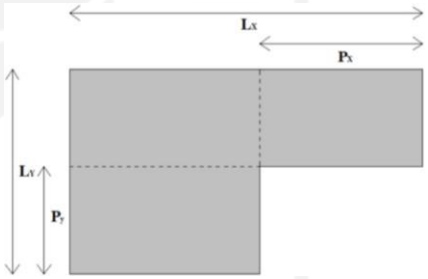
Sumber: SNI 1726-2019

Penjelasan pada Tabel 3.2 dapat di tunjukkan pada Gambar 3.1 sampai Gambar 3.5 Tipe Ketidakberaturan horizontal.



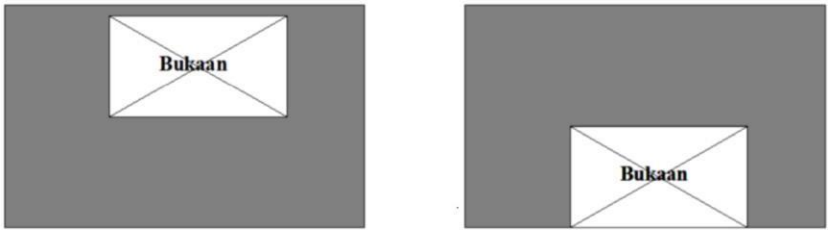
Gambar 3.1 Ketidakberaturan 1a dan 1b

(Sumber : SNI 1726-2019)



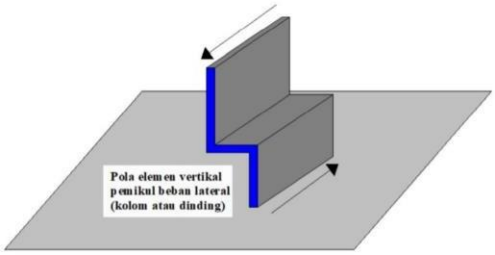
Gambar 3.2 Ketidakberaturan 2

(Sumber : SNI 1726-2019)



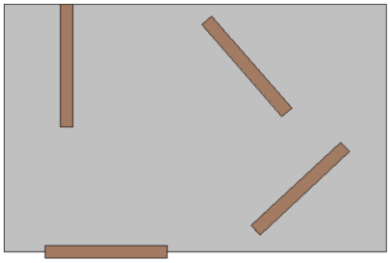
Gambar 3.3 Ketidakberaturan 3

(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3.4 Ketidakberaturan 4

(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3.5 Ketidakberaturan 5

(Sumber : SNI 1726-2019)

Ketidakberaturan vertikal mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 3.3 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan vertikal. Tabel Ketidakberaturan horizontal ditunjukkan sebagai berikut.

Tabel 3.3 Ketidakberaturan vertikal pada struktur

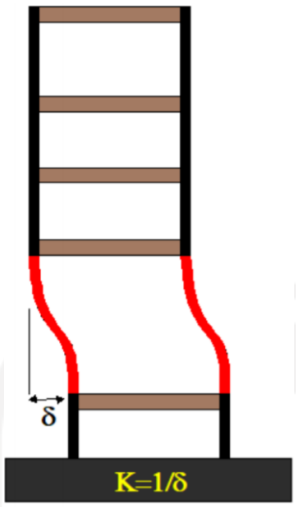
	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	**Pasal referensi**	**Penerapan kategori desain seismik**
1a.	**Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak** didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 3.4	D, E, dan F
1b.	**Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan** didefinisikan ada jika terdapat suatutingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya	Tabel 3.4	E dan F D, E, dan F
2.	**Ketidakberaturan Berat (Massa)** didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 3.4	D, E, dan F
3.	**Ketidakberaturan Geometri Vertikal** didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 3.4	D, E, dan F

Lanjutan Tabel 3.3 Ketidakberaturan vertikal pada struktur

	Tip`e dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
4.	**Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral** didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	Tabel 3.4	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	**Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral** Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau	Tabel 3.4	E dan F D, E,dan F
5b.	**Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat** didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	Tabel 3.4	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

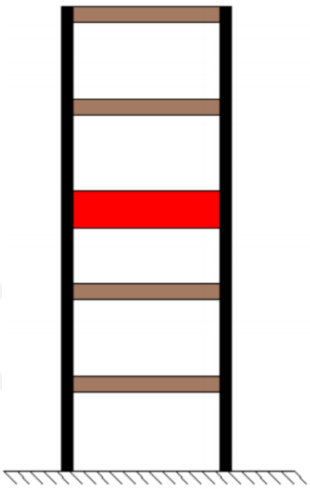
SNI 1726-2019

Penjelasan pada Tabel 3.3 dapat di tunjukkan pada Gambar 3.6 sampai Gambar 3.10 Tipe Ketidakberaturan vertikal.



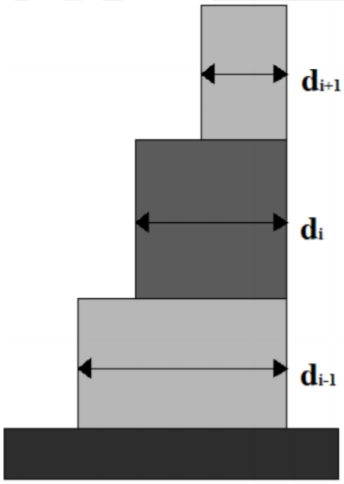
Gambar 3.6 Ketidakberaturan 1a dan 1b

(Sumber : SNI 1726-2019)



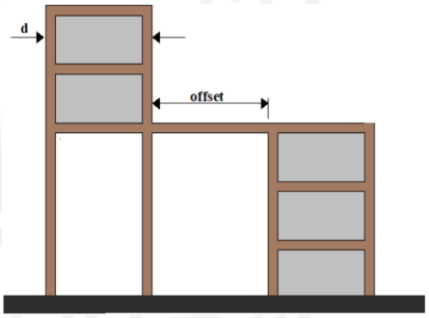
Gambar 3.7 Ketidakberaturan 2

(Sumber : SNI 1726-2019)



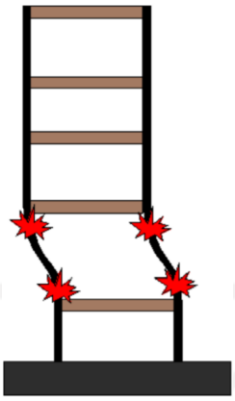
Gambar 3.8 Ketidakberaturan 3

(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3.9 Ketidakberaturan 4

(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3.10 Ketidakberaturan 5

(Sumber : SNI 1726-2019)

Prosedur analisis yang diizinkan dapat dilihat di Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Prosedur analisis yang diizinkan

Kategori desain seismic	Karakteristik Stuktur	Analisis gaya lateral ekivalen pasal 0	Analisis spectrum respons ragam pasal 0	Prosedur respons riwayat waktu seismic pasal 0
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiki I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan strukturan dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan T < 3,5 T	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidaberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Sumber : SNI 1726-2019

3.4 Respon Dinamik Struktur

3.4.1 Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada suatu bangunan. Permumusan kriteria seismik suatu bangunan di permukaan atnah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasidikasikan terlebih dahulu. Klasifikiasi situs dapat dilihat di tabel 3.5.

Tabel 3.5 Klasifikasi situs

Kelas Situs	**v (m/detik)**	***N* atau *Nch***	**s (kPa)**
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	>100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karateristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, PI > 20 , 2. Kadar air, w ≥ 40% , 3. Kuat geser niralir su < 25 kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	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 m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan H > 7,5 m dengan indeks plasitisitas PI > 75) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan H > 35 m dengan su < 50 kPa		

Sumber : SNI 1726-2019

3.4.2 Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum

Berdasarkan SNI 1726-2019, untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (Fa) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (Fv). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan 3.18 dan 3.19 berikut ini:

$$S_{ms} = F_a S_s \quad (3.18)$$

$$S_{m1} = F_v S_1 \quad (3.19)$$

dengan:

S_s = parameter respons spektral percepata gempa MCER terpetakan untuk periode pendek,

S_1 = parameter respons spektral percepata gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik,

F_a = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek,

F_v = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik,

S_{ms} = Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek,

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

Nilai koefisien F_a dan F_v mengikuti tabel 3.6 dan Tabel 3.7.

Tabel 3.6 Koefisien situs Fa

Kelas Situs	**Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko -tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, Ss**					
	Ss≤ 0,25	Ss = 0,5	Ss = 0,75	Ss = 1,0	Ss = 1,25	Ss ≥ 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	$SS^{(a)}$					

Sumber : SNI 1726-2019

CATATAN:

a. SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Tabel 3.7 Koefisien situs F_V

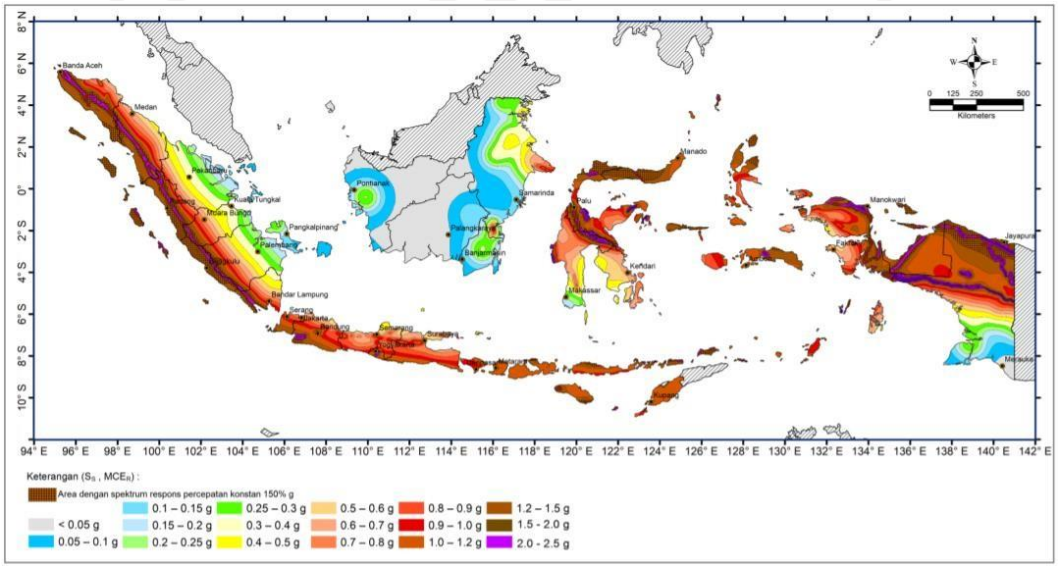
Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko -tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode1 detik, S_1					
	S_S 0,25	Ss = 0,5	Ss = 0,75	Ss = 1,0	Ss = 1,25	Ss 1,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber : SNI 1726-2019

CATATAN:

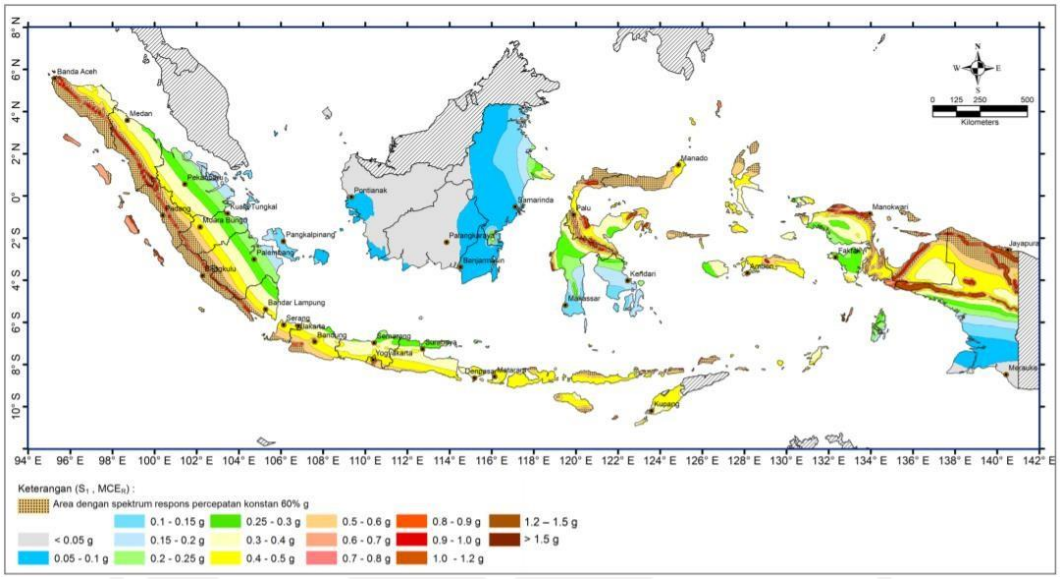
a. SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Nilai Parameter Ss dan S1 dapat diltentukan dari Gambar 3.11 dan 3.12 sebagai berikut.



Gambar 3.11 Parameter gerak tanah Ss, gema maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spectrum respons 0,2 detik (redaman kritis 5%)

(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3.12 Parameter gerak tanah, S1, gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2- detik (redaman kritis 5 %)

(Sumber : SNI 1726-2019)

3.4.3 Parameter Percepatan Spektral Desain

Spektrum respons desain harus dikembangkan sesuai dengan Gambar 3.9 sebagai berikut dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari *T0* dan lebih kecil dari atua sama dengan *Ts*, spektrum respons percepatan desain, *Sa* sama dengan *SDS*, harus diambil dari persamaan berikut,

$$Sa = SDS\,(0{,}4 + 0{,}6\,\frac{T}{T_0}) \qquad (3.20)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan *T0* dan lebih kecil dari atau sama dengan *Ts* , spektrum respons percepatan desain, *Sa* sama dengan *SDS*,
3. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan *Ts* tetapi lebih kecil dari atau sama dengan *TL*, respons spektral percepatan desain, *Sa*, diambil berdasarkan persamaan 3.21 sebagai berikut.

$$Sa = \frac{SD1}{T} \qquad (3.21)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L, respons spektral percepatan desain, S_a, diambil berdasarkan persamaan 3.28 sebagai berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1}\, T_L}{T^2} \qquad (3.22)$$

dengan:

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

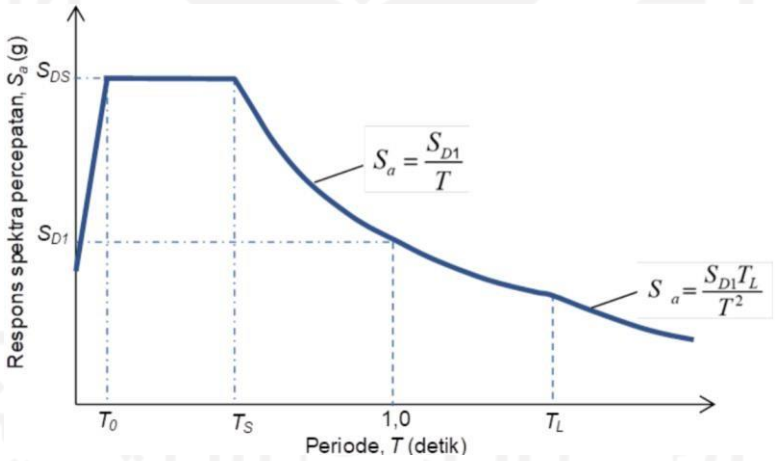
S_{D1} = parameter repsons spektral percepatan desain pada periode 1 detik,

T = periode getar fundamental struktur,

T_0 = $0{,}2\ \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$,

T_S = $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$,

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



Gambar 3.13 Spektrum respons desain

(Sumber : SNI 1726-2019)

3.4.4 Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (*v*) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan 3.23 sebagai berikut.

$$V = C_S W \quad (3.23)$$

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.24)$$

dengan:

C_S = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan persamaan 3.12

W = berat seismik efektif

S_{DS} = parameter respons spektral desain dalam rentang periode pendek

R = koefisien modifikasi respons dalam SNI 1726-2019 pada Tabel 12 Faktor R, C_d, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik halaman 49

I_e = Faktor keutamaan gempa

Nilai C_S yang dihitung sesuai dengan persamaan 3.25 tidak perlu melebihi sesuai persamaan berikut ini.

Untuk $T \leq T_L$

$$C_S = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.25)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_S = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.26)$$

C_S harus tidak kurang dari

$$Cs = 0{,}044 S_{DS} I_e \geq 0{,}01 \quad (3.27)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka harus C_S harus tidak kurang dari:

$$C_S = \frac{0{,}5\, S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

(3.34)

dengan:

S_{D1} = parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1 detik,

T = periode fundamental struktur (detik) yang ditentukan,

S_1 = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan.

3.4.4 Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a) harus ditentukan dari persamaan 3.28 berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.28)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t, dan x ditentukan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
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 sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : SNI 1726:2019

3.4.5 Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Gaya seismik lateral F_x (KN) di sembarang tingkat harus ditentukan dari Persamaan 3.39 dan Persamaan 3.29 sebagai berikut.

$$F_x = C_{vx} V \quad (3.29)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^{n} W_i h_i^k} \quad (3.30)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal,

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur,

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan Atau dikenakan pada tingkat i atau x,

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat *i* atau *x* (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur,
untuk struktur dengan T ≤ 0,5 detik, k = 1,
untuk struktur dengan T ≥ 2,5 detik, k =2,
untuk struktur denga 0,5 < T < 2,5 detik, k = 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

3.4.6 Distribusi Horizontal Gaya Seismik

Geser tingkat desain seismik di semua tingkat (Vx) harus ditentukan dari Persamaan 3.41 sebagai berikut.

$$V \quad \sum_{i=x}^{n} F_i \qquad (3.31)$$

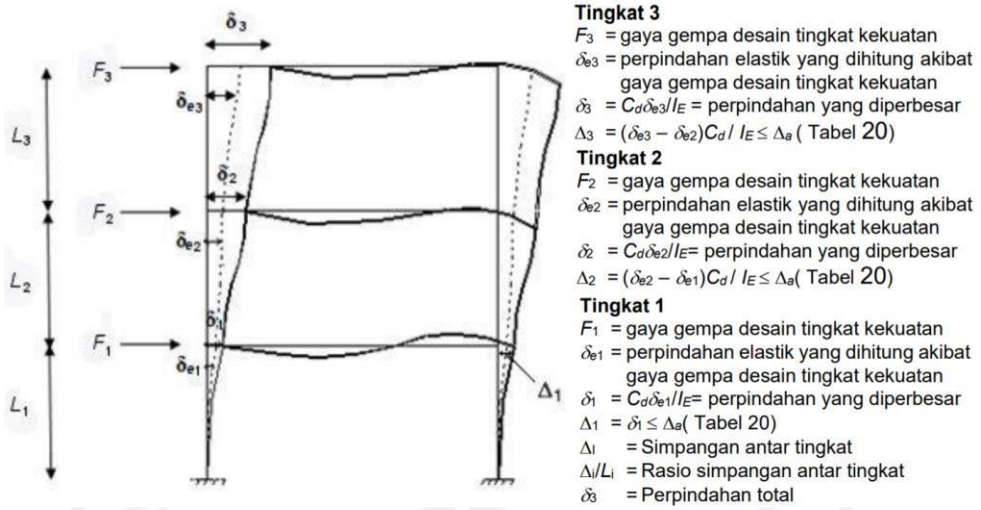
Keterangan:

Fi = bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke-i (kN).

3.5 Simpangan Antar Lantai

3.5.1 Penentuan Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.6, 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. Penentuan simpangan antar lantai dapat dilihat pada gambar 3.10 sebagai berikut.



Gambar 3.14 Penentuan simpangan antar lantai

(Sumber : SNI 1726-2019)

Simpangan pusat massa di tingkat – x (δ_x) ditentukan sesuai dengan persamaan 3.32 berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \qquad (3.32)$$

keterangan:

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral dalam SNI 1726-2019 pada Tabel 12 Faktor R, C_d, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik halaman 49,

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

I_e = faktor keutamaan gempa.

3.5.2 Batasan Simpangan Antar Lantai

Menurut SNI 1726-2019 simpangan antar lantai mempunyai batasan atau simpangan antar lantai yang diizinkan. Simpangan antar lantai yang terjadi tidak boleh melebihi simpangan antar lantai yang diizinkan. Simpangan antar lantai izin ditunjukkan melalui Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Simpangan antar tingkat izin ($\Delta_a^{a,b}$)

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
struktur selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tigkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk megakomodasi simpangan antar tingkat	$0{,}025h_{sx}^{c}$	$0{,}020h_{sx}$	$0{,}015h_{sx}$
struktur dinding geser kantilever batu bata[d]	$0{,}010h_{sx}$	$0{,}010h_{sx}$	$0{,}010h_{sx}$
struktur dinding geser batu bata lainnya	$0{,}007h_{sx}$	$0{,}007h_{sx}$	$0{,}007h_{sx}$
semua struktur lainnya	$0{,}020h_{sx}$	$0{,}015h_{sx}$	$0{,}010h_{sx}$

Sumber : SNI 1726-2019

CATATAN

a. h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat -x.

b. untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar tigkat izin harus sesuai dengan persyaratan.

c. Tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eskterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam tidak diabaikan.

d. Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

3.6 Sistem Ganda

3.6.1 Dinding Geser

Wibisono (2018) mengatakan sistem ganda merupakan gabungan dari sistem pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan sistem rangka pemikul momen. Dinding geser merupakan salah satu pengaku struktur yang digunakan untuk memikul beban lateral pada bangunan. Hutahaean dan Aswandy

(2016) dinding geser berperan sangat membantu pada gedung bertingkat selain mencegah kegagalan dinding eskterior, dinding geser juga dapat membantu agar struktur tidak runtuh.

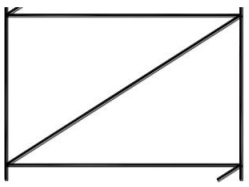
Batasan dinding geser mengacu pada SNI 2847-2019 pada pasal 14.3.3.1 tebal minimum sebesar 140 mm dan sekurang-kurangnya tebal dinding 1/24 dari balok terpanjang. Dinding geser yang dipasang pada struktur juga tidak boleh terlalu banyak dikarenakan akan tidak efektif dan tidak ekonomis. Pada SNI 1726-2019 pasal 7.2.2 memberikan batasan minimal sebesar 25% untuk rangka struktur pada bangunan dapat menahan beban lateral agar dinding geser tidak terlalu banyak.

Penempatan dinding geser tidak diletakkan pada sembarang tempat. Fauziah (2013) mengatakan struktur dengan penempatan dinding geser searah beban gempa atau searah dengan sumbu x dan y lebih kuat menahan beban lateral. Manalip (2015) mengatakan pada penelitiannya letak dinding geser diletakkan agar tetap mempertahankan kesimetrisan dan titik pusat masa bangunan. Andalas (2016) mengatakan pada penelitiannya penempatan dinding geser paling optimum diletakkan pada sisi gedung paling luar dan searah sumbu x dan y.

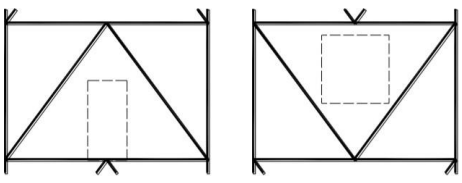
3.6.2 Sistem Pertambatan

Sistem pertambatan atau *bracing* adalah salah satu sistem ganda yang diletakkan pada bangunan untuk menahan gaya lateral yang terjadi. Widodo (2012) mengatakan agar simpangan antar lantai pada bangunan bertingkat tidak terjadi masalah kekakuan bangunan perlu ditingkatkan dengan cara memberi sistem pertambatan pada bangunan.

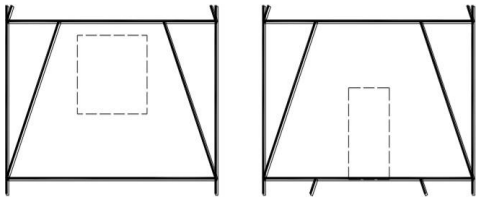
Terdapat beberapa bentuk sisitem pertambatan, Siddiqi (2014) mengatakan terdapat 3 bentuk sistem pertambatan. Beberapa sistem pertambatan dapat dilihat pada Gambar 3.15, Gambar 3,16, dan Gambar 3,17.



Gambar 3.15 Diagonal *Bracing*

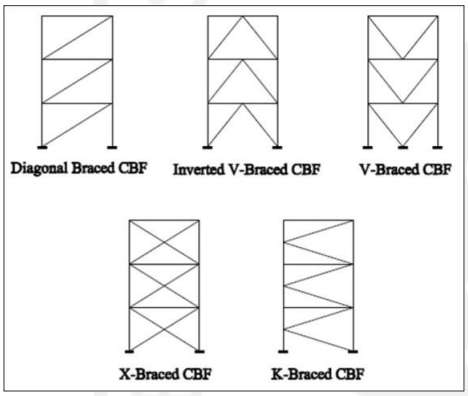


Gambar 3.16 K-*Bracing*

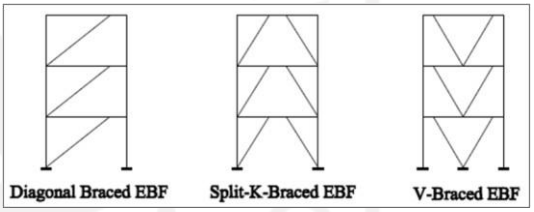


Gambar 3.17 *Eccentric Bracing*

Hutahaean (2016) membagi 2 kelompok bentuk sistem pertambatan. Bentuk sistem pertambatan tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 3.18 Rangka *Bracing* Konsentrik



Gambar 3.19 Rangka *Bracing* Eksentrik

Batasan penggunaan sistem pertambatan diatur pada SNI 1726-2019 pasal 7.2.2 yang memberikan batasan agar tidak terlalu banyak. Rangka pada struktur sekurang-kurangnya dapat menahan 25 persen dari beban lateral. Dengan begitu sistem pertambatan menjadi efisien dan ekonomis.

Viswanath, dkk (2010) menyatakan bahwa *bracing* sering kali ditempatkan secara vertikal. Penempatan ini dapat memberikan kekakuan yang baik dengan beban tambahan yang minimum dan sangat efektif untuk bangunan *existing* yang dimana bangunan itu mempunyai kekakuan lateral yang lemah.

Hutahean (2016) mengatakan untuk bentuk profil yang umum digunakan adalah profil siku ganda, profil kanal, profil IWF, profil T. Pemilihan profil ini tergantung pada besarnya gaya lateral yang terjadi terhadap bangunan.

Pemilihan bentuk sistem pertambatan yang tepat akan sangat membantu untuk menahan gaya lateral dengan efektif dan efisien. Seperti yang sudah

diterangkan oleh Hutahaean (2016) terdapat banyak jenis dan tipe bentuk sistem pertambatan. Untuk memilih bentuk sistem pertambatan yang paling efektif dan efisien perlu dilakukan penelitian. Aryandi (2017) melakukan penelitian membandingkan berbagai jenis tipe sistem pertambatan seperti tipe Z, X, V dan Λ. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa gedung yang didisain dengan sistem pertambatan tipe X mempunyai kekakuan yang paling tinggi. Rasio perpindahan pada tipe X paling kecil dibandingkan dengan yang lain sebesar 0,34 dan 0,41 untuk arah UX dan UY. Widodo (2012) pada bukunya mengatakan bahwa sistem pertambatan berbentuk silangan atau X akan sangat efektif dan efisien dalam menahan gaya lateral dengan bahan yang relatif sedikit.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode Penelitian bertujuan untuk memberikan gambaran langkah-langkah peneltian secara sistematis agar penelitian lebih teratur. Penelitian yang akan dilakukan berpedoman dengan SNI 1726-2019 dan SNI 2847-2019.

Pada peneltian kali ini membandingkan kinerja bangunan tidak beraturan dengan dinding geser dan bangunan tidak beraturan dengan *bracing*.

4.2 Model Struktur

Objek penelitian yang akan digunakan adalah model struktur rangka beton bertulang dengan ketidakberaturan horizontal sudut dalam. Tinggi bangunan 31,5 meter, 10 lantai, dan tinggi antar lantainya 3,5 meter.

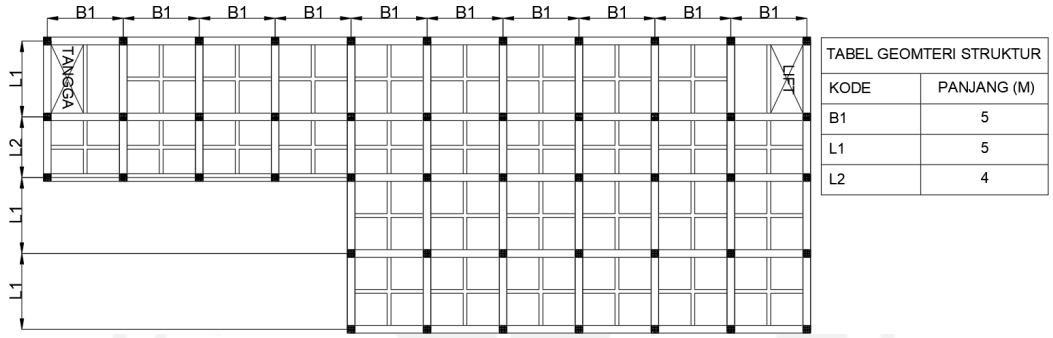
Penelitian ini menggunakan 3 permodelan diuraikan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Permodelan struktur

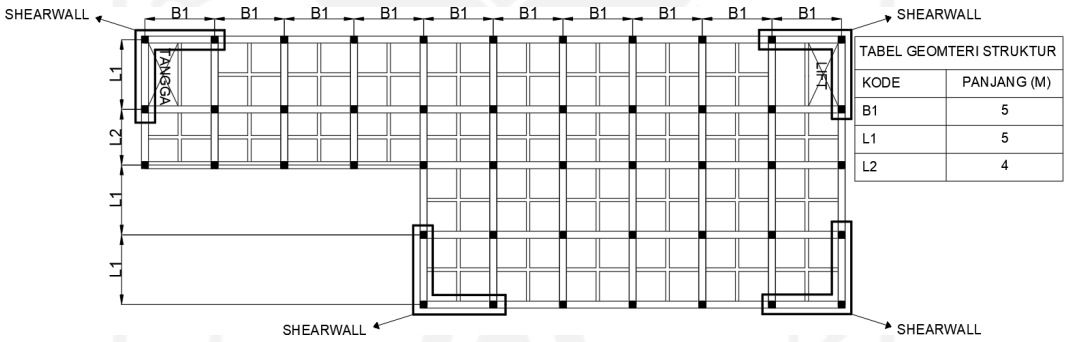
Model	Struktur Penahan Gaya Gempa
1	Tanpa dinding geser dan sistem pertambatan
2	Menggunakan *Shearwall L-shaped*
3	Menggunakan *Bracing* Tipe X

Viswanath, dkk (2010) menyatakan bahwa *bracing* sering kali ditempatkan secara vertikal. Penempatan ini dapat memberikan kekakuan yang baik dengan beban tambahan yang minimum dan sangat efektif untuk bangunan *existing* yang dimana bangunan itu mempunyai kekakuan lateral yang lemah.

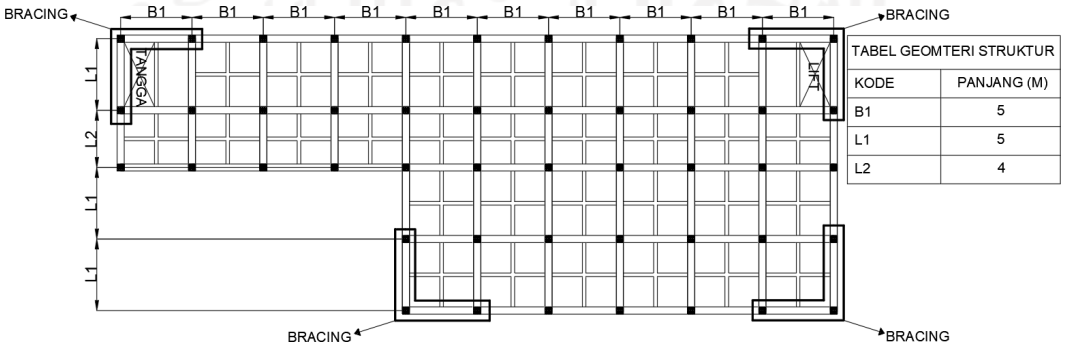
Andalas (2016) menyatakan bahwa ketika dinding geser ditempatkan pada lokasi – lokasi tertentu yang cocok dan strategis, dinding tersebut dapat digunakan secara ekonomis untuk menyediakan tahanan beban horizontal yang diperlukan. Denah penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.3.



Gambar 4.1 Denah bangunan (Model 1)



Gambar 4.2 Denah bangunan menggunakan *shearwall* (Model 2)



Gambar 4.3 Denah Bangunan menggunakan *bracing* (Model 3)

4.3 Data Penelitian

Data penelitian yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.2 Data penelitian

No	Parameter	Nilai
1	Fungsi bangunan	Apartemen
2	Letak bangunan	Padang
3	Jenis tanah dasar	Sedang
4	Jumlah lantai	10 lantai
5	Tinggi antar lantai	3,5 meter
6	Tinggi bangunan	31,5 meter
7	Panjang bangunan arah X	50 meter
8	Panjang bangunan arah Y	19 meter
9	Luas bangunan	950 m^2
10	Jenis struktur	Struktur beton bertulang
11	Sistem struktur	Sistem ganda
12	Mutu beton pelat	25 MPa
13	Mutu beton balok dan kolom	27,5 MPa
14	Mutu baja tulangan d ≤ 12 mm	370 MPa
15	Mutu baja tulangan d > 12 mm	420 MPa

4.4 Metode Penelitian

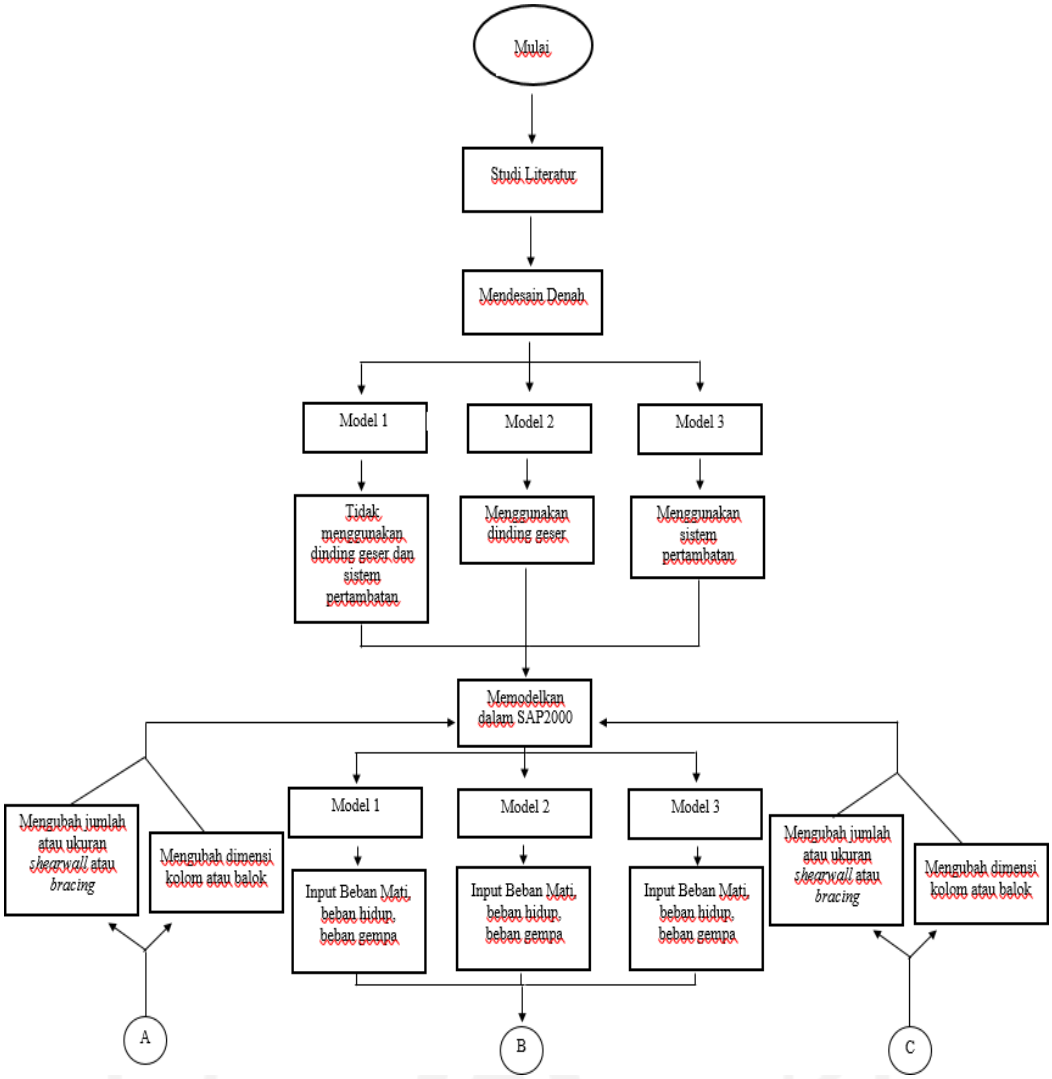
Pada Penelitian ini digunakan metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) dengan perbandingan bangunan gedung tanpa *shearwall* dan *bracing*, bangunan gedung menggunakan *shearwall*, dan bangunan gedung menggunakan *bracing* Tipe X.

4.5 Tahapan Penelitian

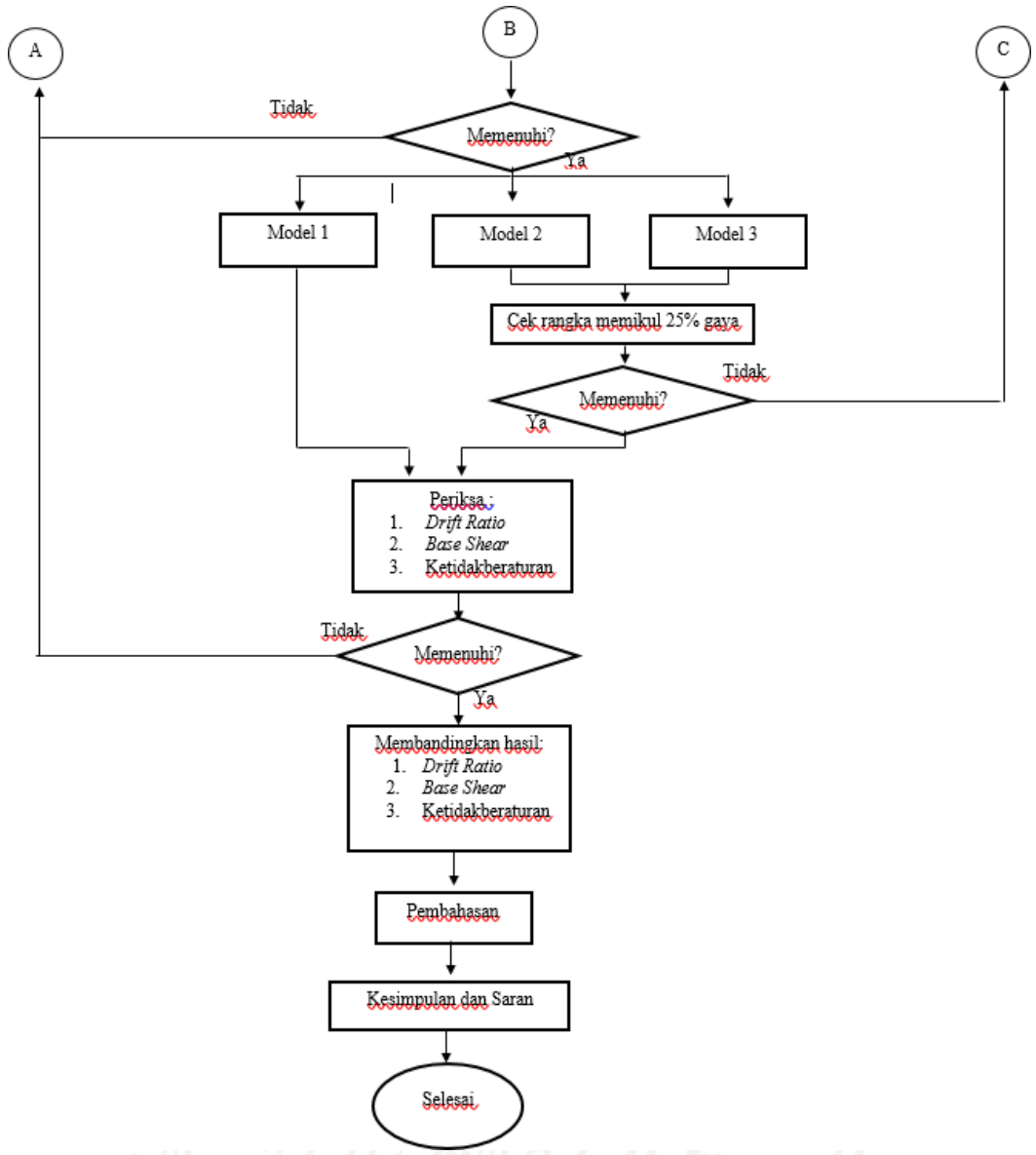
Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Studi literatur
2. Mendesain model. Mendesain model meliputi struktur bangunan, fungsi bangunan, mutu bahan, dan menentukan dimensi.
3. Analisis pembebanan. Menganalisis beban mati, beban hidup, dan beban gempa sesuai dengan pedoman yang diikuti.
4. Permodelan bangunan pada SAP2000. Permodelan dilakukan seusai dengan model yang sudah ditentukan diawal. Model-1 bangunan tanpa menggunakan *shearwall* dan *bracing*, model-2 bangunan menggunakan *shearwall straight-shape*, model-3 bangunan menggunakan *bracing* tipe X.
5. *Input* gaya pembebanan yang telah dianalisis sebelumnya.
6. Membandingkan hasil respon struktur.
7. Membuat pembahasan perbandingan ketiga model yang telah dianalisis.
8. Membuat kesimpulan dan saran penelitian yang telah dilakukan.

Diagram alir ditunjukkan pada Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4.4 *Flowchart* Penelitian



Lanjutan Gambar 4.4 *Flowchart* Penelitian

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Perhitungan Pembebanan Struktur

Perhitungan pembebanan bertujuan untuk mengetahui berapa beban yang akan diterima oleh setiap elemen struktur. Beban-beban yang digunakan dalam perencanaan adalah beban mati, beban hidup dan beban gempa.

5.1.1 Bahan/Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Beton (f'c) untuk kolom = 27,5 MPa

Beton (f'c) untuk balok dan pelat = 25 MPa

Baja tulangan pokok (fy) = 420 MPa

Baja tulangan sengkang (fy) = 280 MPa

Berat volume beton = 2400 kg/m^3

Ec $=4700\sqrt{f'c}$

$= 4700\sqrt{27,5}$

= 24647,008

5.1.2 Beban Mati

1. Beban mati pada lantai

Pelat lantai = 0,12 m *2400 kg/m^3 *0,00981 = 2,8253 kN/m^2

Tegel = 24 kg/m2 *0,00981 = 0,2354 kN/m^2

Lapis Spesi = 1 cm *21 kg/m^2 *0,00981 = 0,206 kN/m^2

Lapis Pasir = 5 cm *1600 kg/m^3 *0,00981 = 0,7848 kN/m^2

Plafond dan Lampu = 20 kg/m^2 *0,00981 = 0,1962 kN/m^2

Beban mati lantai = 2,825 + 0,235 + 0,206 + 0,784 + 0,196

= 4,248 kN/m^2

Beban mati yang di input = Beban mati–beban pelat

= 4,248 – 2,825

= 1,422 kN/m^2

2. Beban Mati pada atap

Pelat atap = 100 mm *2400 kg/m^3 *0,00981 = 2,35 kN/m^2

Lapis Spesi = 1 cm *21 kg/m^2 *0,00981 = 0,206 kN/m^2

Lapis Pasir = 5 cm *1600 kg/m^3 *0,00981 = 0,7848 kN/m^2

Plafond dan Lampu = 20 kg/m^2 *0,00981 = 0,1962 kN/m^2

Lapisan *waterproof* = 5 kg/m^2 *0,00981 = 0,049 kN/m^2

Beban mati atap = 2,35 + 0,206 + 0,748 + 0,1962 + 0,049

= 3,59 kN/m^2

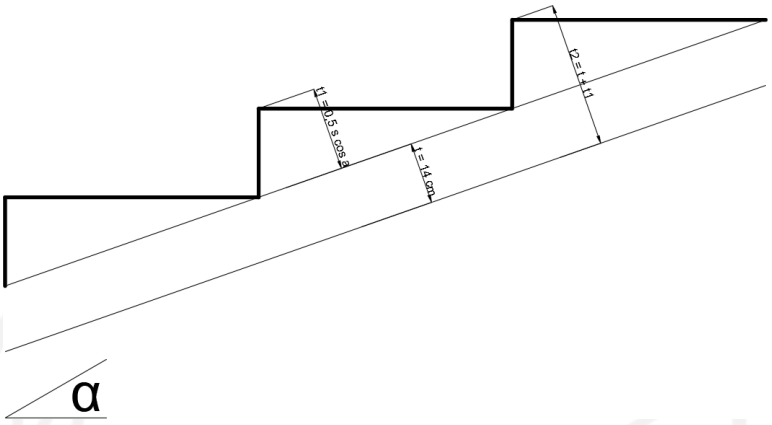
Beban mati yang di input = Beban mati atap – beban pelat

= 3,59 – 2,35

= 1,236 kN/m^2

3. Beban mati pada tangga

Tangga pada penelitian ini tidak dimodelkan, akan tetapi tangga dijadikan beban sendiri sebagai beban pada bangunan. Perhitungan tangga dibagi menjadi bordes dan tangga. Tebal pelat tangga (t) = 140 mm.



t_1 = ½ S cos α

= ½ 140 cos ($\tan^{-1}$ (antrede/optrede))

= ½ 140 cos ($\tan^{-1}$ (140/300))

= ½ 140 cos (25,017)

= 63,432 mm

t_2 = t + t_1

= 150 + 63,432

= 213,432 mm

Perhitungan beban mati tangga adalah sebagai berikut.

Pelat tangga	= 24 x 0,213432 x 1,25	= 6,403 kN/m
Spesi	= 21 x 1,25 x 0,00981	= 0,257 kN/m
Pasir	= 80 x 1,25 x 0,00981	= 0,981 kN/m
Beban mati pada pelat tangga		= 7,641 kN/m

Perhitungan beban mati pada bordes adalah sebagai berikut.

Pelat Bordes	= 24 x 0,14 x 2,5	= 8,4 kN/m
Spesi	= 21 x 2,5 x 0,00981	= 0,515 kN/m
Pasir	= 80 x 2,5 x 0,00981	= 1,962 kN/m
Beban mati pada pelat bordes		= 10,877 kN/m

4. Beban mati pada lift

Lift pada penelitian kali ini diasumsikan sebagai beban sendiri lift pada bangunan. Mengacu pada *Planning Guide Hyundai elevator*, beban lift terjadi pada ruang mesin lift. Pembebanan lift dapat dilihat pada tabel *Standard Dimensions Manufacturer Standard* sebagai berikut.

Kapasitas	= 9 orang (600 kg)
Tipe pembukaan lift	= 2P-CO
Clear opening (OP)	= 600 mm
Car size (CA x CB)	= 1400 x 1100 mm^2
Hoistway size (mm)	= 1800 x 1700 mm^2
Machine room size	= 2100 x 3400 mm^2
M/C *Room* (R1)	= 4100 kg
M/C *Room* (R2)	= 2450 kg

5.1.3 Beban Hidup

1. Beban hidup koridor = 4,79 kN/m^2
2. Beban hidup kamar = 1,92 kN/m^2
3. Beban hidup toilet = 1,92 kN/m^2
4. Beban hidup atap = 0,96 kN/m^2

5.1.4 Beban Dinding

Tinggi dinding = tinggi lantai – h balok

= 3,5 – 0,5

= 3 m

Berat dinding = tebal dinding x Bj dinding x tinggi dinding

= 0,15 x 1,7 x 3

= 7,6 kN

5.1.5 Beban Gempa Respon Spektrum

Data-data yang digunakan untuk mendapatkan gaya respon spektrum adalah sebagai berikut.

1. Lokasi bangunan yang dimodelkan berada di wilayah padang.
2. Fungsi bangunan sebagai gedung apartemen.
3. Jenis tanah yang digunakan pada lokasi bangunan merupakan tanah sedang (SD).
4. Lantai gedung berjumlah 10 tingkat dengan tinggi setiap lantai 3,5 m.
5. Bangunan yang dimodelkan termasuk kategori risiko bangunan II dengan faktor keutamaan gempa Ie sebesar 1.
6. Jenis struktur untuk setiap model adalah sebagai berikut.

Tabel 5.1 Jenis struktur setiap model

	R	Ω	Cd
Model 1	8	3	5,5
Model 2	7	2,5	5,5
Model 3	6	2,5	5

7. Nilai S_s dan S_1 didapatkan dari ketetapan yang berada di SNI 1726-2019 seperti pada Gambar 3.11 dan Gambar 3.12. Didapatkan nilai S_s dan S_1 sebagai berikut.

   S_s = 1,2

   S_1 = 0,6

8. Nilai Fa dan Fv diperoleh dari tabel 3.6 dan 3.7. Nilai Fa dan Fv adalah sebagai berikut.

   Fa = 1,02

Fv = 1,7

9. Menghitung nilai S_{DS} dan S_{D1}.

   Sebelum menghitung nilai S_{DS} dan S_{D1} dicari terlebih dahulu nilai S_{SMS} dan S_{M1} sebagai berikut.

   S_{SMS} = Fa x S_S = 1,02 x 1,2 = 1,224

   S_{M1} = Fv x S_1 = 1,7 x 0,6 = 1,02

   S_{DS} = (2/3) x S_{SMS} = (2/3) x 1,224 = 0,816

   S_{D1} = (2/3) x S_{SMS} = (2/3) x 1,02 = 0,68

10. Nilai C_{RS} dan C_{R1} didapat sesuai ketentuan SNI 1726-2019 sebagai berikut.

    C_{RS} = 1

    C_{R1} = 1

11. Menghitung Nilai T_0 dan T_S adalah sebagai berikut.

    T_0 = 0,2 x (S_{D1}/S_{DS}) = 0,2 x (0,68/0,816) = 0,167

    T_S = (S_{D1}/S_{DS}) = (0,68/0,816) = 0,833

12. Menghitung nilai Sa.

    a. Respon spektrum dengan percepatan desain Sa awal

       Sa = 0,4 x S_{DS}

          = 0,326

    b. Respon spektrum dengan percepatan desain Sa untuk T= T_0

       Sa = S_{DS}

          = 0,816

c. Respon spektrum dengan percepatan desain Sa untuk T> T_s

Sa = S_{DS}/T

= 0,816/0,933

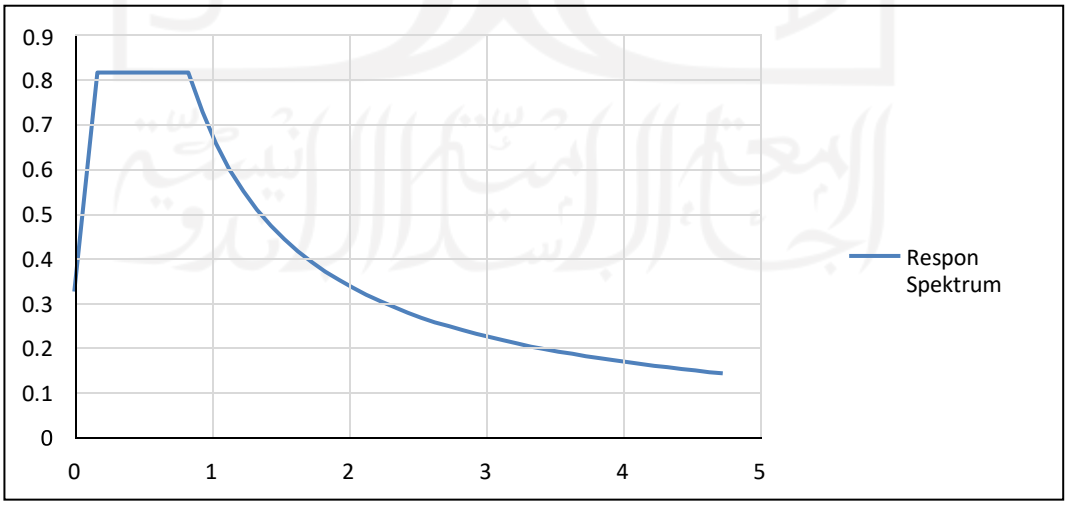
= 0,728

Hasil perhitungan desain respon spektrum pada bangunan uji dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil perhitungan desain respon spektrum

T	Sa
0	0.326
0,167	0.816
0,833	0.816
0,933	0.728
1,033	0.658
1,133	0.6
1,233	0.551
1.333	0.51
1.433	0.47

Grafik respon spectrum dapat dlihat pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Grafik respon spektrum

13. Menentukan Nilai Periode Struktur (T).

Periode pada suatu struktur didapatkan berdasarkan dengan cara menggunakan rumus dan hasil analisis pada *software* SAP2000. Analisis perhitungan nilai periode struktur adalah sebagai berikut.

a. Model 1 (Tanpa pengaku)

Ta $= Ct \times H^{x}$

$= 0{,}466 \times 31{,}5^{0{,}9}$

$= 1{,}039$

Cu x Ta $= 1{,}4 \times 1{,}039$

$= 1{,}455$

Berdasarkan hasil analisis SAP2000 didapatkan nilai *eigen value* (Tcrack) sebesar 2,086 pada arah X dan 1,98 pada arah Y. Dari hasil perhitungan menggunakan rumus dan hasil analisis pada SAP2000 maka dapat mentukan nilai periode getar yang dipakai dengan syarat yaitu.

1) Jika Tcrack > Cu.Ta, maka Ta yang digunakan T = Cu.Ta.

2) Jika Ta < Tcrack < Cu.Ta, maka Ta yang digunakan T = Tcrack.

3) Jika Tcrack < Ta, maka Ta yang digunakan T = Ta.

Dari persyaratan diatas maka nilai periode getar T yang dipakai adalah 1,455

b. Model 2 (Menggunakan *Shearwall*)

Ta $= Ct \times H^{x}$

$= 0{,}488 \times 31{,}5^{0{,}75}$

$= 0{,}6488$

Cu x Ta $= 1{,}4 \times 0{,}6488$

= 0,908

Berdasarkan hasil analisis SAP2000 didapatkan nilai *eigen value* (Tcrack) sebesar 0,97 pada arah X dan 0,94 pada arah Y. Dari hasil diatas maka periode getar yang dipakai adalah 0,908.

c. Model 3 (Menggunakan *bracing*)

Ta = $Ct \times H^x$

= $0,488 \times 31,5^{0,75}$

= 0,6488

Cu x Ta = 1,4 x 0,6488

= 0,908

Berdasarkan hasil analisis SAP2000 didapatkan nilai *eigen value* (Tcrack) sebesar 1,11 pada arah X dan 1,08 pada arah Y. Dari hasil diatas maka periode getar yang dipakai adalah 0,908.

14. Koefisien Respons Seismik (Cs)

a. Model 1 (tanpa pengaku)

Digunakan 3 persamaan dalam menghitung koefisien respons seismik arah X ataupun arah Y. Perhitungan koefisien respons adalah sebagai berikut.

$C_{S1} = \frac{S_{DS}}{R/I}$

$= \frac{0,816}{8/1}$

= 0,102

$C_{S2} = \frac{S_{D1}}{Tx(R/I)}$

$= \frac{0,68}{1,455x(8/1)}$

$= 0{,}0584$

$C_{S3} = \frac{0{,}5 \times S_1}{R/I}$

$= \frac{0{,}5 \times 0{,}6}{8/1}$

$= 0{,}0375$

Dari hasil perhitungan koefisien respons arah X, maka digunakan Cs 0,0584. Dengan perhitungan yang sama makan nilai koefisien respons arah Y adalah 0,0584.

b. Model 2 (struktur dengan *shearwall*)

Digunakan 3 persamaan dalam menghitung koefisien respons seismik arah X ataupun arah Y. Perhitungan koefisien respons adalah sebagai berikut.

$C_{S1} = \frac{S_{DS}}{R/I}$

$= \frac{0{,}816}{7/1}$

$= 0{,}116$

$C_{S2} = \frac{S_{D1}}{T \times (R/I)}$

$= \frac{0{,}68}{0{,}908 \times (7/1)}$

$= 0{,}106$

$C_{S3} = \frac{0{,}5 \times S_1}{R/I}$

$= \frac{0{,}5 \times 0{,}6}{7/1}$

$= 0{,}0428$

Dari hasil perhitungan koefisien respons arah X, maka digunakan Cs 0,106. Dengan perhitungan yang sama makan nilai koefisien respons arah Y adalah 0,106.

c. Model 3 (Struktur dengan *bracing*)

Digunakan 3 persamaan dalam menghitung koefisien respons seismik arah X ataupun arah Y. Perhitungan koefisien respons adalah sebagai berikut.

$$C_{S1} = \frac{S_{DS}}{R/I}$$

$$= \frac{0{,}816}{6/1}$$

$$= 0{,}136$$

$$C_{S2} = \frac{S_{D1}}{T_X(R/I)}$$

$$= \frac{0{,}68}{0{,}908_X(6/1)}$$

$$= 0{,}124$$

$$C_{S3} = \frac{0{,}5 \times S_1}{R/I}$$

$$= \frac{0{,}5 \times 0{,}6}{6/1}$$

$$= 0{,}05$$

Dari hasil perhitungan koefisien respons arah X, maka digunakan Cs 0,124. Dengan perhitungan yang sama makan nilai koefisien respons arah Y adalah 0,124.

15. Berat Total Bangunan

Berat total bangunan merupakan beban mati yang terdiri dari berat dari material setiap elemen struktur dan beban hidup yang direncanakan sesuai dengan acuan SNI 1727-2013. Berat total bangunan tiap model hasil dari *output* SAP2000 sebagai berkut.

Tabel 5.3 Berat total bangunan

Lantai	Berat Model 1 (kN)	Berat Model 2 (kN)	Berat Model 3 (kN)
10	6378,12	7554,12	6544,988
9	6486,12	7662,12	6652,988
8	6486,12	7662,12	6652,988
7	6486,12	7662,12	6652,988
6	6486,12	7662,12	6652,988
5	6486,12	7662,12	6652,988
4	6486,12	7662,12	6652,988
3	6486,12	7662,12	6652,988
2	6486,12	7662,12	6652,988
1	6486,12	7662,12	6652,988
Total	64753,2	76513,2	66421,88

16. Perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik

a. Model 1 (Struktur tanpa pengaku)

Berat total bangunan (Wt) = 64753,2 kN
Cs = 0,12476
V = Cs x Wt
= 0,058 x 64753,2
= 3781,69 kN

Gaya geser seismik yang didapatkan nilai sebesar 3781,69 kN.

b. Model 2 (Struktur dengan *shearwall*)

Berat total bangunan (Wt) = 76513,2 kN
Cs = 0,10693
V = Cs x Wt
= 0,10693 x 76513,2
= 8182,131 kN

Gaya geser seismik yang didapatkan nilai sebesar 8182,131 kN.

c. Model 3 (Struktur dengan *bracing*)

Berat total bangunan (Wt) = 66421,88 kN

Cs = 0,12476

V = Cs x Wt

= 0,12476 x 66421,88

= 8286,822 kN

Gaya geser seismik yang didapatkan nilai sebesar 8286,822 kN.

17. Perhitungan nilai k

Mengacu kepada SNI 1726:2019 syarat menentukan nilai k adalah sebagai berikut.

a. Nilai k = 1 jika struktur mempunyai nilai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang.

b. Nilai k = 2 jika struktur mempunyai nilai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih.

c. Nilai k sebesar 2 atau ditentukan dengan interpolasi antara 1 dengan 2 jika nilai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik.

Nilai T pada setiap model adalah sebagai berikut.

T model 1 (tanpa pengaku) = 1,455 detik

T model 2 (dengan *shearwall*) = 0,908 detik

T model 3 (dengan *bracing*) = 0,908 detik

Dengan nilai T yang berada diantara 0,5 dan 2,5 detik maka digunakan interpolasi untuk menentukan nilai k, maka nilai k pada tiap model adalah sebagai berikut.

k (Model 1 struktur tanpa pengaku) = 1,4777

k (Model 2 struktur dengan *shearwall*) = 1,204

k (Model 3 struktur dengan *bracing*) = 1,204

18. Nilai Gaya Gempa Horisontal (F)

Hasil perhitungan gaya horizontal pada tiap tingkat dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Gaya horisontal model 1

Level	Elevasi h (m)	Berat W (kn)	Wh^k	$Wh^k/\sum$	Gaya Fx (KN)
10	31,5	6378,12	1044177	0,238	900,779
9	28	6486,12	892230,9	0,204	769,700
8	24,5	6486,12	732455,9	0,167	631,867
7	21	6486,12	583247,6	0,133	503,150
6	17,5	6486,12	445497,6	0,102	384,317
5	14	6486,12	320361	0,073	276,365
4	10,5	6486,12	209418,7	0,048	180,659
3	7	6486,12	115027,6	0,026	99,231
2	3,5	6486,12	41301,37	0,009	35,629
1	0	6486,12	0	0	0
Total		64753,2	4383717	1	3781,697

Tabel 5.5 Gaya horisontal model 2

Level	Elevasi h (m)	Berat W (kn)	Wh^k	$Wh^k/\sum$	Gaya Fx (KN)
10	31,5	7554,12	481343,6	0,2154	1762,730
9	28	7662,12	423664,6	0,1896	1551,504
8	24,5	7662,12	360734,8	0,1615	1321,048
7	21	7662,12	299619,8	0,1341	1097,239
6	17,5	7662,12	240558,2	0,1077	880,949
5	14	7662,12	183874,2	0,0823	673,366
4	10,5	7662,12	130037,6	0,0582	476,211
3	7	7662,12	79803	0,0357	292,247
2	3,5	7662,12	34635,21	0,0155	126,838
1	0	7662,12	0	0	0
Total		76513,2	2234271	1	8182,132

Tabel 5.6 Gaya horisontal model 3

Level	Elevasi h (m)	Berat W (kn)	Wh^k	$Wh^k/\sum$	Gaya Fx (KN)
10	31,5	6544,988	417042,3	0,2151	1782,245
9	28	6652,988	367866,3	0,1897	1572,090
8	24,5	6652,988	313224,6	0,1615	1338,577
7	21	6652,988	260158,6	0,1342	1111,797
6	17,5	6652,988	208875,7	0,1077	892,638
5	14	6652,988	159657,2	0,0823	682,301
4	10,5	6652,988	112911,1	0,0582	482,530
3	7	6652,988	69292,63	0,0357	296,125
2	3,5	6652,988	30073,61	0,0155	128,521
1	0	6652,988	0	0	0
Total		66421,88	1939102	1	8286,823

5.1.6 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Gaya geser dasar merupakan kombinasi respon untuk gaya geser dasar hasil analisis dari SAP2000. Jika hasil gaya geser dasar dinamik kurang dari 100% gaya geser statik pada struktur maka perlu skala baru untuk memenuhi syarat yang mengacu pada SNI 1726-2019. Perhitungan gaya geser dasar adalah sebagai berikut.

Vs (trial 1) = 4778,528 kN

100% Vs (trial 1) = 100% x 4778,528

= 4778,528 kN

Gaya geser model 1 arah x (trial) = Vd = 100% Vs

= 3981,486 ≠ 4778,528 (Tidak OK)

Skala baru = 100%Vs/Vd

= 4778,428/3981,486

=1,2

Dilakukan perhitungan trial 2 untuk memenuhi syarat yang ditentukan seperti berikut.

Vs (trial 2) = 4778,528 kN

100% Vs (trial 2) = 100% x 4778,528

= 4778,528 kN

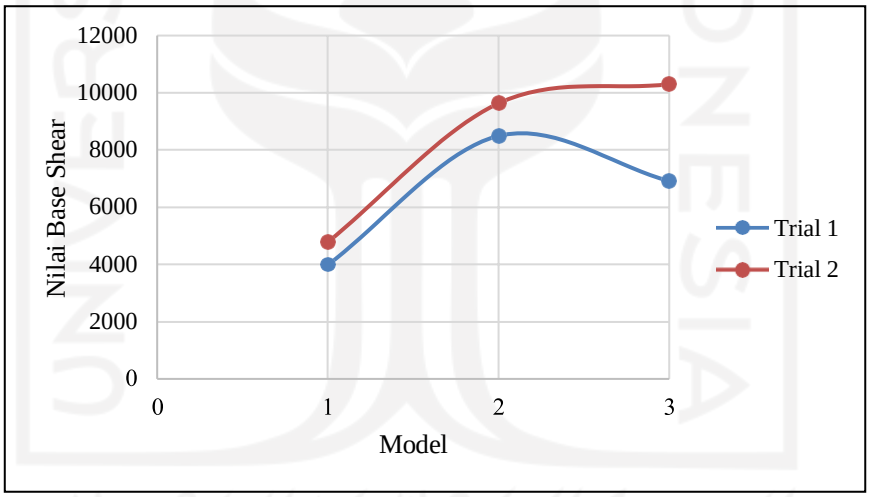
Gaya geser model 1 arah x (trial) = Vd = 100% Vs

= 4778,528 = 4778,528 (OK)

Dari hasil diatas maka syarat gaya geser dasar struktur memenuhi syarat. Gaya geser yang dihasilkan untuk tiap model dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berkut.

Tabel 5.7 Gaya geser dasar (*base shear*)

Perhitungan		Model 1		Model 2		Model 3	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Trial 1	100% V statik	4778,528	6802,183	9626,833	9626,833	10294,92	10294,92
	V dinamik	3981,486	3770,353	8488,999	8227,65	6912,849	6673,023
	Keterangan	Tidak Ok	Tidak Ok	Tidak Ok	Tidak Ok	Tidak Ok	Tidak Ok
Trial 2	100% V statik	4778,528	6802,183	9626,833	9626,833	10294,92	10294,92
	V dinamik	4778,528	6802,183	9626,833	9626,833	10294,92	10294,92
	Keterangan	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok



Gambar 5.2 Perbandingan Nilai *Base Shear*

Dari perhitungan analisis diatas maka gaya geser (*base shear*) yang terbesar dialami oleh model 3 (menggunakan *bracing*). Gaya geser terkecil dialami oleh model 1 (tidak menggunakan *bracing* dan *shearwall*). Dalam penelitian ini, suatu struktur apabila diberi struktur pengaku gaya geser dasar yang terjadi akan semakin besar.

5.1.7 Cek Ketidakberaturan Struktur

1. Ketidakberaturan torsi adalah perhitungan pengaruh torsi yang terjadi pada suatu bangunan untuk mengetahui bangunan merupakan bangunan yang

beraturan atau tidak. Sesuai SNI 1726-2019 ketidakberaturan torsi dihitung dengan ketentuan sebagai berikut.

a. Tanpa ketidakberaturan torsi apabila $\delta max < 1{,}2\ \delta avg$

b. Ketidakberaturan torsi 1a apabila $1{,}2\ \delta avg \leq \delta max \leq 1{,}4\ \delta avg$

c. Ketidakberaturan torsi 1b apabila $\delta max > 1{,}4\ \delta avg$

Hasil perhitungan pengaruh torsi arah x dan arah y dapat dilihat pada Tabel 5.8, Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5.8 Hasil perhitungan torsi model 1 tanpa pengaku

Arah X							
Story	Elevasi	δmax (m)	δmin (m)	δavg (m)	1.2δavg (m)	1.4δavg (m)	Kontrol
10	31,5	0,1204	0,1204	0,0081	0,0098	0,0114	Tidak Terjadi
9	28	0,1122	0,1122	0,0102	0,0122	0,0142	Tidak Terjadi
8	24,5	0,1021	0,1021	0,0128	0,0154	0,0179	Tidak Terjadi
7	21	0,0893	0,0893	0,0153	0,0183	0,0214	Tidak Terjadi
6	17,5	0,0740	0,0740	0,0172	0,0206	0,0241	Tidak Terjadi
5	14	0,0568	0,0568	0,0183	0,0219	0,0256	Tidak Terjadi
4	10,5	0,0385	0,0385	0,0177	0,0213	0,0248	Tidak Terjadi
3	7	0,0208	0,0208	0,0144	0,0173	0,0202	Tidak Terjadi
2	3,5	0,0064	0,0064	0,0064	0,0077	0,0090	Tidak Terjadi
1	0	0	0	0	0	0	
Arah Y							
Story	Elevasi	δmax (m)	δmin (m)	δavg (m)	1.2δavg (m)	1.4δavg (m)	Kontrol
10	31,5	0,1943	0,1943	0,0138	0,0166	0,0194	Tidak Terjadi
9	28	0,1805	0,1805	0,0176	0,0211	0,0246	Tidak Terjadi
8	24,5	0,1629	0,1629	0,0219	0,0262	0,0306	Tidak Terjadi
7	21	0,1411	0,1411	0,0257	0,0308	0,0359	Tidak Terjadi
6	17,5	0,1154	0,1154	0,0283	0,0339	0,0396	Tidak Terjadi
5	14	0,0871	0,0871	0,0291	0,0349	0,0407	Tidak Terjadi
4	10,5	0,0581	0,0581	0,0272	0,0327	0,0381	Tidak Terjadi
3	7	0,0308	0,0308	0,0215	0,0258	0,0301	Tidak Terjadi
2	3,5	0,0093	0,0093	0,0093	0,0112	0,0131	Tidak Terjadi
1	0	0	0	0	0	0	

Tabel 5.9 Hasil perhitungan torsi model 2 dengan *shearwall*

Arah X							
Story	Elevasi	δmax (m)	δmin (m)	δavg (m)	1.2δavg (m)	1.4δavg (m)	Kontrol
10	31,5	0,058	0,058	0,007	0,008	0,0094	Tidak Terjadi
9	28	0,051	0,051	0,007	0,0087	0,0101	Tidak Terjadi
8	24,5	0,044	0,044	0,008	0,0091	0,0106	Tidak Terjadi
7	21	0,036	0,036	0,008	0,0092	0,0107	Tidak Terjadi
6	17,5	0,028	0,028	0,008	0,009	0,0105	Tidak Terjadi
5	14	0,021	0,021	0,007	0,0085	0,0099	Tidak Terjadi
4	10,5	0,014	0,014	0,006	0,0075	0,0087	Tidak Terjadi
3	7	0,008	0,008	0,005	0,006	0,007	Tidak Terjadi
2	3,5	0,003	0,003	0,003	0,0031	0,0037	Tidak Terjadi
1	0	0	0	0	0	0	
Arah Y							
Story	Elevasi	δmax (m)	δmin (m)	δavg (m)	1.2δavg (m)	1.4δavg (m)	Kontrol
10	31,5	0,058	0,058	0,007	0,0084	0,0098	Tidak Terjadi
9	28	0,051	0,051	0,007	0,009	0,0104	Tidak Terjadi
8	24,5	0,044	0,044	0,008	0,0093	0,0108	Tidak Terjadi
7	21	0,036	0,036	0,008	0,0094	0,0109	Tidak Terjadi
6	17,5	0,028	0,028	0,008	0,0091	0,0106	Tidak Terjadi
5	14	0,021	0,021	0,007	0,0085	0,0099	Tidak Terjadi
4	10,5	0,014	0,014	0,006	0,0074	0,0086	Tidak Terjadi
3	7	0,007	0,007	0,005	0,0059	0,0068	Tidak Terjadi
2	3,5	0,003	0,003	0,003	0,003	0,0035	Tidak Terjadi
1	0	0	0	0	0	0	

Tabel 5.10 Hasil perhitungan torsi model 3 dengan *bracing*

Arah X							
Story	Elevasi	δmax (m)	δmin (m)	δavg (m)	1.2δavg (m)	1.4δavg (m)	Kontrol
10	31,5	0,084	0,084	0,008	0,0096	0,0112	Tidak Terjadi
9	28	0,076	0,076	0,009	0,011	0,0128	Tidak Terjadi
8	24,5	0,067	0,067	0,01	0,0122	0,0143	Tidak Terjadi
7	21	0,057	0,057	0,011	0,013	0,0152	Tidak Terjadi
6	17,5	0,046	0,046	0,011	0,0134	0,0156	Tidak Terjadi
5	14	0,035	0,035	0,011	0,0133	0,0155	Tidak Terjadi
4	10,5	0,024	0,024	0,01	0,0125	0,0146	Tidak Terjadi
3	7	0,014	0,014	0,009	0,0107	0,0125	Tidak Terjadi
2	3,5	0,005	0,005	0,005	0,0056	0,0065	Tidak Terjadi
1	0	0	0	0	0	0	
Arah Y							
Story	Elevasi	δmax (m)	δmin (m)	δavg (m)	1.2δavg (m)	1.4δavg (m)	Kontrol
10	31,5	0,084	0,084	0,008	0,0101	0,0118	Tidak Terjadi
9	28	0,075	0,075	0,009	0,0113	0,0132	Tidak Terjadi
8	24,5	0,066	0,066	0,01	0,0124	0,0144	Tidak Terjadi
7	21	0,056	0,056	0,011	0,013	0,0152	Tidak Terjadi
6	17,5	0,045	0,045	0,011	0,0132	0,0154	Tidak Terjadi
5	14	0,034	0,034	0,011	0,0129	0,0151	Tidak Terjadi
4	10,5	0,023	0,023	0,01	0,012	0,014	Tidak Terjadi
3	7	0,013	0,013	0,008	0,0102	0,0119	Tidak Terjadi
2	3,5	0,004	0,004	0,004	0,0053	0,0061	Tidak Terjadi
1	0	0	0	0	0	0	

Berdasarkan hasil perhitungan torsi pada arah x dan arah y menunjukkan bahwa tidak terjadi torsi pada semua model.

2. Ketidakberaturan Berat Massa

Ketidakberaturan berat massa adalah perbandingan berat masa yang terjadi antar lantai. Batasan presentase yang terjadi antar lantai adalah tidak lebih dari 150%. Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan berat massa.

Tabel 5.11 Hasil perhitungan ketidakberaturan massa model 1

Lantai	Berat (kN)	Presentase Atas (%)	Presentase Bawah (%)	Keterangan
10	6378,12		98,335	Memenuhi
9	6486,12	101,693	100	Memenuhi
8	6486,12	100	100	Memenuhi
7	6486,12	100	100	Memenuhi
6	6486,12	100	100	Memenuhi
5	6486,12	100	100	Memenuhi
4	6486,12	100	100	Memenuhi
3	6486,12	100	100	Memenuhi
2	6486,12	100	100	Memenuhi
1	6486,12	100		Memenuhi

Tabel 5.12 Hasil perhitungan ketidakberaturan massa model 2

Lantai	Berat (kN)	Presentase Atas (%)	Presentase Bawah (%)	Keterangan
10	7554,12		98,590	Memenuhi
9	7662,12	101,430	100	Memenuhi
8	7662,12	100	100	Memenuhi
7	7662,12	100	100	Memenuhi
6	7662,12	100	100	Memenuhi
5	7662,12	100	100	Memenuhi
4	7662,12	100	100	Memenuhi
3	7662,12	100	100	Memenuhi
2	7662,12	100	100	Memenuhi
1	7662,12	100		Memenuhi

Tabel 5.13 Hasil perhitungan ketidakberaturan massa model 3

Lantai	Berat (kN)	Presentase Atas (%)	Presentase Bawah (%)	Keterangan
10	6544,988		98,377	Memenuhi
9	6652,988	101,650	100	Memenuhi
8	6652,988	100	100	Memenuhi
7	6652,988	100	100	Memenuhi
6	6652,988	100	100	Memenuhi
5	6652,988	100	100	Memenuhi
4	6652,988	100	100	Memenuhi
3	6652,988	100	100	Memenuhi
2	6652,988	100	100	Memenuhi
1	6652,988	100		Memenuhi

Berdasarkan hasil tabel diatas didapatkan bahwa nilai presentase model 1, model 2, dan model 3 tidak ada yang melebihi batas yaitu 150%. Sehingga disimpulkan bahwa pada semua model tidak memiliki adanya ketidakberaturan massa. Dengan hasil analisis seperti ini dimensi kolom tidak perlu mengalami perubahan dari lantai dasar hingga lantai atap. Pada dinding geser juga tidak perlu adanya pengecilan atau perbesaran dimensi karena struktur bangunan tidak mengalami ketidakberaturan berat massa.

5.1.8 Cek Sistem Rangka Memikul 25% Gaya Seismik

Mengacu pada SNI 1726-2019 sistem pemikul gaya seismik mempunyai izin yang berbeda-beda. Untuk bangunan uji termasuk sistem rangka ganda khusus yang minimal memikul gaya seismik sebesar 25%. SNI membatasi 25% agar jika kurang dari itu maka sistem ganda (*shearwall*/*bracing*) terlalu banyak, sehingga pembangunan tidak efeisien dan tidak ekonomis.

Berikut merupakan hasil analisis menggunakan SAP2000 terhadap bangunan yang di uji adalah sebagai berikut.

Tabel 5.14 Cek bangunan memikul 25% gaya seismik pada model 2 (*Shearwall*)

Lantai	X		Keterangan	Y		Keterangan
	Frame	SW		Frame	SW	
1	55%	45%	OK	54%	46%	OK
2	48%	52%	OK	43%	57%	OK
3	62%	38%	OK	57%	38%	OK
4	64%	36%	OK	59%	41%	OK
5	67%	33%	OK	62%	38%	OK
6	69%	31%	OK	64%	31%	OK
7	71%	29%	OK	66%	29%	OK
8	70%	30%	OK	65%	35%	OK
9	75%	25%	OK	74%	26%	OK

Tabel 5.15 Cek bangunan memikul 25% gaya seismik pada model 3 (*Bracing*)

Lantai	X		Keterangan	Y		Keterangan
	Frame	BR		Frame	BR	
1	75%	25%	OK	75%	25%	OK
2	77%	23%	OK	75%	25%	OK
3	79%	21%	OK	76%	24%	OK
4	81%	19%	OK	77%	23%	OK
5	82%	18%	OK	78%	22%	OK
6	82%	18%	OK	79%	18%	OK
7	84%	16%	OK	81%	19%	OK
8	83%	17%	OK	81%	19%	OK
9	88%	12%	OK	85%	15%	OK

Berdasarkan hasil analisis diatas maka model 2 (*shearwall*) dan model 3 (*bracing*) memenuhi syarat minimal memikul 25% gaya seismik.

5.2 Studi Komparasi Struktur

5.2.1 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai adalah perpindahan antara dua lantai yang terjadi diakibatkan adanya gaya lateral pada sebuah bangunan. Menurut SNI 1726-2019 simpangan antar lantai (Δ) yang terjadi pada sebuah bangunan tidak boleh melebihi simpangan ijin yang sudah diperhitungkan agar tidak terjadi kerusakan bangunan saat ada gempa. Pada penelitian kali ini bangunan yang digunakan adalah bangunan apartemen yang termasuk dalam kategori resiko yang ke II berdasarkan SNI pasal 7.12.1. Perhitungan simpangan antar lantai pada gedung apartemen penelitian ini adalah sebagai berikut.

Gedung Model 1 tanpa pengaku lantai 10 arah X

h_{sx} = 3,5 m

Cd = 5,5

δ_{e10} = 0,1307 m

δ_{e9} = 0,1219 m

Ie = 1,0

$\Delta_{10} = \frac{(\delta_{e10} - \delta_{e9}) \times Cd}{Ie}$

$$= \frac{(0{,}1307 - 0{,}1219) \text{ x } 5{,}5}{1}$$

$$= 0{,}0485 \text{ m}$$

$\Delta a = 0{,}02 \text{ x } h_{sx}$

$= 0{,}02 \text{ x } 3{,}5$

$= 0{,}07$ m

$\frac{\Delta a}{\rho} = \frac{0{,}07}{1{,}0}$

$= 0{,}07$ m

Didapatkan 0,0485 m < 0,07 m

$\Delta_{10} < \Delta a$ (Aman)

Untuk simpangan antar lantai model dan lantai lainnya dihitung menggunakan rumus dan cara yang sama. Rekap hasil perhitungan antar lantai ditunjukkan pada Tabel 5.11-Tabel 5.17 dan Gambar 5.3 – Gambar 5.7 sebagai berikut.

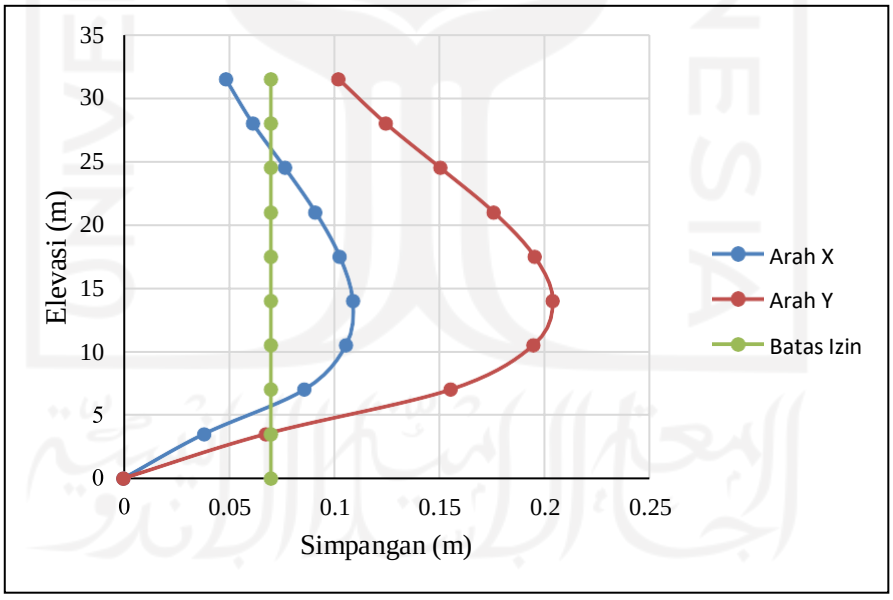
Tabel 5.16 Simpangan antar lantai pada model 1 (tanpa pengaku) arah X

Model 1							
Arah X							
Lantai	Elevasi lantai (m)	Tinggi (m)	Total Drift (m)	Simpangan (m)	Story Drift (m)	Story Drift Izin (m)	Kontrol $\delta < \Delta$
10	31,5	3,5	0,13078	0,008831	0,0485705	0,07	Aman
9	28	3,5	0,121949	0,011163	0,0613965	0,07	Aman
8	24,5	3,5	0,110786	0,013936	0,076648	0,07	Tidak
7	21	3,5	0,09685	0,01658	0,09119	0,07	Tidak
6	17,5	3,5	0,08027	0,018675	0,1027125	0,07	Tidak
5	14	3,5	0,061595	0,019798	0,108889	0,07	Tidak
4	10,5	3,5	0,041797	0,019212	0,105666	0,07	Tidak
3	7	3,5	0,022585	0,015631	0,0859705	0,07	Tidak
2	3,5	3,5	0,006954	0,006954	0,038247	0,07	Aman
1	0	0	0	0	0	0,07	Aman

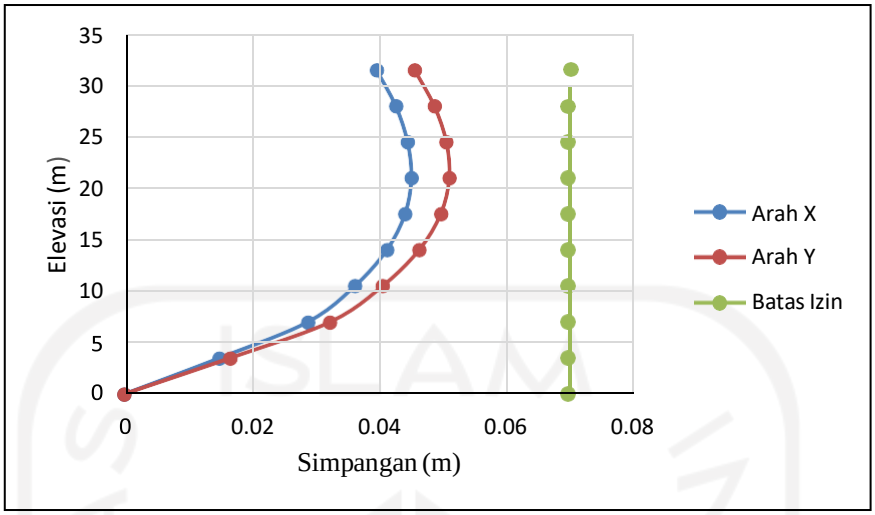
Tabel 5.17 Simpangan antar lantai pada model 1 (tanpa pengaku) arah Y

Model 1							
Arah Y							
Lantai	Elevasi lantai (m)	Tinggi (m)	Total Drift (m)	Simpangan (m)	Story Drift (m)	Story Drift Izin (m)	Kontrol $\delta < \Delta$
10	31,5	3,5	0,24903	0,018579	0,1021845	0,07	Aman
9	28	3,5	0,230451	0,022651	0,1245805	0,07	Aman
8	24,5	3,5	0,2078	0,027349	0,1504195	0,07	Tidak
7	21	3,5	0,180451	0,031966	0,175813	0,07	Tidak
6	17,5	3,5	0,148485	0,035494	0,195217	0,07	Tidak
5	14	3,5	0,112991	0,037071	0,2038905	0,07	Tidak
4	10,5	3,5	0,07592	0,03538	0,19459	0,07	Tidak
3	7	3,5	0,04054	0,028245	0,1553475	0,07	Tidak
2	3,5	3,5	0,012295	0,012295	0,0676225	0,07	Aman
1	0	0	0	0	0	0,07	Aman

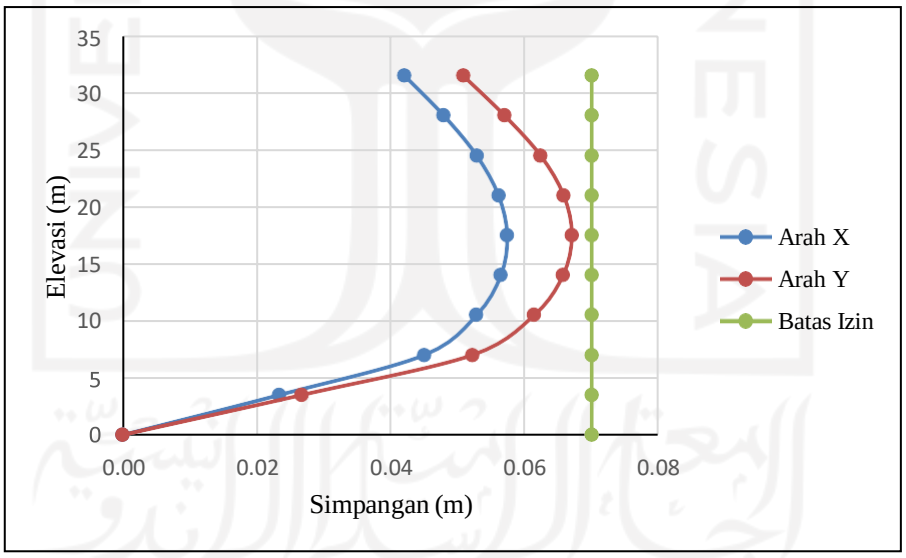
Untuk analisa simpangan antar lantai pada model 2 dan model 3 dapat dilihat pada lampiran 10 sampai dengan lampiran 13



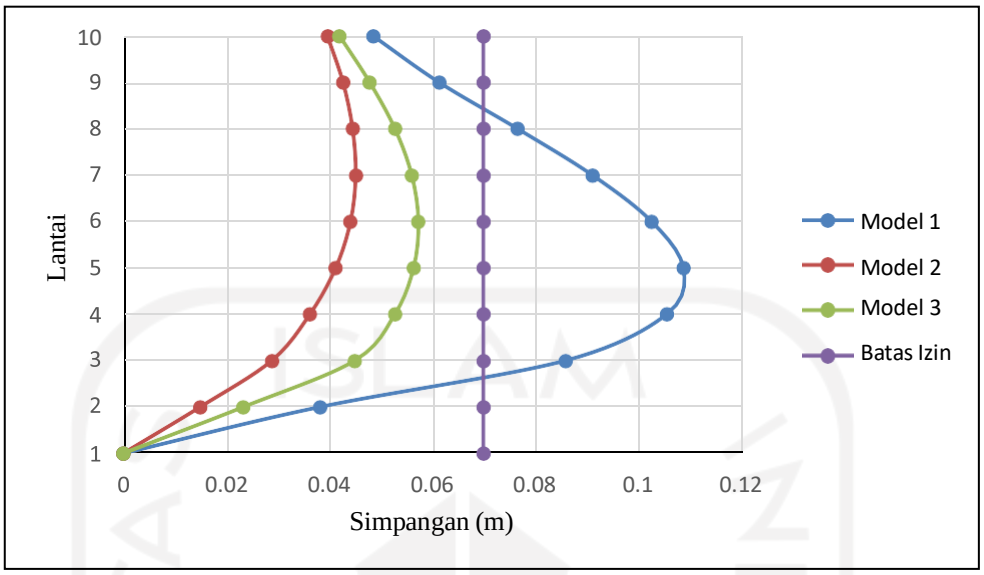
Gambar 5.3 Grafik simpangan antar lantai model 1 (tanpa pengaku)



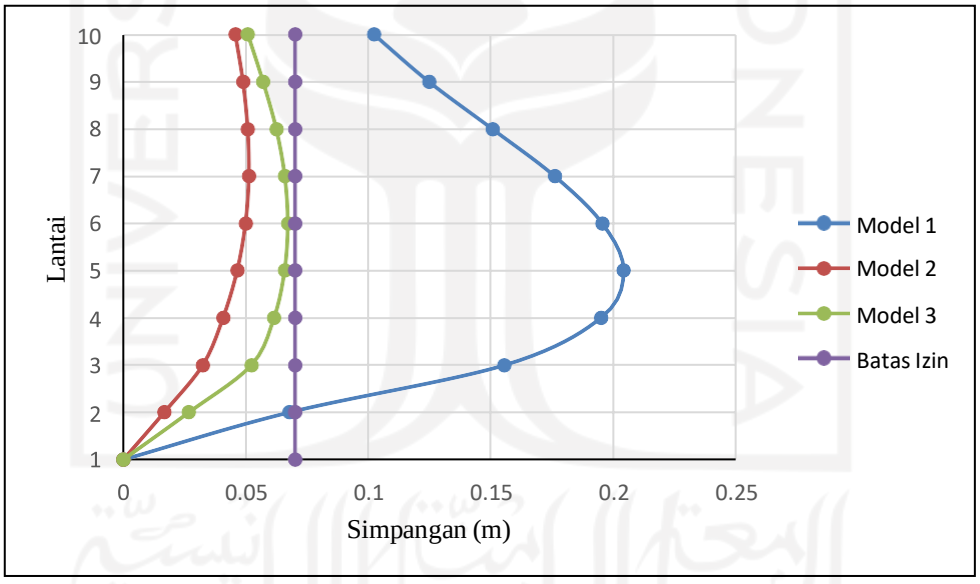
Gambar 5.4 Grafik simpangan antar lantai model 2 (Menggunakan *Shearwall*)



Gambar 5.5 Grafik simpangan antar lantai model 3 (Menggunakan *Bracing*)



Gambar 5.6 Grafik perbandingan simpangan antar lantai arah X



Gambar 5.7 Grafik perbandingan simpangan antar lantai arah Y

Berdasarkan Tabel 5.16, Tabel 5.17, Grafik 5.2 sampai dengan Grafik 5.6 di atas dapat disimpulkan bahwa simpangan antar lantai pada model 1 (tanpa menggunakan *shearwall* dan *bracing*) melebihi batas izin. Hal ini membuktikan bahwa pada bangunan penelitian ini harus diberi struktur pengaku agar simpangan antar lantai tidak melebihi batas izin, sehingga pada bangunan ini diberi struktur pengaku yaitu *shearwall* seperti pada model 2 atau *bracing* seperti model 3.

Simpangan antar lantai yang terjadi pada model 2 (*shearwall*) dan model 3 (*bracing*) memenuhi syarat karena tidak melebihi batas izin. Simpangan antar lantai pada model 2 (*shearwall*) lebih kecil dibandingkan dengan model 3 (*bracing*). Hal ini membuktikan bahwa struktur pada model 2 (*shearwall*) lebih kuat dan lebih kaku dibandindingkan dengan model 3 (*bracing*).

5.2.2 Drift Ratio

Drift ratio adalah simpangan antar lantai dibagi dengan tinggi lantai pada bangunan tersebut. Perhitungan *drift ratio* pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 5.18 *Drift ratio* model 1 (Tanpa Pengaku)

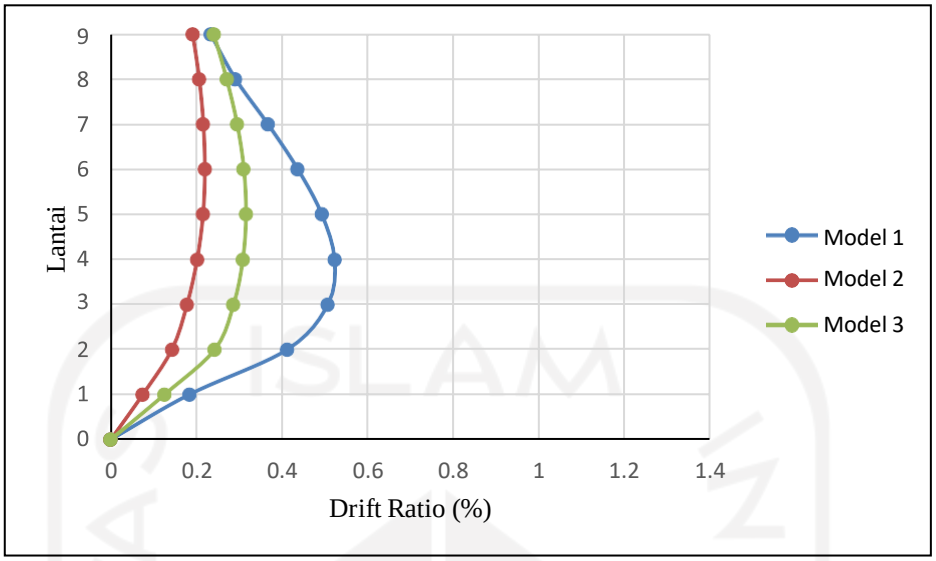
Model 1							
Arah X				Arah Y			
Tingkat	δa	Drift Ratio	Tinggi lantai	Tingkat	δa	Drift Ratio	Tinggi lantai
9	0,120372	0,232371	3,5	9	0,194337	0,395514	3,5
8	0,112239	0,290686	3,5	8	0,180494	0,502029	3,5
7	0,102065	0,366057	3,5	7	0,162923	0,6248	3,5
6	0,089253	0,435714	3,5	6	0,141055	0,733314	3,5
5	0,074003	0,491514	3,5	5	0,115389	0,807657	3,5
4	0,0568	0,521486	3,5	4	0,087121	0,830429	3,5
3	0,038548	0,506057	3,5	3	0,058056	0,778543	3,5
2	0,020836	0,411943	3,5	2	0,030807	0,613686	3,5
1	0,006418	0,183371	3,5	1	0,009328	0,266514	3,5
0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 5.19 *Drift ratio* model 2 (Menggunakan *Shearwall*)

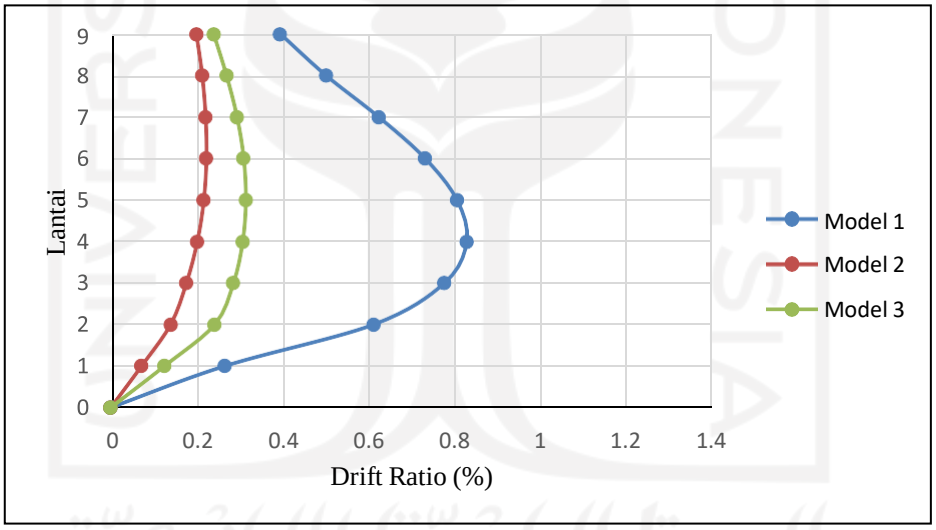
Model 2							
Arah X				Arah Y			
Tingkat	δa	Drift Ratio	Tinggi lantai	Tingkat	δa	Drift Ratio	Tinggi lantai
9	0,057506	0,190914	3,5	9	0,058246	0,199686	3,5
8	0,050824	0,206143	3,5	8	0,051257	0,213257	3,5
7	0,043609	0,215714	3,5	7	0,043793	0,221257	3,5
6	0,036059	0,219143	3,5	6	0,036049	0,223086	3,5
5	0,028389	0,215	3,5	5	0,028241	0,217057	3,5
4	0,020864	0,201229	3,5	4	0,020644	0,201914	3,5
3	0,013821	0,177743	3,5	3	0,013577	0,176457	3,5
2	0,0076	0,142571	3,5	2	0,007401	0,139629	3,5
1	0,00261	0,074571	3,5	1	0,002514	0,071829	3,5
0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 5.20 *Drift ratio* model 3 (Menggunakan *Bracing*)

Model 3							
Arah X				Arah Y			
Tingkat	δa	Drift Ratio	Tinggi lantai	Tingkat	δa	Drift Ratio	Tinggi lantai
9	0,08371	0,240086	3,5	9	0,08371	0,240086	3,5
8	0,075307	0,269943	3,5	8	0,075307	0,269943	3,5
7	0,065859	0,294514	3,5	7	0,065859	0,294514	3,5
6	0,055551	0,310171	3,5	6	0,055551	0,310171	3,5
5	0,044695	0,315029	3,5	5	0,044695	0,315029	3,5
4	0,033669	0,307771	3,5	4	0,033669	0,307771	3,5
3	0,022897	0,286171	3,5	3	0,022897	0,286171	3,5
2	0,012881	0,242571	3,5	2	0,012881	0,242571	3,5
1	0,004391	0,125457	3,5	1	0,004391	0,125457	3,5
0	0	0	0	0	0	0	0



Gambar 5.8 Grafik perbandingan *drift ratio* arah X



Gambar 5.9 Grafik perbandingan *drift ratio* arah Y

Drift ratio menunjukkan sifat bangunan yang dianalisis kaku atau fleksibel. Semakin kecil nilai drift ratio maka semakin kaku bangunan yang didesain. Berdasarkan hasil analisis diatas, pemberian struktur pengaku pada bangunan membuat bangunan lebih kaku. Hal ini ditunjukkan dengan hasil drift ratio model 1 (tanpa menggunakan *shearwall* dan *bracing*) lebih besar dibandingkan dengan model 2 (menggunakan *shearwall*) dan model 3 (menggunakan *bracnig*). Model 2

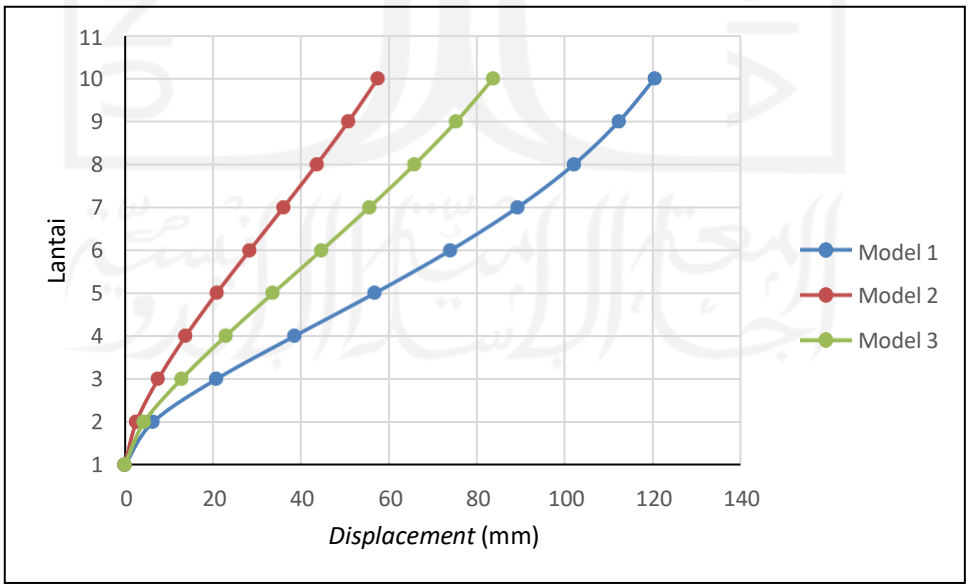
(menggunakan *shearwall*) adalah struktur pengaku yang lebih kaku jika dibandingkan dengan 2 model lainnya.

5.2.3 Displacement

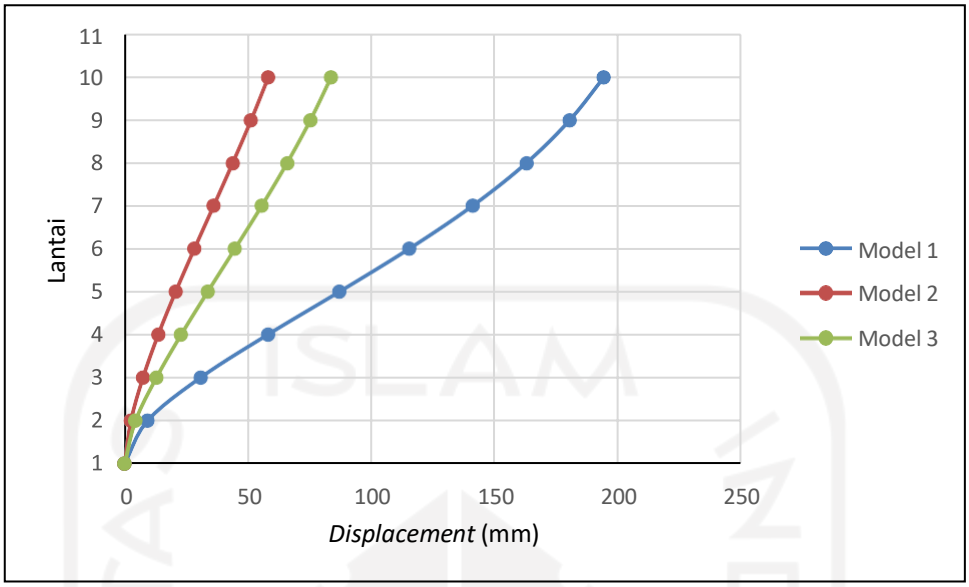
Displacement atau perpindahan pada model struktur bangunan yang diakibatkan oleh perbedaan struktur pengaku yang digunakan adalah sebagai berikut.

Tabel 5.21 Perbandingan *displacement*

Displacement						
Lantai	Model 1		Model 2		Model 3	
	U1 (mm)	U2 (mm)	U1 (mm)	U2 (mm)	U1 (mm)	U2 (mm)
10	120,372	194,337	57,506	58,246	83,71	83,71
9	112,239	180,494	50,824	51,257	75,307	75,307
8	102,065	162,923	43,609	43,793	65,859	65,859
7	89,253	141,055	36,059	36,049	55,551	55,551
6	74,003	115,389	28,389	28,241	44,695	44,695
5	56,8	87,121	20,864	20,644	33,669	33,669
4	38,548	58,056	13,821	13,577	22,897	22,897
3	20,836	30,807	7,600	7,401	12,881	12,881
2	6,418	9,328	2,610	2,514	4,391	4,391
1	0	0	0	0	0	0



Gambar 5.10 Grafik perbandingan nilai *displacement* arah X



Gambar 5.11 Grafik perbandingan nilai *displacement* arah Y

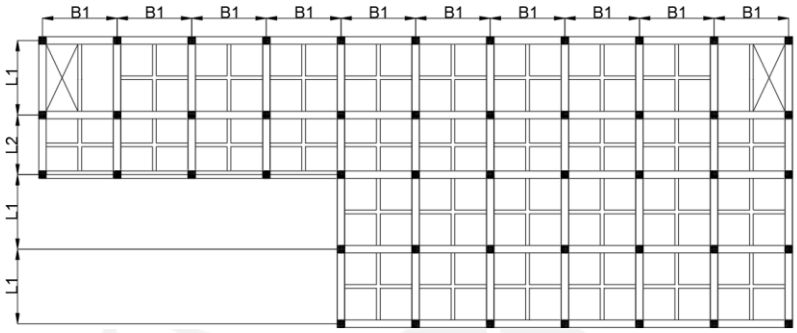
Pada hasil analisis diatas, nilai *displacement* yang terjadi dari ketiga model tersebut mempunyai perbedaan yang cukup signifikan. Pada model 2 (menggunakan dinding geser) dan model 3 (menggunakan sistem pertambatan) mempunyai nilai *displacement* yang lebih kecil dibandingkan dengan model 1 (tanpa menggunakan dinding geser dan sistem pertambatan). Ini menandakanbahwa pada model bangunan ini lebih baik menggunakan struktur pengaku sepertidinding geser atau sistem pertambatan agar nilai *displacement* yang terjadi kecil. Model yang paling optimum nilai *displacement* nya adalah model 2 berdasarkan perbandingan nilai grafik diatas.

5.3 Perhitungan Estimasi Dimensi

Perhitungan estimasi dimensi dimulai dengan melakukan estimasi pada setiap elemen-elemen struktur yang ada. Dengan mengetahui dimensi pada setiap elemen struktur maka akan mempermudah untuk melakukan *input* pada aplikasi SAP2000.

5.3.1 Estimasi Dimensi Balok

Pada model bangunan untuk penelitian ini, estimasi balok dapat dilihat pada gambar 5.1 sebagai berikut.



TABEL GEOMTERI STRUKTUR	
KODE	PANJANG (M)
B1	5
L1	5
L2	4

Gambar 5.12 Denah estimasi balok

Berikut merupakan contoh perhitungan estimasi balok induk B1 dan balok anak B1.

1. Balok Induk (BI 1)

   Panjang bentang (L) = 5000 mm

   h = (1/12) * L

   = (1/12) *5000

   = 417 mm ~ h pakai 500 mm

   b = h/2

   = 417/2

   = 208,333 mm ~ b pakai 300 mm

2. Balok Anak (BA 1)

   Panjang bentang (L) = 5000 mm

   h = (1/14) *L

   = (1/14) *5000

   = 357,142 mm ~ h pakai 400 mm

   b = h/2

   = 357,142/2

   = 178,57 mm ~ b pakai 250 mm

Pada perhitungan ukuran balok yang lain dilakukan dengan cara yang sama sehingga didapatkan hasil seperti Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.22 Hasil estimasi ukuran balok

Balok	Tinggi balok (mm)	Lebar balok (mm)
BI 1	500	300
LI 1	450	300
LI 2	350	250
BA 1	400	250
LA 1	400	250
LA 2	300	200

5.3.2 Estimasi Dimensi Kolom

Perhitungan estimasi dimensi kolom pada bangunan penelitian ini adalah sebagai berikut.

Qu = (1,2 qd + 1,6 qL) lantai + (1,2 qd + 1,6 qL) atap

= (1,2* 1,422) + (1,6 * 4,79) + (1,2 * 1,236) + (1,6 * 0,96)

= 12,39 kN/m^2

F'c = 27,5 Mpa

n (jumlah lantai) = 10 lantai

A (luas lantai) = 25 m^2

Gaya Aksial = Qu x A

= 12,39 * 25

= 309,755 kN

Pu max = 309755 N

Ag = $\frac{Pu}{0{,}4\ x\ F'c}$

= $\frac{309755}{0{,}4\ x\ 27{,}5}$

= 281595,727 mm

b = $\sqrt{Ag}$

= $\sqrt{281595{,}727}$

= 520,655 mm ~ 800 mm

h = 520,655 mm ~ 800 mm

Dimensi kolom yang dipakai adalah 800 mm x 800 mm. Untuk memudahkan pengerjaan maka ukuran kolom pada tiap lantai diseragamkan.

5.3.3 Dinding Geser

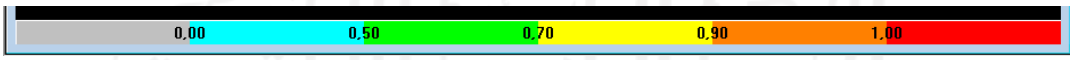
Dinding geser merupakan salah satu pengaku struktur ganda yang dapat membantu dalam meminimalisir gaya horizontal yang terjadi pada bangunan. Pada SNI 2847-2019 pasal 14.3.3.1 mengatakan bahwa tebal dinding geser tidak boleh kurang dari 1/24 bentang terpanjang. Perhitungan tebal dinding geser adalah sebagai berikut.

Tebal dinding geser = (1/24) x b
= (1/24) x 5000 mm
= 208,33 mm

Maka dinding geser tidak boleh kurang dari 208,33 mm. Sehingga dinding geser pada model 2 digunakan tebal 300 mm.

5.3.4 Bracing

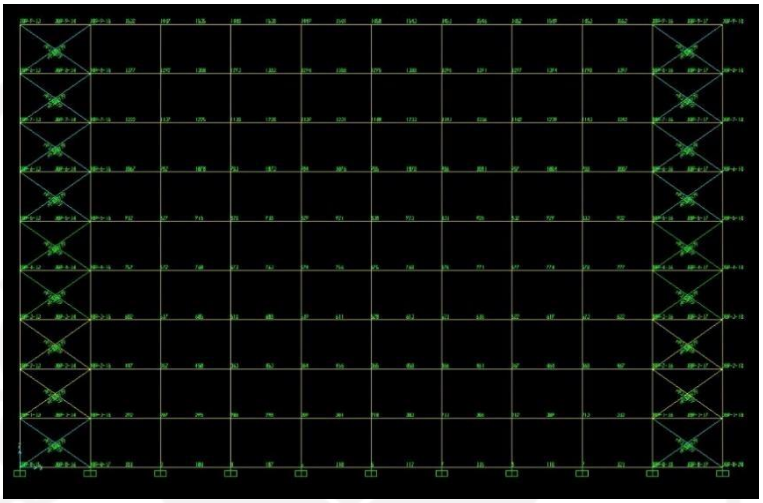
Bracing merupakan salah satu pengaku struktur ganda yang dapat yang dapat membantu dalam meminimalisir gaya horizontal yang terjadi pada bangunan. Pada SAP200 mengkelompokkan keamanan profil tiap baja dengan warna dan angka seperti gambar 5.13 berikut.



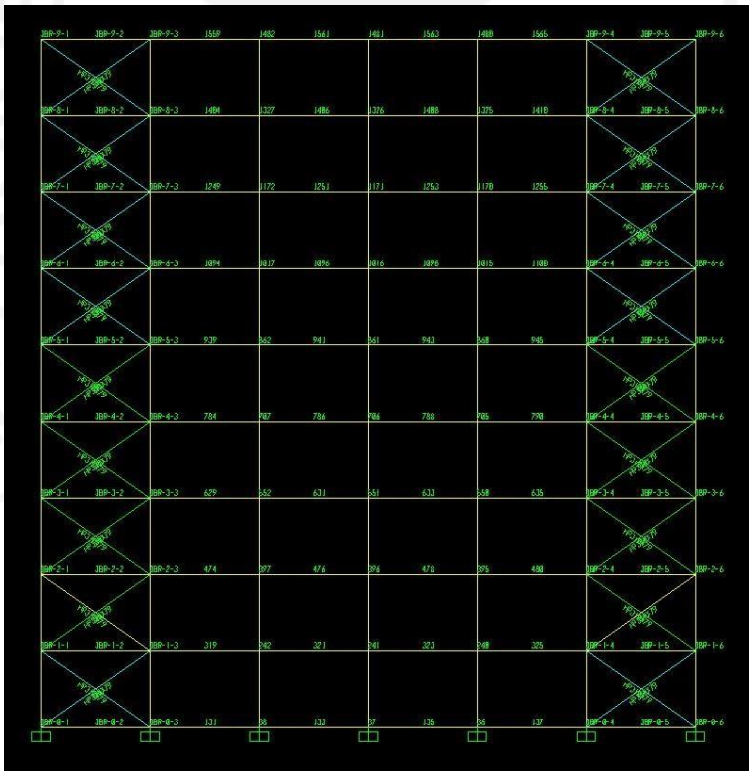
Gambar 5.13 Kategori Keamanan Profil Baja

Pada warna abu-abu dan biru muda menandakan bahwa profil baja yang digunakan sangat aman akan tetapi boros secara ekonomi. Warna hijau, kuning dan oranye menandakan profil baja layak pakai dan cukup efektif dan efisien dari segi ekonomi, dan warna merah menandakan profil baja tidak aman digunakan sehingga perlu di perbesar/di ubah bentuk profil bajanya.

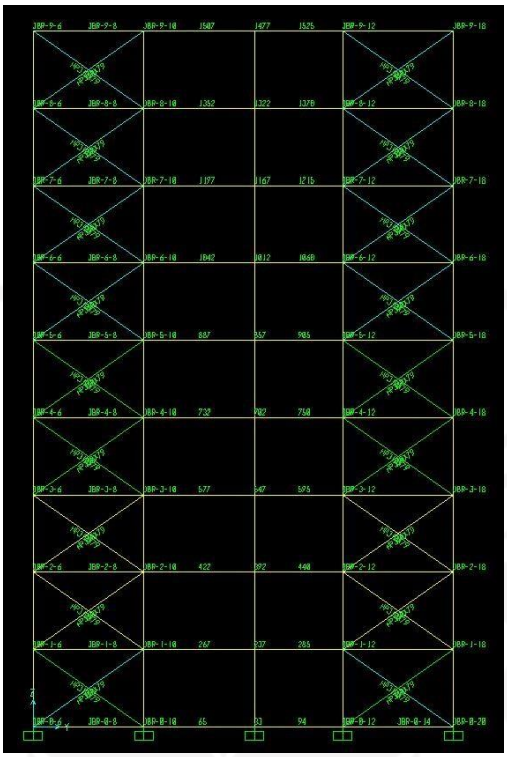
Penelitian kali ini ukuran *bracing* yang digunakan adalah hasil dari trial dan error dengan menggunakan SAP2000 mengacu pada ukuran AISCE. Didapatkan hasil ukuran profil IWF tipe HP370x79 BJ 550. Cek keamanan ukuran profil adalah sebagai berikut.



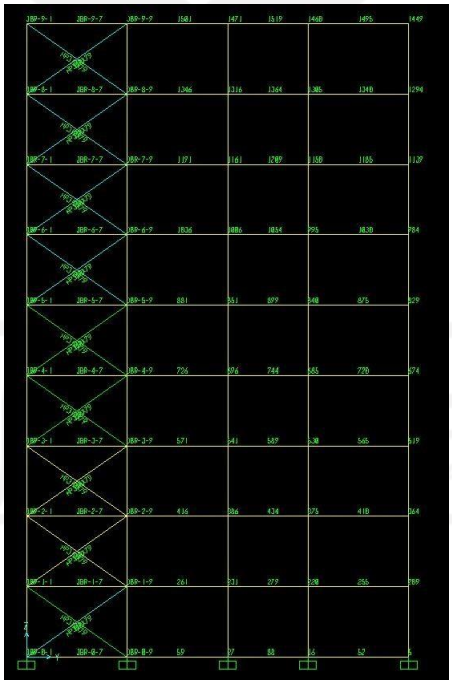
Gambar 5.14 Cek keamanan tampang samping 1



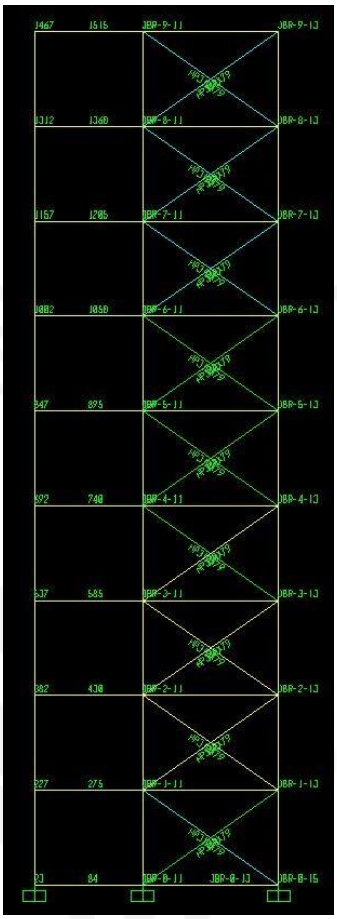
Gambar 5.15 Cek keamanan tampang samping 2



Gambar 5.16 Cek keamanan tampang samping 3



Gambar 5.17 Cek keamanan tampang samping 4



Gambar 5.18 Cek keamanan tampang samping 5

Steel Stress Check Data AISC-LRFD93

File

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK
Combo : DSTL8
Units : KN, m, C

Frame : 1866 Design Sect: HP310X79
X Mid : 47,500 Design Type: Brace
Y Mid : 19,000 Frame Type : Moment Resisting Frame
Z Mid : 12,250 Sect Class : Non-Compact
Length : 6,103 Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3
Loc : 6,103 RLLF : 1,000

Area : 0,010 SMajor : 0,001 rMajor : 0,128 AVMajor: 0,003
IMajor : 1,640E-04 SMinor : 3,469E-04 rMinor : 0,073 AVMinor: 0,006
IMinor : 5,290E-05 ZMajor : 0,001 E : 199947978,80
Ixy : 0,000 ZMinor : 5,280E-04 Fy : 410000,000

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
6,103	-1101,946	-23,913	0,211	9,697	-0,059	-2,106E-05

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio		P Ratio		MMajor Ratio		MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
(H1-1a)	0,640	=	0,583	+	0,056	+	0,001	0,950	OK

AXIAL FORCE DESIGN

	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity
Axial	-1101,946	1889,171	3690,000

MOMENT DESIGN

	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	-23,913	382,480	0,850	1,000	1,000	1,000	1,000	2,197
Minor Moment	0,211	165,570	0,323	1,000	1,000	1,000	1,000	

SHEAR DESIGN

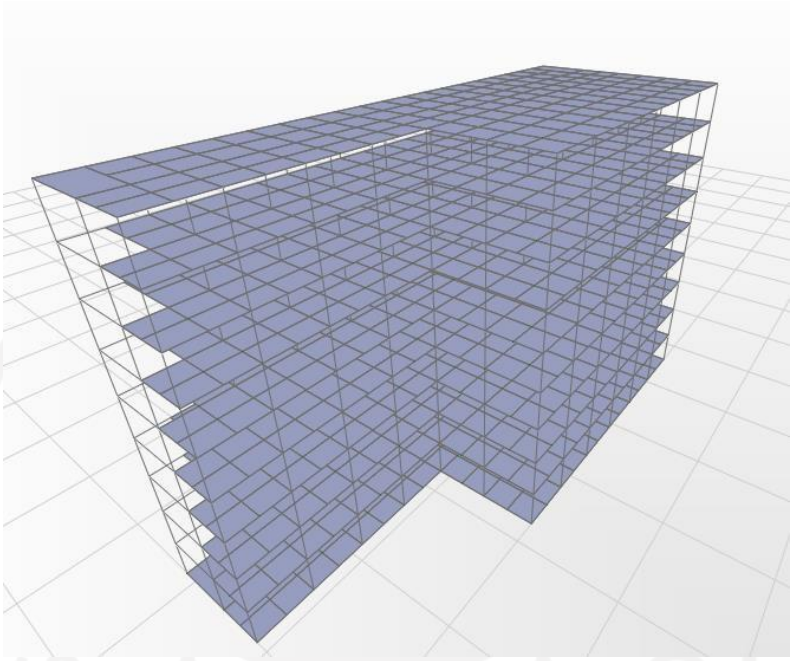
	Vu Force	phi*Vn Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion
Major Shear	9,697	730,620	0,013	OK	0,000
Minor Shear	0,059	1237,995	4,737E-05	OK	0,000

Gambar 5.19 Hasil Analisis Frame 1866

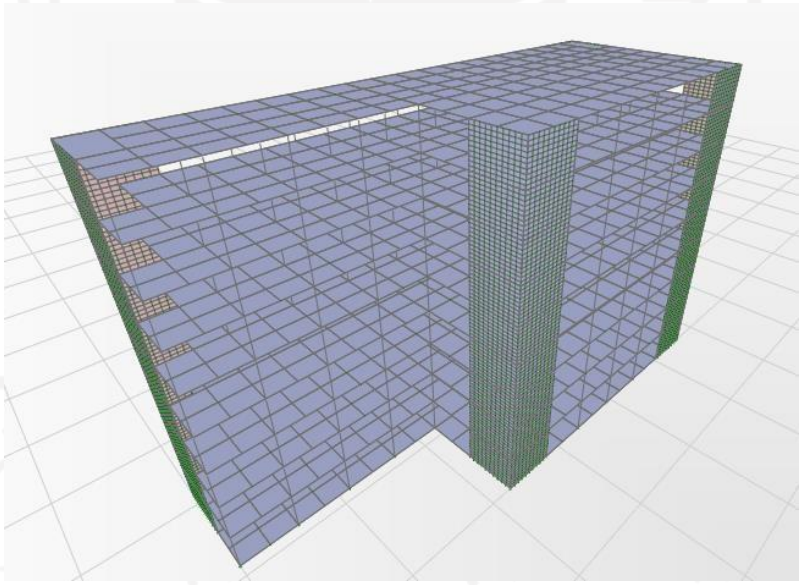
Berdasarkan hasil gambar diatas maka ukuran profil *bracing* memenuhi syarat keamanan dengan ditandai tidak ada warna merah pada setiap *frame*. Profil IWF tipe HP370x79 BJ 550 layak digunakan sebagai sistem pertambatan pada model 3. SAP2000 juga menganalisis hasil kapasitas pada profil IWF tipe HP370x79 BJ 550 dan secara perhitungan memenuhi syarat.

5.3.5 Hasil Permodelan Struktur

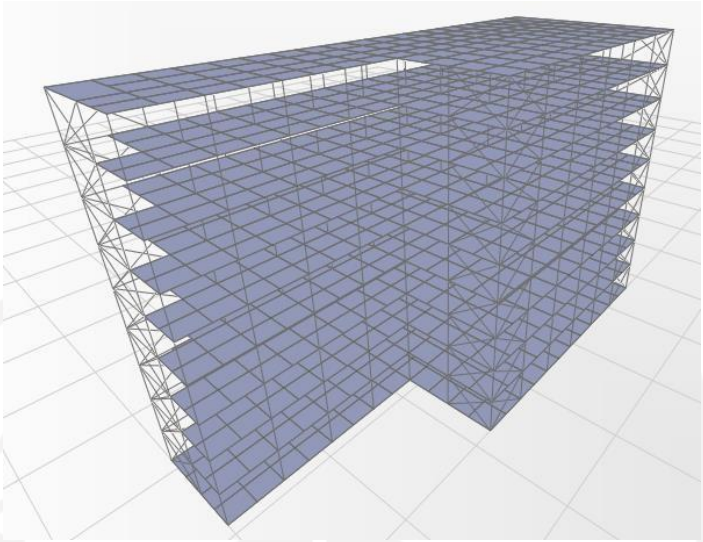
Seperti yang sudah dibahas pada sebelumnya pada model 1 struktur bangunan dengan 10 tingkat tanpa menggunakan dinding geser dan pertambatan. Model 2 struktur bangunan menggunakan dinding geser sebagai pengaku. Model 3 struuktur bangunan menggunakan sistem pertambatan sebagai pengaku. Hasil permodelan struktur pada aplikasi SAP2000 adalah sebagai berikut.



Gambar 5.20 3D model 1 (tanpa dinding geser dan pertambatan)



Gambar 5.21 3D model 2 (menggunakan dinding geser)



Gambar 5.22 3D model 3 (menggunakan sistem pertambatan)

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan analisis pada penelitian respon struktur pada gedung bertingkat menggunakan dinding geser dan sistem pertambatan adalah sebagai berikut.

1. Adanya pengaku struktur tambahan seperti dinding geser dan sistem pertambatan nilai *base shear* akan lebih besar dibandingkan dengan tanpa pengaku strukur.
2. Perbandingan nilai simpangan antar lantai adalah sebagai berikut,
    a. Nilai simpangan terkecil terdapat pada model 2 (menggunakan dinding geser) dibandingkan yang lainnya. Penurunan nilai simpangan pada lantai terekstrim arah x antara model 2 (menggunakan dinding geser) dan model 1 (tanpa menggunakan dinding geser dan sistem pertambatan) adalah sebesar 12,6 mm dengan presentase 34,35% lebih kecil.
    b. Model 2 (menggunakan dinding geser) merupakan model paling optimum dalam nilai simpangan antar lantai dibandingkan dengan kedua model lainnya.
    c. Model 1 (tanpa dinding geser dan sistem pertambatan) tidak memenuhi batas izin simpangan antar lantai yang menunjukkan bahwa model ini struktur bangunan perlu diperkuat dengan penambahan dinding geser atau sistem pertambatan.

3. Perbandingan *drift ratio* adalah sebagai berikut.

    a. Nilai *drift ratio* yang paling ektrim dari ketiga model tersebut adalah model 1 (tanpa dinding geser dan pertambatan) sebesar 83%. Pada lantai yang sama nilai *drift ratio* paling optimum terjadi pada model 2 (menggunakan dinding geser) yaitu sebesar 20%.

    b. Pada model 1 terjadi nilai *drift ratio* yang besar sehingga model 1 harus diperkuat dengan penambahan pengaku struktur yaitu dinding geser atau sistem pertambatan.

    c. Permodelan struktur yang paling efektif dan efisien digunakan berdasarkan nilai *drift ratio* adalah model 2 (menggunakan dinding geser).

4. *Displacement* yang terjadi dengan nilai paling efektif adalah model 2 (menggunakan dinding geser) dikarenakan hasil analisis memiliki selisih paling kecil dibandingkan dengan kedua model lainnya.

5. Kelayakan permodelan bangunan berdasarkan hasil analisis adalah sebagai berikut.

    a. Model 1 (tanpa dinding geser dan sistem pertambatan) tidak layak dikarenakan nilai simpangan melalui batas izin.

    b. Model 2 (menggunakan dinding geser) dan model 3 (menggunakan sistem pertambatan) layak karena memenuhi syarat simpangan antar lantai, memenuhi syarat control SPRMK 25%, dan mempunyai nilai *displacement* yang kecil.

    c. Model 2 merupakan permodelan struktur paling efektif dan efisien dibandingkan dengan kedua model lainnya berdasarkan hasil analisis respon struktur yang dilakukan.

6.2 Saran

Berikut merupakan beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah.

1. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan lebih banyak variasi tipe sistem pertambatan.
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode yang berbeda seperti analisis *pushover*.
3. Menggunakan atau membandingkan dengan *software* yang berbeda agar mendapatkan hasil yang lebih optimal.
4. Menggunakan bangunan riil agar hasil penelitian lebih akurat dalam penerapannya.
5. Memperhitungkan variabel lain yang dipengaruhi oleh gaya lateral.
6. Pada penelitian selanjutnya dapat digunakan variasi gabungan dari dinding geser dan sistem pertambatan.
7. Pada penelitian selanjutnya dapat memodelkan tangga dan lift pada *software* dan meletakkan tumpuan jepit pada *pile cap*.

DAFTAR PUSTAKA

Andalas, G. (2016). *Analisis Layout Shearwall Terhadap Perilaku Struktur Gedung*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung., 1(1), 491–502.

Aryandi, D. Herbudiman, B. (2017). *Pengaruh Bentuk Bracing terhadap Kinerja Struktur Beton Bertulang.* Bandung: Jurnal Online Institut Teknologi Nasional.

Fauziah L, Sumajouw M. D. J., Dapas, Windah R.S. 2013. , Pengaruh penempatan dan posisi dinding geser terhadap simpangan bangunan beton bertulang bertingkat banyak akibat beban gempa, *Jurnal Sipil Statik*, Vol,1 No,7 Juni 2013 (466-472), Universitas Sam Ratulangi, Manado,

Haryono S., Arumningsih D., Purnamawanti D. 2015. Penggunaan Struktur Bresing Konsentrik Tipe X untuk Perbaikan Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Lateral Akibat Gempa. Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur UTP Vol. 16, No. 20. Surakarta

Hutahaean S.G., Aswandy. . 2016. Kajian Pemakaian *Shearwall* dan *Bracing* pada Gedung Bertingkat, Jurnal Jurusan Teknik Sipil Itenas Vol.2, No. 4. Bandung

Hyundai Elevator.2015. *Planning Guide Hyundai Elevator*: C-EPG-E1705.Korea

Manalip H., Kumaat E. J., Runtu F. I. 2015. Penempatan Dinding Geser Pada Banguna beton Bertulang Dengan Analisa *Pushover*, *Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol. 5 No.1,* Universitas Sam Ratulagi, Manado,

Pawirodikromo W,. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar

PPURG. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung.* Yayasan Badan Penerbit PU. Jakarta.

Siddiqi Z. A., Hameed R., Akmal U. 2014. *Comparison of Different Bracing Systems for Tall Buildings*. Jurnals Pak. J. Engg. & Appl. Sci. Vol. 14, Jan., 2014 (p. 17-26). Lahore

Standar Nasional Indonesia. 2019. *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.* SNI 1726. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2013. *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan.* SNI 2847. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2013. *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain.* SNI 1727. Jakarta.

Viswanath K.G, Prakash K.B., dan Anant Desai. 2010. *Seismic Analysis of Steel Braced Reinforced Concrete Frames. International Journal of Civil And Structural Engineering* Vol. 1, No 1, 2010.

Windah R.S., 2011, Penggunaan Dinding Geser Sebagai Elemen Penahan Gempa Pada Bangunan Bertingkat 10 Lantai, Jurnal Ilmiah Media Engineering, Vol.1No.2:2087-9334(151-155), Manado.

Wibisono, A., Hidayat, A., Aseant, R. 2018. *Analsisi Tinggi Efektif Shearwall pada Sistem Ganda Pembangunan Gedung Beton Bertulang Berlantai Banyak Pada Tanah Lunak Lokasi Jakarta Studi Kasus Denah Persegi*. Jurnal RekayasA No. 1 Oktober 2018 Pp. 8-15 Universitas Mercu Buana. Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 SNI 1727-2013 Pasal 4 Tabel 4-1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L*0* dan Beban Hidup Terpusat Minimum.

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m²)	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses Ruang kantor Ruang komputer	 50 (2,4) 100 (4,79)	 2 000 (8,9) 2 000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)[a]	
Ruang pertemuan Kursi tetap (terikat di lantai) Lobi Kursi dapat dipindahkan Panggung pertemuan Lantai podium	 100 (4,79)[a] 100 (4,79)[a] 100 (4,79)[a] 100 (4,79)[a] 150 (7,18)[a]	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untukdaerahyang dilayani. Tidak perlumelebihi 100 psf (4,79 kN/m²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor Lantai pertama Lantai lain	 100 (4,79) sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)[a]	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in.x 2 in. [50 mmx50 mm])		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai *finishing* ringan (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran Hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4.5	
Garasi/Parkir Mobil penumpang saja Truk dan bus	40 (1,92) [a,b,c] c	

Sumber SNI 1727:2013 Pasal 4

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m^2)	Terpusat lb (kN)
Susuran tangga, rel pengamandan batang pegangan	Lihat pasal 4.5	
Helipad	60 (2,87)[d,e]tidak boleh direduksi	[e,f,g]
Rumah sakit:		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1 000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18) [a, n]	1 000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00)[a]	2 000 (8,90)
Berat	250 (11,97)[a]	3 000 (13,40)
Gedung perkantoran:		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2 000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2 000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2 000 (8,90)
Lembaga hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, Kolam renang, dan penggunaan yang sama	75 (3,59)[a]	
Bangsal dansa dan Ruang dansa	100 (4,79)[a]	
Gimnasium	100 (4,79)[a]	
Tempat menonton baikterbuka atau tertutup	100 (4,79)[a,k]	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87)[a,k]	
Rumah tinggal		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)		
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48)[l]	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96)[m]	
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	30 (1,44)	
Semua ruang kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	40 (1,92)	
Ruang publik[a] dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	

Sumber SNI 1727:2013 Pasal 4

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m²)	Terpusat lb (kN)
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)[n]	
Atap digunakan untuk taman atap	100 (4,79)	
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	Sama seperti hunian dilayani[a]	
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya		
Awning dan kanopi		
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24) tidak boleh direduksi	
Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka	200 (0,89)
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	2 000 (8,9)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai		
Titik panel tunggal dari batang bawah ranga atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, gudang, dan perbaikan garasi		300 (1,33)
Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1 000 (4,5)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,5)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1 000 (4,5)
Bak-bak/*scuttles*, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)[a,p]	8 000 (35,6)[q]
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300[r]
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300[r]
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpan barang sebelum disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat)		
Ringan	125 (6,00)[a]	
Berat	250 (11,97)[a]	

Sumber SNI 1727:2013 Pasal 4

Lampiran 2 SNI 1726-2019 Tabel 3 Halaman 24 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, 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: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

Sumber SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Sumber SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2

Lampiran 3 SNI 1726-2019 Tabel 12 halaman 49 Faktor R, C_d, dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R[a]	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0[b]	Faktor pembesaran defleksi, C_d[c]	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[d]				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D[e]	E[e]	F[f]
A. Sistem dinding penumpu								
1. Dinding geser beton bertulang khusus[g,h]	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa[g]	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail[g]	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa[g]	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah[g]	4	2½	4	TB	TB	12[i]	12[i]	12[i]
6. Dinding geser pracetak biasa[g]	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2¼	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1¾	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3¼	2	3¼	TB	TB	10[i]	10[i]	TI[i]
4. Dinding geser beton bertulang khusus[g,h]	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa[g]	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail[g]	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa[g]	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah[g]	5	2½	4½	TB	TB	12[i]	12[i]	12[i]
9. Dinding geser pracetak biasa[g]	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI

Sumber SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2

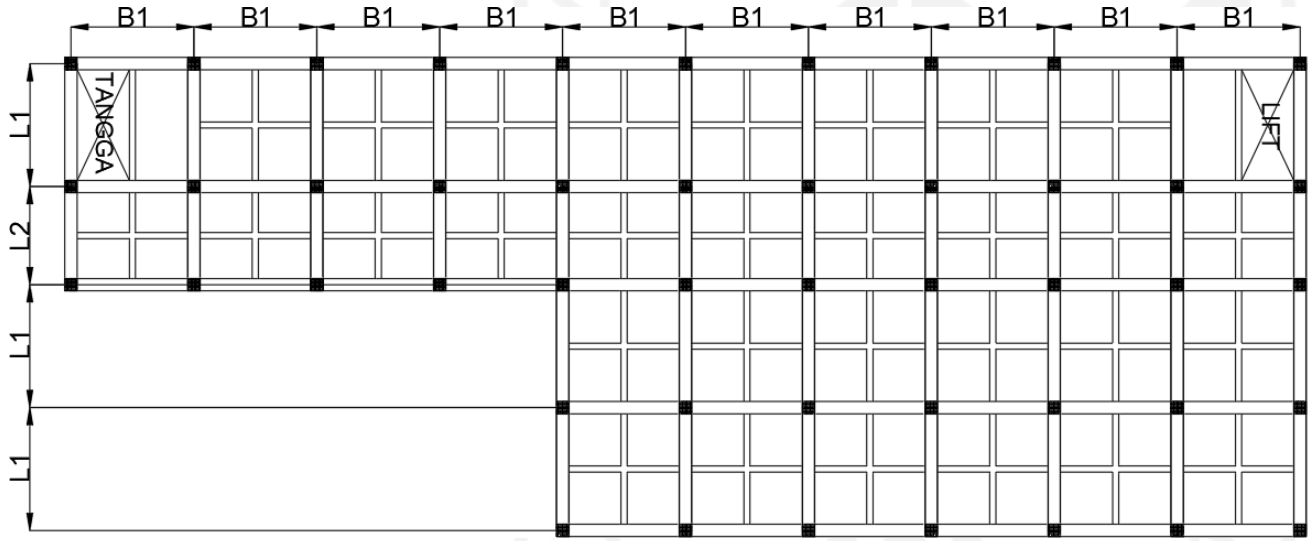
Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R[a]	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0[b]	Faktor pembesaran defleksi, C_d[c]	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[d]				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D[e]	E[e]	F[f]
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10[k]	TI[k]	TI[k]
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI[i]	TI[i]	TI[i]
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus[m]	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan[n]	3½	3[o]	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus[g,h]	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa[g]	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

Sumber SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R[a]	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0[b]	Faktor pembesaran defleksi, C_d[c]	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[d]				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D[e]	E[e]	F[f]
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus[g]	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus[g,h]	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa[g]	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa[g]	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1¼	1¼	1¼	10	10	TI[i]	TI[i]	TI[i]
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus[m]	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1½	1¼	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1¼	1¼	1¼	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

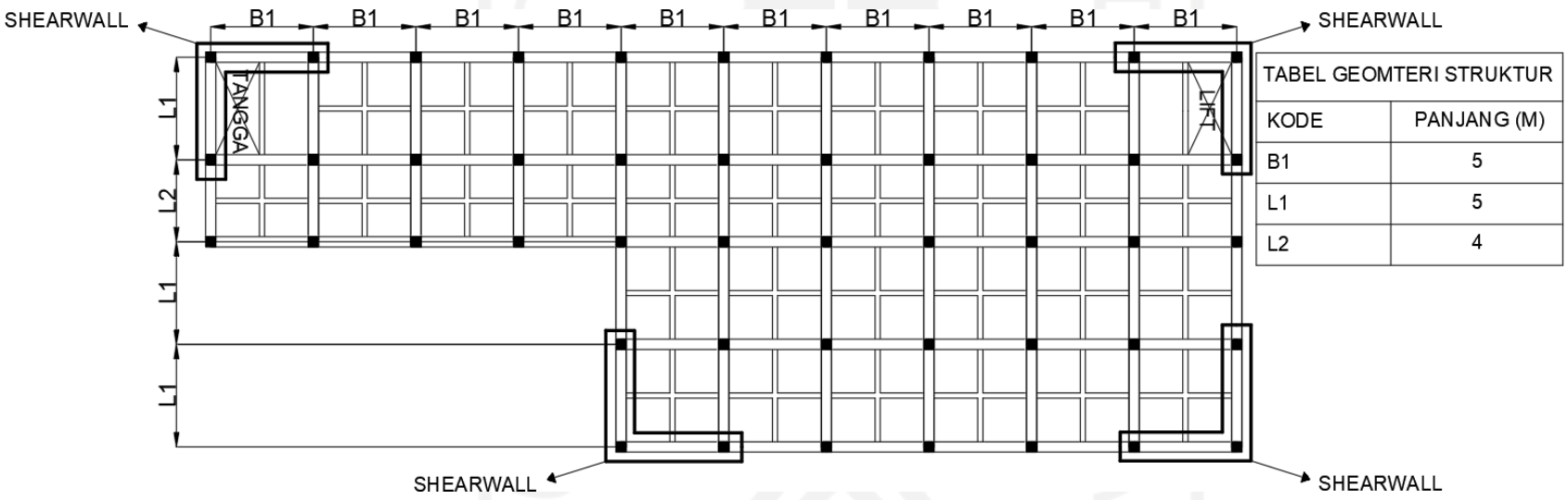
Sumber SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2

Lampiran 4 Denah Bangunan Tanpa Dinding Geser dan Sistem Pertambatan Model 1



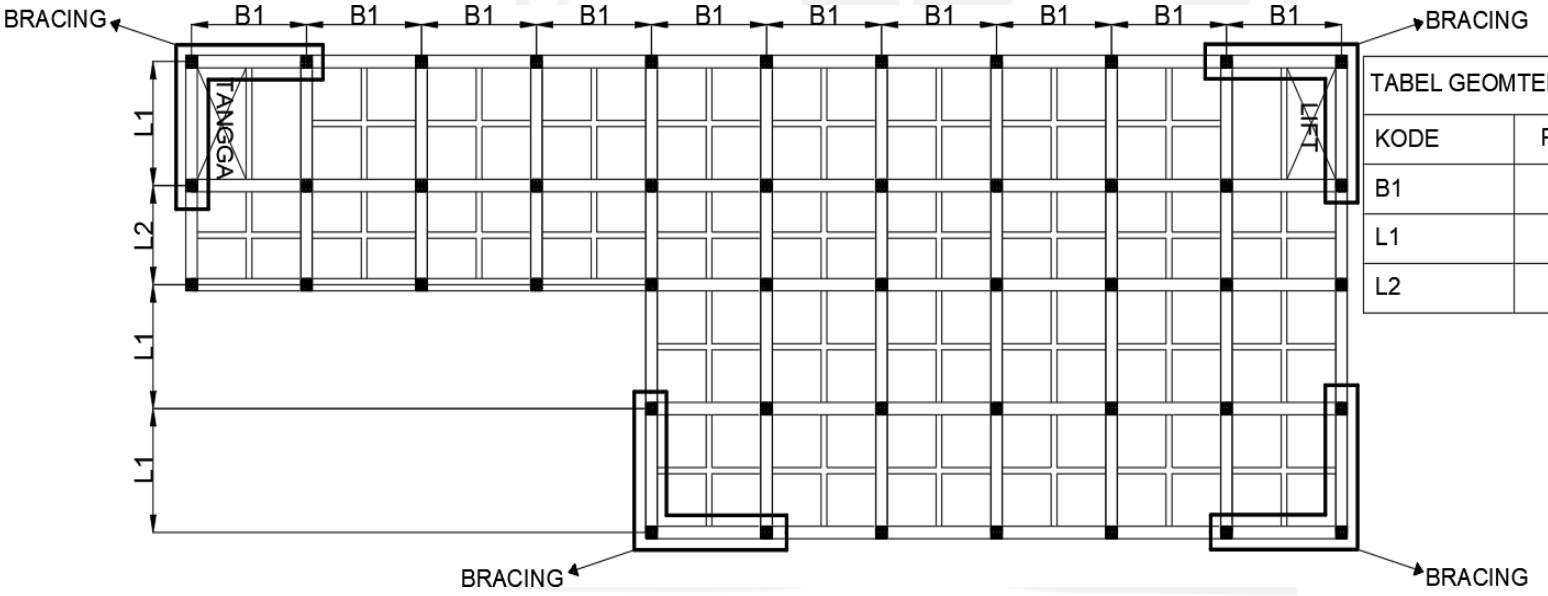
TABEL GEOMTERI STRUKTUR	
KODE	PANJANG (M)
B1	5
L1	5
L2	4

Lampiran 5 Denah Bangunan Menggunakan Dinding Geser Model 2



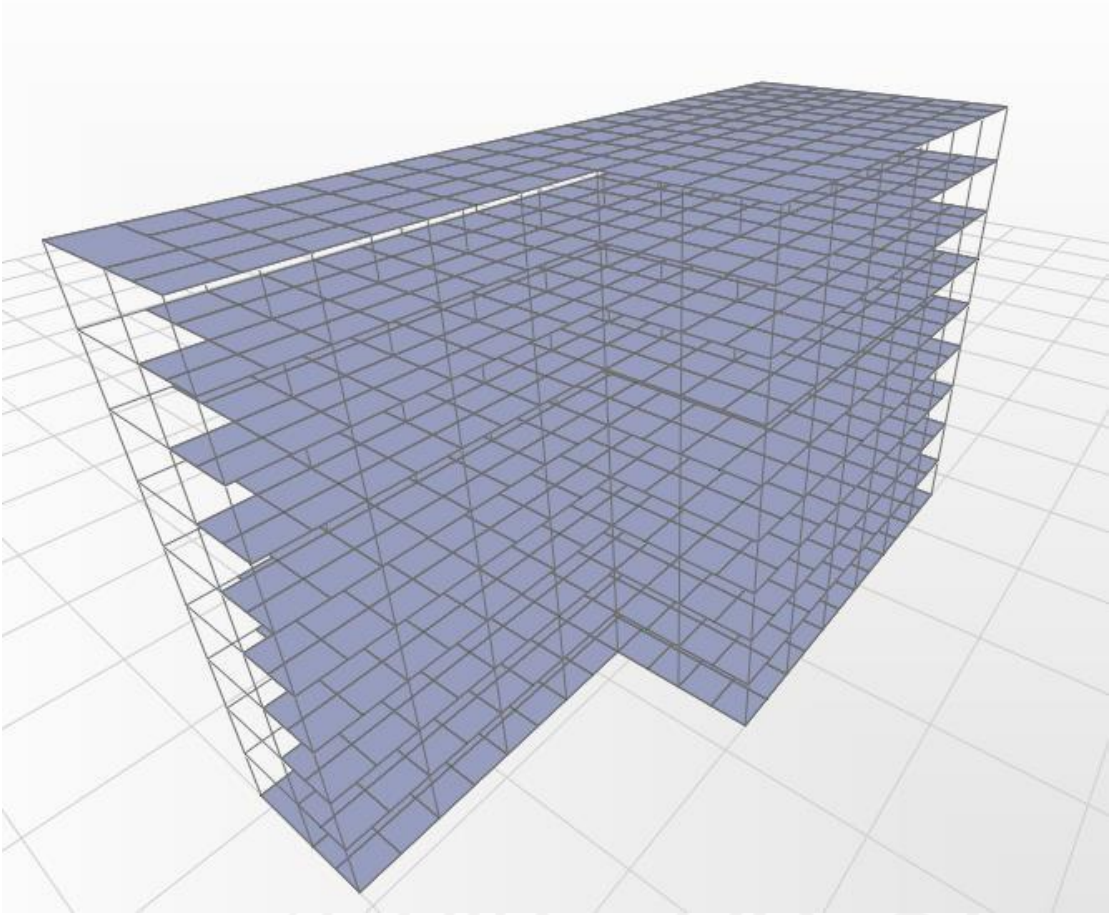
TABEL GEOMTERI STRUKTUR	
KODE	PANJANG (M)
B1	5
L1	5
L2	4

Lampiran 6 Denah Bangunan Menggunakan Sistem Pertambatan Model 3

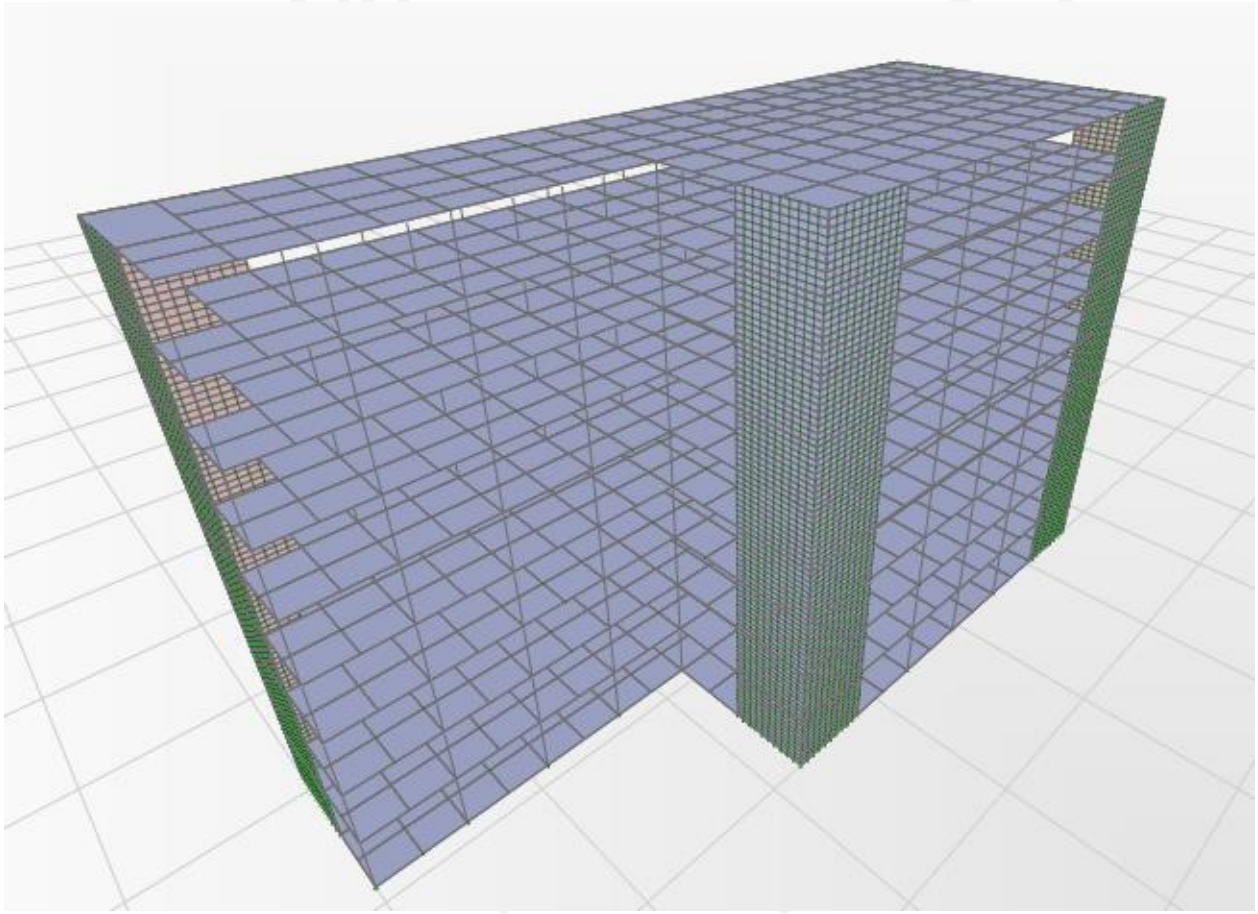


TABEL GEOMTERI STRUKTUR	
KODE	PANJANG (M)
B1	5
L1	5
L2	4

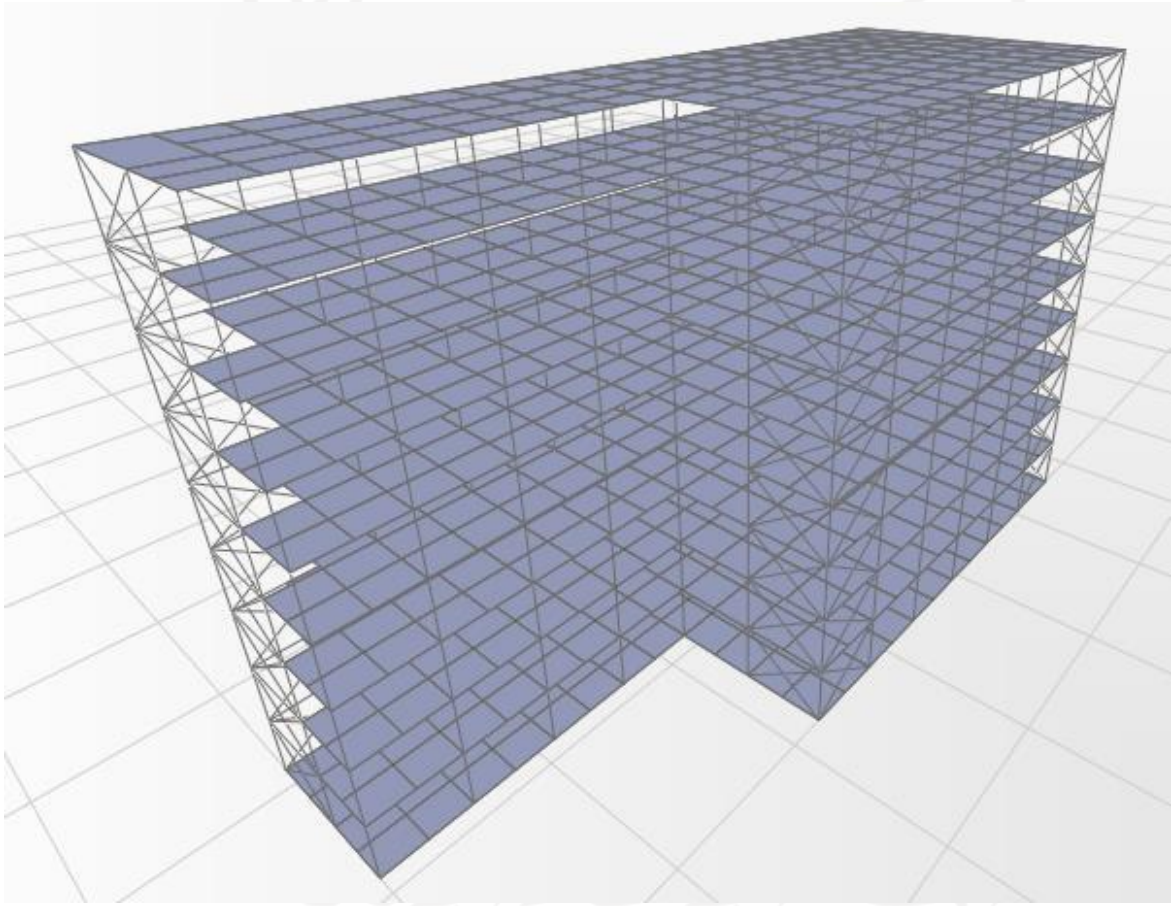
Lampiran 7 Permodelan Aplikasi SAP2000 Model 1 Tanpa Menggunakan Dinding Geser dan Sistem Pertambatan



Lampiran 8 Permodelan Aplikasi SAP2000 Model 2 Menggunakan Dinding Geser



Lampiran 9 Permodelan Aplikasi SAP2000 Model 1 Tanpa Menggunakan Dinding Geser dan Sistem Pertambatan



Lampiran 10 Simpangan Antar Lantai pada Model 2 (Menggunakan *Shearwall*) Arah X

Model 2							
Arah X							
Lantai	Elevasi lantai (m)	Tinggi (m)	Total Drift (m)	Simpangan (m)	Story Drift (m)	Story Drift Izin (m)	Kontrol $\delta < \Delta$
10	31,5	3,5	0,061434	0,00722	0,03971	0,07	Aman
9	28	3,5	0,054214	0,00777	0,042735	0,07	Aman
8	24,5	3,5	0,046444	0,008108	0,044594	0,07	Aman
7	21	3,5	0,038336	0,008217	0,0451935	0,07	Aman
6	17,5	3,5	0,030119	0,008035	0,0441925	0,07	Aman
5	14	3,5	0,022084	0,007512	0,041316	0,07	Aman
4	10,5	3,5	0,014572	0,006599	0,0362945	0,07	Aman
3	7	3,5	0,007973	0,005252	0,028886	0,07	Aman
2	3,5	3,5	0,002721	0,002721	0,0149655	0,07	Aman
1	0	0	0	0	0	0,07	Aman

Lampiran 11 Simpangan Antar Lantai pada Model 2 (*Shearwall*) Arah Y

Model 2							
Arah Y							
Lantai	Elevasi lantai (m)	Tinggi (m)	Total Drift (m)	Simpangan (m)	Story Drift (m)	Story Drift Izin (m)	Kontrol $\delta < \Delta$
10	31,5	3,5	0,069514	0,00831	0,045705	0,07	Aman
9	28	3,5	0,061204	0,008874	0,048807	0,07	Aman
8	24,5	3,5	0,05233	0,009219	0,0507045	0,07	Aman
7	21	3,5	0,043111	0,009302	0,051161	0,07	Aman
6	17,5	3,5	0,033809	0,009057	0,0498135	0,07	Aman
5	14	3,5	0,024752	0,008437	0,0464035	0,07	Aman
4	10,5	3,5	0,016315	0,007394	0,040667	0,07	Aman
3	7	3,5	0,008921	0,00589	0,032395	0,07	Aman
2	3,5	3,5	0,003031	0,003031	0,0166705	0,07	Aman
1	0	0	0	0	0	0,07	Aman

Lampiran 12 Simpangan Antar Lantai pada Model 3 (*Bracing*) Arah X

Model 3							
Arah X							
Lantai	Elevasi lantai (m)	Tinggi (m)	Total Drift (m)	Simpangan (m)	Story Drift (m)	Story Drift Izin (m)	Kontrol $\delta < \Delta$
10	31,5	3,5	0,086785	0,008413	0,042065	0,07	Aman
9	28	3,5	0,078372	0,009585	0,047925	0,07	Aman
8	24,5	3,5	0,068787	0,010565	0,052825	0,07	Aman
7	21	3,5	0,058222	0,011218	0,05609	0,07	Aman
6	17,5	3,5	0,047004	0,011478	0,05739	0,07	Aman
5	14	3,5	0,035526	0,01129	0,05645	0,07	Aman
4	10,5	3,5	0,024236	0,010563	0,052815	0,07	Aman
3	7	3,5	0,013673	0,009002	0,04501	0,07	Aman
2	3,5	3,5	0,004671	0,004671	0,023355	0,07	Aman
1	0	0	0	0	0	0,07	Aman

Lampiran 13 Simpangan Antar Lantai pada Model 3 (*Bracing*) Arah Y

Model 3							
Arah Y							
Lantai	Elevasi lantai (m)	Tinggi (m)	Total Drift (m)	Simpangan (m)	Story Drift (m)	Story Drift Izin (m)	Kontrol $\delta < \Delta$
10	31,5	3,5	0,10183	0,010165	0,050825	0,07	Aman
9	28	3,5	0,091665	0,011401	0,057005	0,07	Aman
8	24,5	3,5	0,080264	0,012474	0,06237	0,07	Aman
7	21	3,5	0,06779	0,013166	0,06583	0,07	Aman
6	17,5	3,5	0,054624	0,013409	0,067045	0,07	Aman
5	14	3,5	0,041215	0,013146	0,06573	0,07	Aman
4	10,5	3,5	0,028069	0,012284	0,06142	0,07	Aman
3	7	3,5	0,015785	0,010439	0,052195	0,07	Aman
2	3,5	3,5	0,005346	0,005346	0,02673	0,07	Aman
1	0	0	0	0	0	0,07	Aman

Lampiran 14 Surat Bebas Plagiasi

Direktorat Perpustakaan Universitas Islam Indonesia
Gedung Moh. Hatta
Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext.2301
F. (0274) 898444 psw.2091
E. perpustakaan@uii.ac.id
W. library.uii.ac.id

SURAT KETERANGAN HASIL CEK PLAGIASI
Nomor: 1516733340/Perpus./10/Dir.Perpus/II/2021

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Assalamualaikum Wr. Wb.

Dengan ini, menerangkan Bahwa:

Nama	: Muhammad Aulia Rahman
Nomor Mahasiswa	: 16511096
Pembimbing	: Mochamad Teguh, Prof. Ir.,MSCE., Ph.D.
Fakultas / Prodi	: Teknik Sipil Dan Perencanaan/ Teknik Sipil
Judul Karya Ilmiah	: KOMPARASI RESPON STRUKTUR PADA GEDUNG BERTINGKAT DENGAN MENGGUNAKAN DINDING GESER DAN SISTEM PERTAMBATAN

Karya ilmiah yang bersangkutan di atas telah melalui proses cek plagiasi menggunakan **Turnitin** dengan hasil kemiripan (*similarity*) sebesar **16 (Enam Belas) %.**

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 24 Februari 2021
Direktur

Joko S. Prianto, SIP., M.Hum