TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH RESPON STRUKTUR GEDUNG BERDASARKAN PENERAPAN PERCEPATAN RESPON SPEKTRA 2 PERIODE DAN MULTI PERIODE

(*ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF BUILDING STRUCTURE RESPONSE BASED ON THE APPLICATION OF TWO PERIOD AND MULTI PERIOD SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION)*

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

MILEAWAN DIMAS FEBRIANO

17511199

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2024

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH RESPON STRUKTUR GEDUNG BERDASARKAN PENERAPAN PERCEPATAN RESPON SPEKTRA 2 PERIODE DAN MULTI PERIODE

(*ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF BUILDING STRUCTURE RESPONSE BASED ON THE APPLICATION OF TWO PERIOD AND MULTI PERIOD SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION)*

Disusun oleh

Mileawan Dimas Febriano

17511199

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan

untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Elvis Saputra S.T., M. T	Jafar S.T, MURP., M.T.	Astriana Hardawati S. T., M.Eng.
NIK: 205111302	NIK: 185111305	NIK: 165111301

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Yunalia Muntafi, S. T., M. T., Ph. D (Eng)., IPM

NIP: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk menyelesaikan program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Indonesia adalah hasil karya saya sendiri. Bagian-bagian tertentu dalam laporan Tugas Akhir ini yang mengutip karya orang lain telah dicantumkan dengan jelas sumbernya sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Jika di kemudian hari ditemukan bahwa seluruh atau sebagian dari laporan ini terdapat plagiasi dalam beberapa bagian, saya siap menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik saya, sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Yogyakarta, 01-08-2024

Yang membuat pernyataan



Mileawan Dimas Febriano

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr. wb

Segala puji dan syukur serta doa penulis panjatkan kepada Allah SWT Sang Maha Segalanya, atas seluruh rahmat dan hidayatNya yang membuat penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "ANALISIS PENGARUH RESPON STRUKTUR GEDUNG BERDASARKAN PENERAPAN PERCEPATAN RESPON SPEKTRA 2 PERIODE DAN MULTI PERIODE" ini pada waktunya. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mengerjakan Skripsi pada program Strata -1 di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Elvis Saputra, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, dan mengarahkan dalam penyusunan Tugas Akhir.
2. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Albani Musyafa', S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang memberikan bimbingan serta motivasi selama masa perkuliahan.
4. Bapak Jafar S. T, MURP., M.T. Selaku Dosen Penguji I.
5. Ibu Astriana Hardawati S. T., M.Eng. Selaku Dosen Penguji II.
6. Panutanku, Pak Polisi Budi H., yang telah mendidik, mengajar, menasehati dan memberikan dukungan sehingga penulis menjadi laki-laki yang bertanggung jawab, dan mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana.
7. Pintu surgaku, Ibu Bhayangkari Azriyati yang tak henti-hentinya mengasihi dan memberikan rasa sayang dengan cinta yang tulus sehingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana.

8. Ibu Susi H., yang telah memberikan dukungan sehingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana.
9. Debby Dinanda P., Abil Mayudra, Gadisya Diasti kakak dan adik-adik penulis yang selalu memberikan dukungan sehingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana.
10. Teman-teman seperjuangan Teknik Sipil 2017 serta sahabat karib penulis Anandityo Rama Aji, Muh. Fremmuzar Rahman, Meydinor Ciko Saputra, Muhammad Reksa, Nyak Yusuf Syakban yang selalu memberikan semangat, dukungan, doa untuk menyelesaikan Tugas Akhir di semester terakhir ini.
11. Abang, mba, dan adik tingkat kampus penulis yang membantu dan memberi masukan, saran, solusi dan motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis dalam membuat Tugas Akhir ini jauh dari kata sempurna. Semoga penelitian yang telah dilakukan dalam bentuk Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya dan berguna untuk pengembangan penelitian penelitian selanjutnya, Aamiin.

Wasalamualaikum Wr. Wb

Yogyakarta, 01-08-2024



Mileawan Dimas Febriano

(17511199)

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI vi

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR TABEL xiii

ABSTRAK xv

ABSTRACT xvi

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 2

1.4 Manfaat Penelitian 2

1.5 Batasan Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Penelitian Terdahulu 5

2.1.1 *Comparison of Multi-Period and Two-Period Response Spectra for Earthquake Loads in* Yogyakarta *Region.* 5

2.1.2 *Seismic Demand Due to the Earthquake Hazard Map* 2017 *Determination in* Indonesia 6

2.1.3 Analisa Statik dan Dinamik Gedung Bertingkat Banyak akibat Gempa Berdasarkan SNI 1726-2012 dengan Variasi Jumlah Tingkat. 6

2.1.4 Analisis Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum menggunakan *Software* ETABS 7

2.2 Perbedaan Penelitian 8

2.3 Keaslian Penelitian 13

BAB III LANDASAN TEORI 14
3.1 Kondisi Kegempaan di Indonesia 14
3.2 Kondisi Kegempaan di Yogyakarta 15
3.3 Perkembangan Peraturan Kegempaan 16
3.4 Perkembangan Beban Gempa 17
3.4.1 Beban Gempa 17
3.4.2 Respon Spektrum 21
3.5 Struktur Bangunan Tahan Gempa 24
3.6 Jenis Pembebanan 25
3.6.1 Beban Mati 25
3.6.2 Beban Gravitasi 25
3.6.3 Beban Lateral 26
3.7 Kelas Situs 28
3.7.1 Kelas Situs SA (Batuan Keras) 28
3.7.2 Kelas Situs SB (Batuan) 29
3.7.3 Kelas Situs SC (Tanah Keras) 29
3.7.4 Kelas Situs SD (Tanah Sedang) 29
3.7.5 Kelas Situs SE (Tanah Lunak) 30
3.7.6 Kelas Situs SF (Tanah Khusus) 30
3.8 Koefisien Amplifikasi 32
3.9 Kategori Desain Seismik 34
3.9.1 Kategori Desain Seismik A 35
3.9.2 Kategori Desain Seismik B 35
3.9.3 Kategori Desain Seismik C 35
3.9.4 Kategori Desain Seismik D 36
3.10 Gaya Dalam Struktur 38
3.11 Ketidakberaturan Bangunan Gedung 41
3.12 Faktor R, *Cd*, dan Ω 45
3.13 Periode Fundamental Struktur 46

3.14 Simpangan 47
3.15 Gaya Geser Dasar 49
3.16 Respons Struktur 50
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 51
4.1 Umum 51
4.2 Data Penelitian 51
4.2.1 Data Struktur 51
4.2.2 Model Struktur 52
4.3 Tahap Persiapan Penelitian 54
4.4 Tahap Pengolahan Data dan Permodelan 54
4.5 Tahapan Penelitian 55
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 58
5.1 Pendahuluan 58
5.2 Pembebanan Struktur 58
5.2.1 Beban Hidup 58
5.2.2 Beban Mati dan Beban Mati Tambahan 59
5.2.3 Beban Gempa 59
5.3 Parameter Seismik 64
5.3.1 Menentukan kategori desain seismik 64
5.3.2 Menentukan nilai R, Cd dan Ω0 67
5.3.3 Menentukan nilai periode fundamental struktur awal 67
5.4 Perbandingan Gaya Geser Dasar dan Simpangan *Two Period* dan *Multi Period.* 68
5.4.1 Gaya Geser Dasar 68
5.4.2 Simpangan Antar Lantai 72
5.5 Perbandingan Gaya-Gaya Dalam 78
5.5.1 Perbandingan Gaya Dalam Pada Balok 80
5.5.2 Perbandingan Gaya Dalam Pada Kolom 89
5.6 Hubungan Antara Gaya Dalam dan Jenis Tanah 93

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 99
6.1 Kesimpulan 99
6.2 Saran 101
DAFTAR PUSTAKA 102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Indonesia di Kawasan *Ring of Fire* 14
Gambar 3. 2 Rawan Bencana Gempa Bumi Yogyakarta 16
Gambar 3. 3 Respon Spektrum Desain SNI 1726-2002 22
Gambar 3. 4 Respon Spektrum Desain SNI 1726-2012 23
Gambar 3. 5 Respon Spektrum Desain SNI 1726-2019 23
Gambar 3. 6 Respon Spektrum Multi Periode Desain 24
Gambar 3. 7 Analisis Dinamik 27
Gambar 3. 8 Gaya Dalam Struktur 38
Gambar 3. 9 Keseimbangan Gaya Gaya Dalam 39
Gambar 3. 10 Respon SRPM Terhadap Beban Gravitasi 39
Gambar 3. 11 Respon SRPM Terhadap Beban Lateral 40
Gambar 3. 12 Balok Bergerak ke Kiri 40
Gambar 3. 13 Gaya Dasar Akibat Beban Gravitasi 40
Gambar 3. 14 Gaya Geser Akibat Gempa 40
Gambar 3. 15 Diagram Geser Akibat Beban Gravitasi dan Komponen Vertikal Gempa 41
Gambar 3. 16 Gaya Geser Akibat Beban Lateral 41
Gambar 3. 17 *Design Shear Force Envelope* 41
Gambar 3. 18 Penentuan Simpangan Antar Lantai 48
Gambar 4. 1 Denah Struktur Sederhana 53
Gambar 4. 2 Permodelan Struktur 3D Model 10 Lantai 53
Gambar 4. 3 Flowchart Penelitian 56
Gambar 5. 1 *Two Period* Respon Spektrum *Design* 63
Gambar 5. 2 *Multi Period* Respon Spektrum *Design* 64
Gambar 5. 3 Perbandingan Gaya Geser Dasar *Two Period* dan *Multi Period* Berdasarkan Jenis Tanah 71

Gambar 5. 4 Perbandingan Simpangan *Two Period* dan *Multi Period* Tanah Keras 10 Lantai 76
Gambar 5. 5 Perbandingan Simpangan *Two Period* dan *Multi Period* Tanah Sedang 10 Lantai 77
Gambar 5. 6 Perbandingan Simpangan *Two Period* dan *Multi Period* Tanah Lunak 10 Lantai 77
Gambar 5. 7 Balok B147 pada Struktur Tiap Lantai 79
Gambar 5. 8 Kolom C59 Pada Struktur Tiap Lantai 79
Gambar 5. 9 Grafik Perbandingan Momen Lentur Tanah Keras *Two Period* dan *Multi Period* 81
Gambar 5. 10 Grafik Perbandingan Momen Lentur Tanah Sedang *Two Period* dan *Multi Period* 82
Gambar 5. 11 Grafik Perbandingan Momen Lentur Tanah Lunak *Two Period* dan *Multi Period* 84
Gambar 5. 12 Grafik Perbandingan Gaya Geser Tanah Keras *Two Period* dan *Multi Period* 85
Gambar 5. 13 Grafik Perbandingan Gaya Geser Tanah Sedang *Two Period* dan *Multi Period* 87
Gambar 5. 14 Grafik Perbandingan Gaya Geser Tanah Lunak *Two Period* dan *Multi Period* 88
Gambar 5. 15 Grafik Perbandingan Gaya Aksial Tanah Keras *Two Period* dan *Multi Period* 90
Gambar 5. 16 Grafik Perbandingan Gaya Aksial Tanah Sedang *Two Period* dan *Multi Period* 91
Gambar 5. 17 Grafik Perbandingan Gaya Aksial Tanah Lunak *Two Period* dan *Multi Period* 93
Gambar 5. 18 Hubungan Gaya Geser dengan Jenis Tanah *Two Period* 94
Gambar 5. 19 Hubungan Momen Lentur Balok dengan Jenis Tanah *Two Period* 94
Gambar 5. 20 Hubungan Gaya Aksial Kolom dengan Jenis Tanah *Two Period* 95

Gambar 5. 21 Hubungan Gaya Geser dengan Jenis Tanah *Multi Period* 96
Gambar 5. 22 Hubungan Momen Lentur Balok dengan Jenis Tanah *Multi Period* 96
Gambar 5. 23 Hubungan Gaya Aksial Kolom dengan Jenis Tanah *Multi Period* 97

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian 9

Tabel 3. 1 Perbandingan SNI Beban Gempa 18

Tabel 3. 2 Klasifikasi Situs SNI 1726-2019 31

Tabel 3. 3 Koefisien Situs, Fa SNI 1726-2019 33

Tabel 4. 1 Spesifikasi Model Struktur 51

Tabel 4. 2 Dimensi Kolom dan Balok 52

Tabel 5. 1 Beban Hidup Bangunan 58

Tabel 5. 2 Koefisien Situs, Fa 60

Tabel 5. 3 Koefisien Situs, Fv 61

Tabel 5. 4 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa 65

Tabel 5. 5 Faktor Keutamaan Gempa 65

Tabel 5. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan nilai S_{DS} 66

Tabel 5. 7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan nilai S_{D1} 66

Tabel 5. 8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{D1} 67

Tabel 5. 9 Gaya Geser Dasar 70

Tabel 5. 10 Hasil Perhitungan Simpangan Antar Lantai Tanah Keras 10 Lantai *Two Period* 73

Tabel 5. 11 Hasil Perhitungan Simpangan Antar Lantai Tanah Keras 10 Lantai *Multi Period* 73

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Perbandingan Simpangan *Two period* dan *Multi Period* Tanah Keras 10 Lantai 74

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Perbandingan Simpangan *Two period* dan *Multi Period* Tanah Sedang 10 Lantai 75

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Perbandingan Simpangan *Two period* dan *Multi Period* Tanah Lunak 10 Lantai 76

Tabel 5. 15 Momen Lentur Balok Tanah Keras *Two Period* dan *Multi Period* 80

Tabel 5. 16 Momen Lentur Balok Tanah Sedang *Two Period* dan *Multi Period* 82
Tabel 5. 17 Momen Lentur Balok Tanah Lunak *Two Period* dan *Multi Period* 83
Tabel 5. 18 Gaya Geser Balok Tanah Keras *Two Period* dan *Multi Period* 85
Tabel 5. 19 Gaya Geser Balok Tanah Sedang *Two Period* dan *Multi Period* 86
Tabel 5. 20 Gaya Geser Balok Tanah Lunak *Two Period* dan *Multi Period* 88
Tabel 5. 21 Gaya Aksial Kolom Tanah Keras *Two Period* dan *Multi Period* 89
Tabel 5. 22 Gaya Aksial Kolom Tanah Sedang *Two Period* dan *Multi Period* 91
Tabel 5. 23 Gaya Aksial Kolom Tanah Lunak *Two Period* dan *Multi Period* 92

ABSTRAK

SNI 1726-2019 sebagai standar utama dalam perencanaan pembangunan gedung tahan gempa terus mengalami pembaruan seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, seperti revisi ASCE dari ASCE 7-16 menjadi ASCE 7-22 yang memperkenalkan konsep respon spektrum *multi period* yang sebelumnya menggunakan respon spektrum *two period*.

Penelitian ini bersifat komparatif, membandingkan berbagai hasil analisis, seperti respons spektrum, gaya geser dasar, simpangan antar lantai, dan gaya dalam menggunakan respons spektrum *two period* sesuai pedoman SNI 1726-2019 serta *multi period* sesuai ASCE 7-22.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya geser pada tanah keras dalam metode *multi period* sekitar 20% lebih rendah dibandingkan metode *two period*. Untuk tanah sedang, gaya geser *multi period* meningkat sekitar 21,11% dibandingkan *two period*. Sementara itu, di tanah lunak, gaya geser *multi period* lebih tinggi sekitar 32,48% dibandingkan *two period*. Perbedaan nilai simpangan di tanah keras antara metode *two period* dan *multi period* kurang dari 1%, di tanah sedang berkisar antara 15-25%, dan di tanah lunak antara 25-35%. Nilai momen lentur dan gaya geser di tanah keras untuk metode *two period* sedikit lebih besar dibandingkan *multi period*. Namun, di tanah sedang dan lunak, nilai momen lentur dan gaya geser metode *multi period* secara signifikan lebih besar. Nilai gaya aksial pada setiap jenis tanah menunjukkan hasil yang hampir sama antara kedua metode. Metode *multi period* menunjukkan hasil yang lebih akurat daripada *two period*. Jenis tanah mempengaruhi distribusi beban, dengan tanah yang lebih lunak cenderung mengalami peningkatan nilai gaya geser dasar, simpangan, dan gaya dalam.

Kata Kunci: respon spektrum, multi periode, kelas situs tanah.

ABSTRACT

SNI 1726-2019, as the main standard in earthquake-resistant building design, continues to undergo updates in line with the advancement of science and technology, such as the revision of ASCE from ASCE 7-16 to ASCE 7-22, which introduces the concept of multi period response spectra that previously used a two period response spectra.

This research is comparative in nature, comparing various analysis results, such as response spectra, base shear forces, inter-story drifts, and internal forces from two period response spectra according to SNI 1726-2019 guidelines and multi period response spectra according to ASCE 7-22.

The research results show that the shear force in hard soil using the multi period method is about 20% lower compared to the two period method. For medium soil, the shear force with the multi period method increases by approximately 21.11% compared to the two period method. Meanwhile, in soft soil, the shear force with the multi period method is about 32.48% higher than the two period method. The deviation values in hard soil between the two period and multi period methods are less than 1%, in medium soil range between 15-25%, and in soft soil range between 25-35%. The values of bending moment and shear force in hard soil for the two period method are slightly higher compared to the multi period method. However, in medium and soft soils, the values of bending moment and shear force with the multi period method are significantly higher. The axial force values for each type of soil show almost the same results between the two methods. The multi period method shows more accurate results compared to the two period method. The type of soil affects the load distribution, with softer soil tending to experience an increase in the values of base shear force, deviation, and internal forces.

Keyword: response spectra, multi period, site class coefficient.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia terletak di antara empat lempeng tektonik utama dunia yang aktif yaitu Lempeng Pasifik, Indo-Australia, Eurasia, dan Filipina, membuat negara ini rentan terhadap gempa bumi, seperti yang terjadi belakangan ini seperti Gempa Lombok 2018, Gempa Palu 2018, dan Gempa Cianjur 2022, baik yang besar maupun kecil. Hal ini menegaskan pentingnya perhatian terhadap risiko dan dampak gempa bumi. Pembangunan struktur gedung dengan desain tahan gempa sangat penting terutama di daerah rawan gempa, di mana standar seperti SNI 1726-2019 menjadi acuan utama dalam perencanaan konstruksi. Standar ini terus diperbarui seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, seperti yang baru-baru ini terlihat dalam revisi ASCE dari ASCE 7-16 menjadi ASCE 7-22, yang memperkenalkan konsep respon spektrum *multi period*. Pada respon spektrum *two period* hanya menggunakan 2 periode respon yaitu periode 0,2 detik (*Ss*) dan periode 1 detik (*S1*), sementara itu pada respon spektrum *multi period* menggunakan 11 periode respon (0,01, 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,75, 1, 2, dan 3 detik). Perubahan ini menangkap lebih akurat karakteristik gempa dengan periode yang bervariasi, menggantikan pendekatan sebelumnya yang menggunakan dua periode *Ss* dan *S1* (Saputra 2023).

Selain itu, koefisien amplifikasi *Fa* dan *Fv* yang sebelumnya digunakan untuk memperhitungkan perbedaan percepatan dari batuan dasar ke permukaan tanah, telah dihapuskan pada ASCE 7-22 karena tidak cocok untuk tanah lunak atau sedang (Saputra 2023). Peta gempa kini lebih ditekankan pada kelas tanah berdasarkan parameter kecepatan gelombang geser (Vs30) daripada kondisi batuan dasar. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan bagaimana struktur gedung merespons (gaya geser dasar seismik, gaya dalam struktur) terhadap penerapan

percepatan respon spektrum *two period* dan *multi period*, khususnya di wilayah Provinsi DIY.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang diteliti, adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh gaya geser dasar dan simpangan akibat perbedaan percepatan respon spektra *two period* dan *multi period* pada kondisi tanah keras, sedang dan lunak?
2. Bagaimana pengaruh gaya dalam yang terjadi pada struktur terhadap percepatan respon spektra *two period* dan *multi period* pada kondisi tanah keras, sedang dan lunak?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh gaya geser dasar dan simpangan akibat perbedaan percepatan respon spektra *two period* dan *multi period* pada kondisi tanah keras, sedang, dan lunak.
2. Mengetahui bagaimana pengaruh gaya dalam yang terjadi pada struktur terhadap percepatan respon spektra *two period* dan *multi period* pada kondisi tanah keras, sedang, dan lunak.

1.4 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memahami perbedaan dalam respons struktur gedung antara penerapan percepatan *two period* dan *multi period* membantu dalam perencanaan yang lebih akurat dan tepat, sehingga menghasilkan desain bangunan yang lebih tahan gempa.
2. Penelitian ini dapat mengungkap metode mana yang lebih efektif dalam berbagai kondisi tanah (keras, sedang, lunak), sehingga memungkinkan optimalisasi dalam

desain struktur yang sesuai dengan kondisi geoteknik spesifik.

3. Penelitian ini memperkaya literatur teknik sipil dan menyediakan data empiris yang dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut, inovasi teknik, dan pengembangan metodologi baru dalam analisis struktur gedung.
4. Dengan membandingkan dua pendekatan ini, peneliti dapat mengevaluasi kelebihan dan kekurangan dari setiap metode, memberikan wawasan yang mendalam tentang penerapan yang paling efektif di lapangan.
5. Menjembatani dan menjadikan salah satu referensi untuk penelitian penelitian sejenis sebagai bahan masukan dan inovasi dalam analisis respon spektra yang dapat mempengaruhi pembangunan gedung di Indonesia.

1.5 Batasan Penelitian

Permasalahan permasalahan yang terjadi seperti yang sudah diuraikan diatas perlu adanya batasan agar penelitian ini berjalan seacara sistematis. Batasan-batasan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Struktur dimodelkan dengan gedung 10 lantai.
2. Konfigurasi struktur gedung tidak berdasarkan *existing* (*imaginer*), dengan tinggi gedung 40 meter dan tinggi masing-masing 4 meter disetiap lantai. karena penelitian ini hanya melihat hasil respons struktur yang terjadi berdasarkan respons spektrum yang berbeda karena pembaruan peraturan.
3. Data respon spektra *two period* berdasarkan SNI 1726-2019, sedangkan data respon spektra *multi period* mengacu pada penelitian Saputra (2023).
4. Peraturan yang digunakan adalah:
    a. SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
    b. SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk BangunanGedung.
    c. SNI 1727-2020 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

d. *American Society of Civil Engineers* 7-22.

5. Analisis dilakukan dengan metode analisis percepatan respon spektrum.
6. Semua tumpuan struktur disumsikan jepit.
7. Lokasi bangunan gedung berada di Yogyakarta dengan variasi tanah keras, sedang, dan lunak.
8. Ruang *lift* dan tangga tidak dimodelkan.
9. Beban angin tidak diperhitungkan.
10. Hanya meninjau struktur atas.
11. Respon seismik yang dianalisis hanya mencakup gaya geser dasar dan simpangan.
12. Meninjau gaya dalam yang dihasilkan.
13. Analisis struktur ditinjau dengan menggunakan *software* ETABS.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Sebelum melanjutkan penelitian, ada beberapa referensi yang dapat digunakan sebagai acuan. Referensi tersebut termasuk jurnal dan tugas akhir dari berbagai peneliti. Berikut adalah penelitian-penelitian yang dijadikan acuan.

2.1.1 *Comparison of Multi-Period and Two-Period Response Spectra for Earthquake Loads in* Yogyakarta *Region.*

Penelitian oleh Saputra (2023) membandingkan antara respons spektrum 2 periode dan multi periode. Karena adanya beberapa pembaruan dari *American Society of Civil Engineers* (ASCE) terhadap respons spektrum multi periode. Standar respon spektrum yang digunakan pada saat ini adalah SNI 1726-2019 yang mana mengacu pada ASCE 7-16.

Hasil perbandingan respons spektrum menunjukan bahwa respons spektrum *multi period* menghasilkan percepatan spektrum yang lebih baik dari respons spektrum *two period*, khususnya untuk periode pendek dan tipe tanah yang lunak. Perbedaan ini disebabkan oleh ketidakcocokan antara periode pendek (S_{DS}) dan periode Panjang (S_{D1}) percepatan spektrum dalam respons spektrum dua periode. Parameter respons spektrum dipengaruhi oleh koefisien kelas situs. Penggunaan situs kelas dari SNI 1726-2019 harus diselidiki untuk kesesuaian untuk situs kelas, selain itu respons spektrum dua periode tidak cukup untuk mewakili respon spektrum secara akurat untuk semua periode, jadi digunakan alternatif lain dengan menggunakan respon spektrum multi periode.

Respon spketrum *multi period* meninjau dari 2 lokasi yang berbeda di provinsi DIY. Analisis pertama (mode 1) berlokasi di Bantul, dan analisis kedua (mode 2) berlokasi di Kota Yogyakarta. Respon spektrum *multi period* ini berdasarkan hasil dari

proses analisis PSHA. Hasil dari respon spektrum *multi period* adalah 11 respon periode (0.01 s, 0.05 s, 0.1 s, 0.2 s, 0.3 s, 0.4 s, 0.5 s, 0.75 s, 1 s, 2 s, dan 3 s) dengan (5% dari redaman kritis) dengan 2% probabilitas lebih dari 50 tahun. Hasil dari respon spektrum *multi period* di Bantul menunjukan bahwa hasil maksimal dari respon spektrum dihasilkan dari tanah lunak dan hasil terendah dari tanah keras. Kenaikan dari percepatan spektrum di periode 0.2 – 0.3 detik tidak terlalu signifikan untuk semua variasi tanah, namun untuk periode 0,5 –1 detik kenaikan percepatan spektrum menunjukan hasil yang cukup signifikan.

2.1.2 *Seismic Demand Due to the Earthquake Hazard Map* 2017 *Determination in* Indonesia

Penelitian oleh Elvis dan Faizah (2018) bertujuan untuk menganalisis perbedaan respon struktur yang muncul akibat beban seismik di EHM 2010 – 2017 dengan metode dinamik respon spektrum menggunakan *software* SAP2000.

Dengan mengacu dari beberapa *history* gempa yang terjadi di 32 kota di Indonesia didapatkan hasil dimana pada desain percepatan spektrum 2010 – 2017 terdapat beberapa perbedaan dengan masing masing kota dan memiliki karakteristik yang berbeda. Dengan asumsi masing masing gedung merupakan gedung perkantoran, mendapatkan hasil bahwa tiap kota dengan kenaikan percepatan spektrum karena beban seismic 2012 juga mengalami kenaikan yang signifikan pada gaya dalam bangunan.

2.1.3 Analisa Statik dan Dinamik Gedung Bertingkat Banyak akibat Gempa Berdasarkan SNI 1726-2012 dengan Variasi Jumlah Tingkat.

Penelitian oleh Wantalangie, Pangouw, dan Windah (2016) ini bertujuan untuk membandingkan respons struktur portal bertingkat banyak yang dianalisa dengan metode gaya lateral ekivalen dan metode spektrum respons ragam. Hasil yang akan dibandingkan yaitu berupa nilai *displacement* dan *base shear*. Dari hasil terebut dapat dilihat seberapa besar perbedaan hasil dari kedua metode tersebut, kemudian

membandingkan penerapannya dalam perhitungan struktur gedung bertingkat secara umum. Struktur gedung yang dimodelkan merupakan gedung beraturan, dengan jumlah tingkat yang divariasikan. Model struktur dibagi ke dalam portal 5 tingkat, 10 tingkat, dan 15 tingkat.

Penelitian ini menggunakan bantuan program SAP2000 v18 untuk mempermudah proses analisa gempa. Hasil analisis menunjukkan bahwa analisis statik menghasilkan nilai yang lebih besar untuk ketiga model struktur dibandingkan dengan analisis dinamik. Perbedaan perpindahan antar tingkat yang dihasilkan oleh kedua metode pada ketiga model struktur masih dalam batasan perpindahan antar tingkat yang diizinkan oleh SNI 1726-2012, sehingga ketiga model tersebut dapat dianalisis menggunakan analisis statik dan dinamik. Karena hasil perpindahan dan gaya geser dasar pada analisis statik lebih besar dibandingkan analisis dinamik, analisis statik dianggap lebih aman untuk digunakan dalam perhitungan beban gempa pada struktur secara umum. Meskipun demikian, analisis dinamik dianggap lebih akurat dalam analisis gempa karena prosesnya lebih mendekati kondisi sebenarnya.

2.1.4 Analisis Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum menggunakan *Software* ETABS

Penelitian oleh Purnomo, dkk (2014) bertujuan untuk mengetahui keamanan dari bangunan hotel yang terletak di Semarang. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis dinamik respon spektrum menggunakan software ETABS. Langkah-langkah dalam metode analisis ini meliputi pengumpulan data dan studi literatur, pemodelan struktur bangunan dalam bentuk 3D (tiga dimensi), perhitungan dan input beban yang bekerja pada struktur tersebut, perhitungan respon spektrum bangunan dengan menggambarkan kurva respon spektrum gempa rencana untuk kemudian diinput ke dalam pemodelan, serta melakukan analisis untuk memperoleh nilai *displacement, drift,* dan *base shear*. Pada tahap akhir, peneliti melakukan evaluasi kinerja struktur bangunan untuk menarik kesimpulan dari hasil analisis yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Dari analisis tersebut didapatkan nilai *displacement* lantai teratas pada arah X sebesar 0,0573 m dan pada arah Y sebesar 0,0557 m. Analisis nilai *displacement* terhadap syarat kinerja batas layan {(0,03/R) x H} pada bangunan hotel tersebut dari pengaruh beban gempa rencana arah X sudah memenuhi syarat, sedangkan untuk arah Y tidak memenuhi syarat kinerja batas layan. Analisis nilai *displacement* terhadap syarat kinerja batas ultimit (0.02 x H) pada bangunan hotel di Semarang dari pengaruh beban gempa rencana arah X dan Y sudah memnuhi syarat. Nilai maksimum total *drift* pada arah X sebesar 0.0018 m dan pada arah Y sebesar 0.0017 m.

Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa bangunan hotel di Semarang termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Nilai *displacement* antar lantai pada bangunan hotel tersebut tidak melampaui batas *displacement* maksimum.

2.2 Perbedaan Penelitian

Bersadarkan uraian diatas, terdapat beberapa perbedaan terhadap penelitian penelitian terdahulu, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian

No	Aspek	Purnomo (2014)	Wantalangie, Pangouw, dan Windah (2016)	Saputra, Fazah (2018)	Saputra (2023)	Penelitian ini
1	Judul	Analisis Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum menggunakan Software ETABS (Studi Kasus: Bangunan Hotel di Semarang).	Analisa Statik dan Dinamik Gedung Bertingkat Banyak akibat Gempa Berdasarkan SNI 1726-2012 dengan Variasi Jumlah Tingkat.	*Seismic Demand Due to the Earthquake Hazard Map 2017 Determination in* Indonesia	*Comparison of Multi-Period and Two-Period Response Spectra for Earthquake Loads in* Yogyakarta *Region.*	Analisis Pengaruh Respon Struktur Gedung Berdasarkan Penerapan Percepatan Respon Spektra 2 Periode dan Multi Periode
2	Metode Penelitian	Modeling	Modeling	Modeling	Modeling	Modeling

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian

No	Aspek	Purnomo (2014)	Wantalangie, Pangouw, dan Windah (2016)	Saputra, Fazah (2018)	Saputra (2023)	Penelitian ini
3	Software yang Digunakan	ETABS	SAP2000	SAP2000	ETABS	ETABS
4	Tujuan Penelitian	Untuk mengetahui keamanan dari bangunan hotel yang terletak di Semarang dengan metode analisis dinamik respon spektrum.	Untuk membandingkan respons struktur portal bertingkat banyak yang dianalisa dengan metode gaya lateral ekivalen dan metode spectrum respons ragam.	Untuk menganalisis perbedaan respon struktur yang muncul akibat beban seismic di EHM 2010 – 2017 dengan metode dinamik respon spektrum menggunakan software SAP2000.	Untuk membandingkan respons struktur yang terjadi pada respon spektrum 2 periode dan multi periode pada variasi tanah lunak, sedang dan keras di daerah Yogyakarta.	Untuk mengetahui pengaruh gaya geser dasar, simpangan dan gaya dalam akibat penerapan percepatan respon spektra *two period* dan *multi period* pada kondisi tanah keras sedang lunak.
5	Lokasi	Yogyakarta	Indonesia	Indonesia	Semarang	Yogyakarta

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian

No	Aspek	Purnomo (2014)	Wantalangie, Pangouw, dan Windah (2016)	Saputra, Fazah (2018)	Saputra (2023)	Penelitian ini
6	Hasil Penelitian	Terdapat *displacement* sebesar 0,0573 m pada arah X dan 0,0557 m pada arah Y. Analisis ini telah memenuhi syarat kinerja batas layan pada arah X, namun belum memenuhi syarat pada arah Y.	Perbedaan displacement antar tingkat yang dihasilkan oleh kedua metode pada ketiga model struktur masih masuk dalam batasan displacement antar tingkat ijin yang disyaratkan dalam SNI 1726-2012, ketiga model masih bisa dianalisis menggunakan analisa statik	Hasilnya pada desain percepatan spektrum 2010 – 2017 terdapat beberapa perbedaan dengan masing masing kota dan memiliki karakteristik yang berbeda. Tiap kota dengan kenaikan percepatan spektrum karena beban seismic 2012 juga mengalami	Hasil dari respon spektrum multi periode adalah 11 respon periode (0.01 s, 0.05 s, 0.1 s, 0.2 s, 0.3 s, 0.4 s, 0.5 s, 0.75 s, 1 s, 2 s, dan 3 s) dengan (5% dari redaman kritis) dengan 2% probabilitas lebih dari 50 tahun. Hasil dari respon spektrum multi periode di Bantul	Nilai analisis multi period menujukan hasil yang lebih akurat daripada analisis two period. Jenis tanah mempengaruhi distribusi beban, dengan tanah yang lebih lunak cenderung mengalami gaya geser yang lebih

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian

No	Aspek	Purnomo (2014)	Wantalangie, Pangouw, dan Windah (2016)	Saputra, Fazah (2018)	Saputra (2023)	Penelitian ini
		Nilai maksimum total drift adalah 0,0018 m pada arah X dan 0,0017 m pada arah Y. Hasil studi ini menunjukkan bahwa gedung yang ditinjau berada dalam level kinerja Immediate Occupancy (IO).		kenaikan yang signifikan pada gaya dalam bangunan. D*isplacement* dan *base shear* pada analisa statik lebih besar dari analisa dinamik, maka analisa statik lebih aman jika digunakan untuk pembebanan gaya gempa dalam perhitungan struktur secara umum.	menunjukan bahwa hasil maksimal dari respon spektrum dihasilkan dari tanah lunak dan hasil terendah dari tanah keras. Kenaikan dari percepatan spektrum di periode 0.2 – 0.3 detik tidak terlalu signifikan untuk semua variasi tanah, namun untuk periode 0,5 – 1 detik kenaikan percepatan spektrum menunjukan hasil yang cukup signifikan.	lebih tinggi. Untuk tanah sedang dan lunak analisis *multi period* memberikan hasil yang lebih aman dan harus dipertimbangkan dalam desain struktur untuk mengurangi resiko kerusakan

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian tentang analisis pengaruh penerapan respon struktur gedung berdasarkan percepatan respon spektrum *two period* dan *multi period* merupakan hasil karya sendiri dan bukan plagiasi. Penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini memiliki beberapa perbedaan, diantaranya adalah:

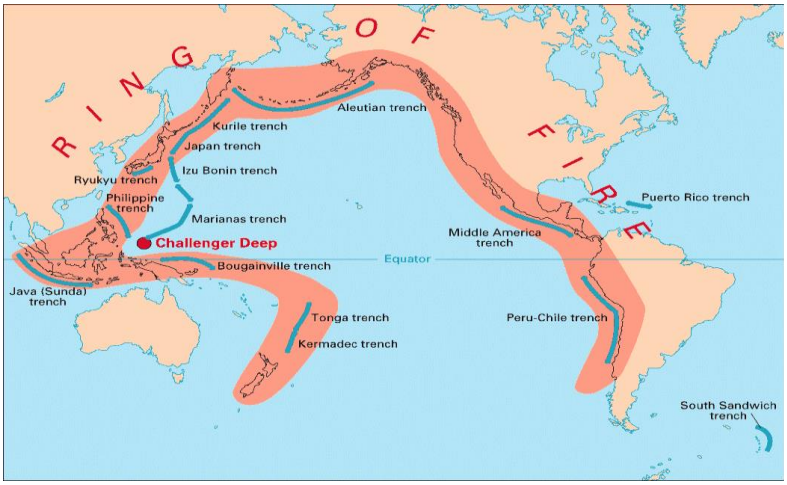
1. Desain bangunan dalam penelitian ini berbeda dari penelitian sebelumnya, karena penelitian ini tidak didasarkan pada bangunan yang sudah ada (imajiner), permodelan penelitian menggunakan gedung 10 lantai, tinggi gedung 40 meter dengan 4 meter tinggi masing-masing disetiap lantai.
2. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode respons spektrum *two Period* berdasarkan SNI 1726-2019 dan web RSA Cipta Karya dan respon spektrum *multi period* berdasarkan penelitian Saputra (2023).
3. Membandingkan respon struktur gedung berdasarkan masing-masing jenis tanah antara respon spektrum *two period* dan *multi period.*
4. Membandingkan gaya dalam berdasarkan masing-masing jenis tanah antara respon spektrum *two period* dan *multi period.*

Perbedaan antara penelitian ini dan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penelitian ini memiliki keaslian yang dapat dipertanggungjawabkan.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Kondisi Kegempaan di Indonesia

Indonesia merupakan negara yang berada di daerah cincin api pasifik (*ring of fire*), dimana merupakan pertemuan tiga lempeng tektonik dunia seperti lempeng Indo-Austalia, lempeng Eurasia dan lempek Pasifik yaitu daerah tapal kuda sepanjang 40.000 km yang sering mengalami gempa bumi dan letusan gunung berapi yang mengelilingi cekungan samudra Pasifik. Sekitar 90% dari gempa bumi yang terjadi dan 81% dari gempa bumi terbesar terjadi di sepanjang cincin api ini. Oleh sebab itu, Indonesia merupakan negara yang rawan dengan bencana seperti gempa bumi. Indonesia termasuk negara yang berada pada kawan *ring of fire* dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah.



Gambar 3. 1 Indonesia di Kawasan *Ring of Fire*
(Sumber: *National Geographic*, 2022)

Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (DVMBG) Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyatakan wilayah Indonesia yang rawan

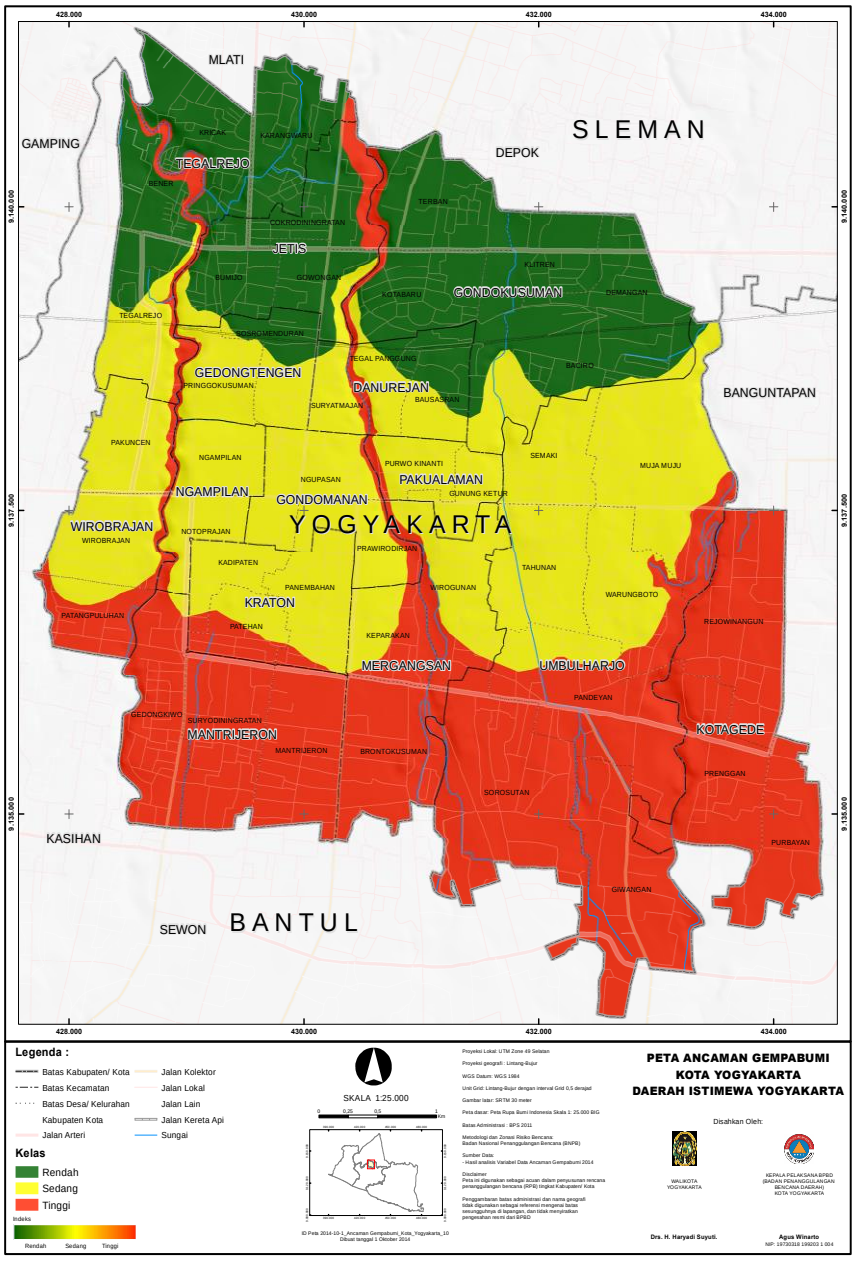
gempa diantaranya Aceh, Sumatra Utara, Sumatra Barat, Bengkulu, Lampung, Banten, Jateng, Yogyakarta, Jatim, Bali, NTB, NTT, dan banyak daerah lainnya.

3.2 Kondisi Kegempaan di Yogyakarta

Yogyakarta secara geografis terletak pada Kota Yogyakarta terletak antara 110°24'19"-110°28'53" Bujur Timur dan antara 07°15'24"-07°49'26" Lintang Selatan, dengan luas sekitar 32,5 Km2 atau 1,02% dari luas wilayah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Jarak terjauh dari Utara ke Selatan kurang lebih 7,5 Km dan dari Barat ke Timur kurang lebih 5,6 Km.

Wilayah Yogyakarta terletak di kawasan pertemuan antara lempeng aktif Indo-Australia dan Eurasia di bagian selatan. Di sisi utara, terdapat Gunung Merapi yang masih aktif dan mengalami beberapa kali erupsi dalam periode terakhir. Gunung Merapi adalah salah satu gunung api aktif dengan letusan vulkanik lemah, ditandai dengan peranan kubah lava dalam setiap erupsinya (Rosyida Suprapto, Nurmasari, 2016).

Secara tektonik, wilayah Yogyakarta merupakan kawasan dengan tingkat aktivitas kegempaan yang tinggi di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh kedekatannya dengan zona pertemuan lempeng di Samudra Indonesia. Selain aktivitas tumbukan lempeng tektonik, wilayah Yogyakarta juga rawan gempa bumi akibat aktivitas sesar lokal di daratan. Kondisi tektonik ini menjadikan Yogyakarta dan sekitarnya sebagai kawasan seismik yang aktif dan kompleks. Gempa di wilayah Yogyakarta sudah sering terjadi, data gempa pertama yang ditemukan terjadi pada tahun 1840, 1859, 1867, 1875, 1937, 1943, 1957, 1981, 1992, 2001, 2004, 2006, dan tahun ini 2023.



Gambar 3. 2 Rawan Bencana Gempa Bumi Yogyakarta
(Sumber: Dinas Pariwisata Yogyakarta, 2022)

3.3 Perkembangan Peraturan Kegempaan

Di Indonesia terdapat peraturan perancangan bangunan tahan gempa yang selalu mengalami pembaruan dari tahun ke tahun. Dimulai dari PPTI-UG-1983, SNI

1726-2002, SNI 1726-2012, dan peraturan terbaru saat ini yaitu SNI 1726-2019. Seiring berkembangnya zaman dan berdasarkan kejadian yang terjadi di Indonesia, Badan Standardisasi Nasional (BSN) melakukan pembaruan pembaruan terkait standar peraturan kegempaan Indonesia. Pemutakhiran peraturan beban gempa dari SNI terbaru yaitu SNI 1726-2019 dengan mengacu pada ASCE 7-16. Adanya perubahan seperti peningkatan percepatan spektrum dan peningkatan kategori desain seismik, mempengaruhi respons struktur yang akan direncanakan.

Dengan adanya pemutahiran pada standar peraturan kegempaan maka nantinya penelitian ini akan membandingkan hasil dari respon struktur terhadap respon spektrum dua periode dan multi periode dengan variasi tanah keras, sedang dan lunak dengan menerapkan pembaruan dari standar peraturan.

3.4 Perkembangan Beban Gempa

3.4.1 Beban Gempa

Dengan adanya perubahan Standar peraturan kegempaan di Indonesia, maka beban gempa yang menjadi acuan untuk perencanaan struktur bangunan gedung dan non gedung tahan gempa juga akan berubah. Berikut adalah perbandingan peraturan desain gempa pada SNI 1726 2002, SNI 1726 2012 dan SNI 1726 2019 pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 1 Perbandingan SNI Beban Gempa

Aspek	SNI 1726 2002	SNI 1726 2012	SNI 1726 2019
Kombinasi beban	1. 1,4 D 2. 1,2 D + 1,6 L 3. 1,2 D + 1,0 L ± 1,0 Ex ± 0,3 Ey 4. 1,2 D + 1,0 L ± 0,3 Ex ± 1,0 Ey 5. 0,9 D ± 1,0 Ex ± 0,3 Ey 6. 0,9 D ± 0,3 Ex ± 1,0 Ey	1. 1,4 D 2. 1,2 D + 1,6 L +0,5(Lr atau R) 3. 1,2 D + 1,6 L(Lr atau R)+(L atau 0,5 W) 4. 1,2 D + 1,0W + L + 0,5(Lr atau R) 5. 1,2 D + 1,0 E + L 6. 0,9 D + 1,0W 7. 0,9 D + 1,0 E	1. 1,4 D 2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 L_r 3. 1,2 D + 1,6 L_r + 1,0 L 4. 1,2 D + 0,2.S_{DS}.D ± ρ.E_x ± ρ.0,3.E_y + 1,0 L 5. 1,2 D + 0,2.S_{DS}.D ± ρ.0,3.E_x ± ρ.E_y + 1,0 L 6. 0,9 D – 0,2.S_{DS}.D ± ρ.E_x ± ρ.0,3.E_y 7. 0,9 D – 0,2.S_{DS}.D ± ρ.0,3.E_x ± ρ.E_y

Lanjutan Tabel 3.1 Perbandingan SNI Beban Gempa

Respon spektrum	**1.** $\boldsymbol{T = 0}$ $C = A_0$ **2.** $\boldsymbol{T \leq T_C}$ $C = A_m$ **3.** $\boldsymbol{T > T_C}$ $C = \frac{Ar}{T}$	**1. T < T0** $S_a = S_{DS}.(0{,}4 + 0{,}6.\frac{T}{T0})$ **2. T0 = 0,2** $\frac{SD1}{SDS}$ $S_a = \frac{SD1}{T}$ **3. TS =** $\frac{SD1}{SDS}$	**1.** $\boldsymbol{T < T_0}$ $S_a = S_{DS}.(0{,}4 + 0{,}6.\frac{T}{Tu})$ **2.** $\boldsymbol{T_0 \leq T \leq T_S}$ $S_a = S_{DS}$ **3.** $\boldsymbol{T_S < T \leq T_L}$ $S_a = \frac{SD1}{T}$ **4.** $\boldsymbol{T > T_L}$ $S_a = \frac{SD1.TL}{T2}$
Jenis tanah	Dibagi menjadi tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak.	Dibagi menjadi kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, dan SF.	Dibagi menjadi kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, dan SF.
Faktor reduksi gempa	Ditentukan berdasarkan daktilitas struktur dan sistem struktur yang dipilih	Ditentukan berdasarkan kategori desain seismik dan sistem struktur yang dipilih	Ditentukan berdasarkan kategori desain seismik dan sistem struktur yang dipilih

Lanjutan Tabel 3.1 Perbandingan SNI Beban Gempa

Periode getar	- Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) $0{,}0731.\ h^{3/4}$ - Dinding geser $0{,}0488.\ h^{3/4}$	- Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) $0{,}0731.\ h^{3/4}$ - Dinding geser $0{,}0488.\ hsx$	- Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) $C_t.\ h_n^x$ (C_t = 0,0466) - Dinding Geser $C_t.\ h^x$ (C_t = 0,0488)
Gaya geser dasar	$V = \frac{C_1.I}{R}.W_t$ Dengan, C_1 harus ditentukan berdasarkan periode yang didapatkan.	V = CsW Dengan Cs harus ditentukan dengan persamaan 25	$V = C_s.W$ Dengan, C_s harus ditentukan menggunakan persamaan 2-27 sampai dengan 2-30.
Gaya seismik	$F_i = \frac{W_i.Z_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i.Z_i}$	$F\text{x} = \frac{\text{Vs.W}_\text{x}.h_\text{x}}{\sum_{i=1}^{n} W_i.\text{h}_i}$	$F\text{x} = \frac{\text{W}_i.h^\text{k}}{\sum_{i=1}^{n} W_i.\text{h}^\text{k}_i}$

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa perumusan desain dalam menentukan beban gempa berdasarkan SNI 1726-2002, SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019 memiliki perbedaan seperti yang telah dijabarkan pada tabel 3.1.

3.4.2 Respon Spektrum

1. Respon Spektrum *Two Period*

   Spektrum respons desain adalah grafik yang menggambarkan kurva spektrum respons yang mana sumbu x menunjukan periode getar fundamental struktur (T), dan sumbu y menunjukan respon spektrum percepatan (*Sa*). Berdasarkan SNI 03-1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, jika spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan ketentuan sebagai berikut.

   a. Jika T < T0, *Sa* harus diambil dari persamaan;

      $Sa = SDS\ (0{,}4 + 0{,}6\ \frac{T}{T0})$, (3.1)

   b. Jika $T0 < T < Ts$, *Sa* sama dengan S_{DS}, (3.2)

   c. Jika $T > Ts$, *Sa* diambil berdasarkan persamaan berikut.

      $\text{Sa} = \frac{SD1}{T}$ (3.3)

      Keterangan:

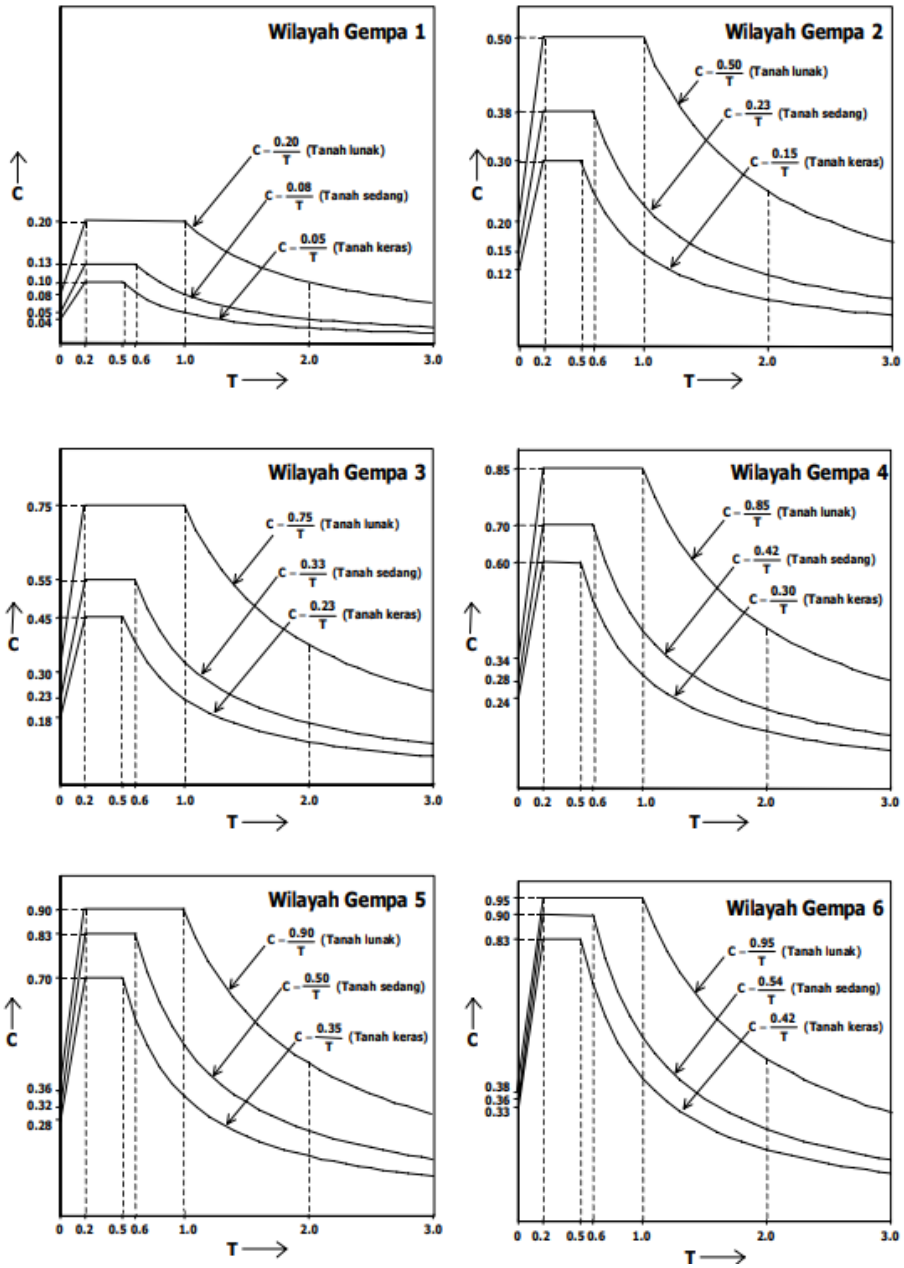
      S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.

      S_D = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik.

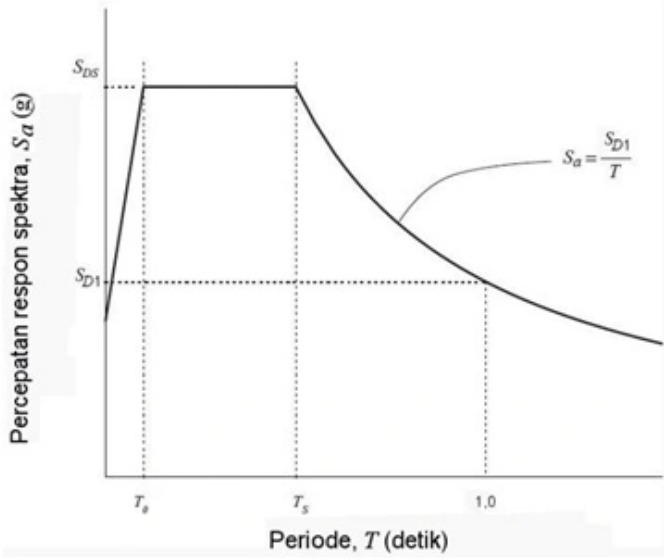
      T = periode getar fundamental struktur.

      $T0 = 0{,}2\ \frac{SD1}{SDS}$

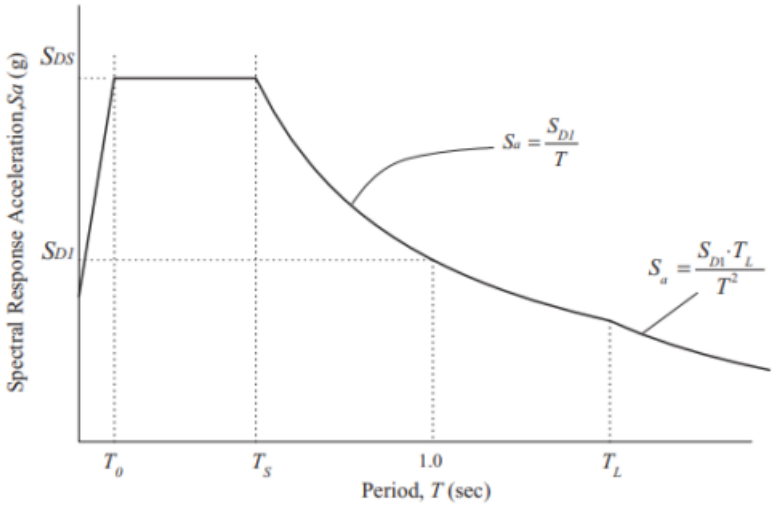
      $T_S = \frac{SD1}{SDS}$



Gambar 3. 3 Respon Spektrum Desain SNI 1726-2002
(Sumber: SNI 1726-2002)



Gambar 3. 4 Respon Spektrum Desain SNI 1726-2012
(Sumber: SNI 1726-2012)

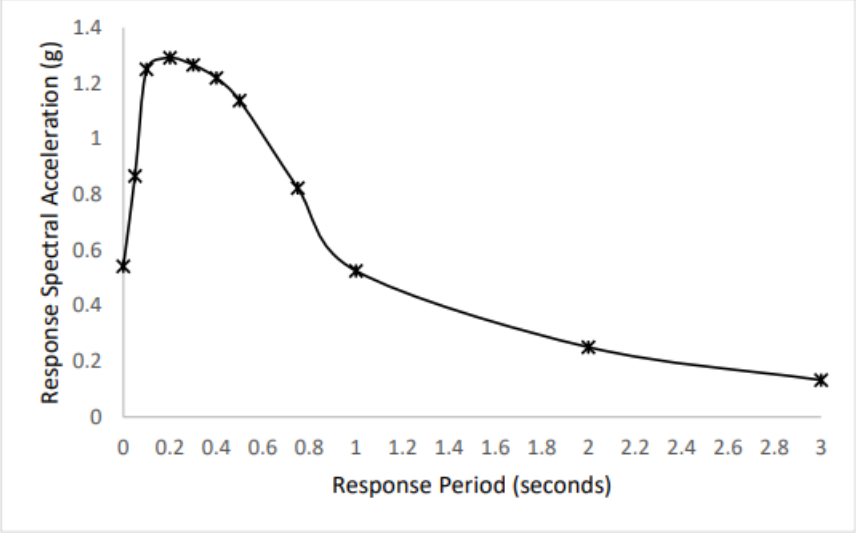


Gambar 3. 5 Respon Spektrum Desain SNI 1726-2019
(Sumber: SNI 1726-2019)

2. Respon Spektrum Multi Periode

   Respon spektrum multi periode pada penelitian ini mengacu pada penelitian Saputra (2023), hasil dari analisis PSHA menggunakan model SR yang terdiri atas

11 periode respon (0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.75, 1, 2, dan 3 detik).



Gambar 3. 6 Respon Spektrum Multi Periode Desain
(Sumber: Saputra, 2023)

3.5 Struktur Bangunan Tahan Gempa

Bangunan bertingkat tinggi harus memiliki struktur yang mampu menahan beban mati dan beban hidup sesuai dengan fungsinya. Struktur yang kokoh adalah struktur yang tetap utuh dan tidak runtuh ketika terjadi gempa di wilayah bangunan tersebut.

Menurut Tjokrodimulyo (2007), struktur tahan gempa adalah struktur yang mampu bertahan (tidak mengalami kerusakan atau runtuh) ketika terkena gempa, bukan hanya struktur yang dalam perencanaannya sudah memperhitungkan beban gempa.

Menurut Elliza I (2013), terdapat prinsip-prinsip dasar yang harus diperhatikan dalam perencanaan, perancangan, dan pelaksanaan struktur bangunan tahan gempa, yaitu

1. Sistem struktur harus disesuaikan dengan tingkat risiko gempa di lokasi bangunan tersebut.
2. Penting untuk memperhatikan kontinuitas dan integritas struktur bangunan. Detail penulangan dan sambungan harus dirancang agar unsur-unsur struktur terikat dengan efektif untuk meningkatkan keseluruhan kekuatan struktur.
3. Konsistensi antara sistem struktur yang direncanakan dengan yang dibangun harus dipertahankan
4. Beton yang digunakan harus memiliki ketahanan yang baik terhadap lingkungan.
5. Unsur-unsur arsitektural yang memiliki massa besar harus terintegrasi kuat dengan sistem struktur utama dan mempertimbangkan dampaknya terhadap keseluruhan struktur
6. Pelaksanaan konstruksi, sistem kontrol mutu, dan jaminan mutu harus dilaksanakan dengan baik sesuai dengan standar yang berlaku.

Besarnya gaya gempa yang diterima oleh sebuah struktur bangunan bergantung pada karakteristik gempa yang terjadi, sifat tanah di area bangunan, serta karakteristik struktur bangunan seperti bentuk, massa, beban gravitasi, kekakuan, dan faktor lainnya. Semua ini perlu diperhitungkan dalam merencanakan struktur bangunan bertingkat.

3.6 Jenis Pembebanan

Berikut ini adalah pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini.

3.6.1 Beban Mati

Menurut SKBI (1987) beban mati adalah berat dari seluruh komponen bangunan yang bersifat permanen, termasuk segala elemen tambahan, penyelesaian interior, peralatan, dan mesin yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung itu.

3.6.2 Beban Gravitasi

Beban gravitasi atau beban vertikal terdiri atas beban mati dan beban hidup. Beban mati adalah berat seluruh bagian dari suatu bangunan yang bersifat tetap, termasuk seluruh beban tambahan, finishing, mesin-mesin serta peralatan tetap yang

merupakan bagian yang tak terpisahkan dari bangunan tersebut (SNI 03-2847-2002). Beban hidup adalah total beban yang timbul dari penggunaan dan hunian bangunan, termasuk beban yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah di lantai serta beban akibat air hujan pada atap.

3.6.3 Beban Lateral

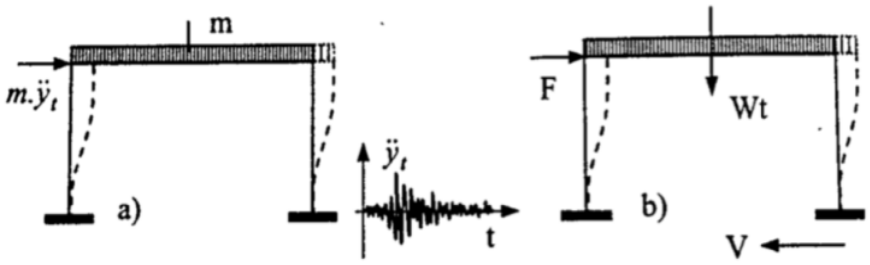
Beban lateral atau horizontal umumnya terdiri dari beban angin, beban gempa, serta beban dari ledakan dan getaran mesin yang dapat diklasifikasikan sebagai beban lateral.

Beban angin adalah gaya yang bekerja pada bangunan atau komponennya karena perbedaan tekanan udara (dari angin kencang). Sementara itu, beban gempa mencakup semua gaya statis yang setara yang bekerja pada gedung atau bagian dari gedung, menirukan efek gerakan tanah akibat gempa.

1. Analisis Statik Ekivalen

   Analisis statik ekivalen merupakan metode analisis struktur dengan getaran gempa yang dimodelkan sebagai beban-beban horisontal statik yang bekerja pada pusat-pusat massa bangunan. Bangunan yang mempunyai banyak massa, maka akan terdapat banyak gaya horizontal yang masing-masing bekerja pada massa-massa tersebut. Sesuai dengan prinsip keseimbangan maka dapat dianalogikan seperti adanya gaya horizontal yang bekerja pada dasar bangunan yang kemudian disebut gaya geser dasar, V. Gaya geser dasar ini secara keseluruhan membentuk keseimbangan dengan gaya horizontal yang bekerja pada tiap-tiap massa bangunan (Pawirodikromo, 2001). Pada tahun 1933 di Amerika Serikat, accelerograph pertama kali dikembangkan dan berhasil merekam percepatan tanah selama gempa di Helena, Montana pada tahun 1935, gempa Ferndale, California pada tahun 1938, serta gempa El Centro pada tahun 1940. Meskipun rekaman percepatan tanah akibat gempa telah tersedia pada saat itu, representasi gaya horizontal yang bekerja pada pusat massa bangunan terus mengalami perkembangan. Hal ini dikarenakan analisis dinamik yang membutuhkan perhitungan yang rumit dan pada masa itu

belum tersedia alat hitung cepat dan otomatis seperti komputer. Oleh karena itu, pemahaman tentang gaya horizontal yang bekerja pada pusat massa bangunan sebagai hasil dari goncangan tanah akibat gempa terus menjadi fokus utama para praktisi.



Gambar 3. 7 Analisis Dinamik
(Sumber: Pawirodikromo, 2012)

Dalam analisis dinamik seperti yang ditunjukkan dalam gambar 3.7, getaran atau goncangan bangunan disebabkan oleh percepatan tanah yang direkam dalam bentuk accelerogram. Dikarenakan alasan yang telah disebutkan sebelumnya, efek dari beban dinamik ini disederhanakan menjadi sebuah gaya F yang bekerja pada pusat massa bangunan. Gaya horisontal yang bekerja pada pusat massa bangunan ini bersifat statis, yang berarti besarannya tetap dan posisinya tidak berubah, sedangkan beban dinamik bervariasi intensitasnya sepanjang waktu (dinamik). Gaya-gaya horisontal ini digunakan sebagai representasi atau pengganti dari efek sebenarnya dari beban dinamik yang terjadi selama gempa bumi. Oleh karena itu, secara umum gaya-gaya horisontal ini disebut sebagai gaya horisontal ekivalen statik

2. Analisis Dinamik

   Analisis dinamik adalah analisis struktur yang pembagian gaya geser gempa diseluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi 2, yaitu analisis ragam respons spektrum dan analisis riwayat waktu. Analisis ragam respon spektrum yang

total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar. Analisis riwayat waktu percepatan gempa adalah analisis dinamis yang pada model struktur diterapkan percepatan gempa dari input berupa akselerogram dan respon struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu. Analisis dinamik untuk perancangan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa. Analisis dinamik digunakan untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gerakan tanah oleh gempa dan dapat dilakukan dengan cara analisis ragam spektrum respon. Pembagian gaya geser tingkat tersebut adalah untuk menggantikan pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada analisis beban statik ekuivalen. Analisis ragam spektrum respon sebagai spektrum percepatan respon gempa rencana harus dipakai diagram koefisien gempa dasar untuk wilayah masing-masing gempa.

3.7 Kelas Situs

Kelas situs ditentukan untuk mengukur besaran percepatan gempa di suatu lokasi atau wilayah, mulai dari batuan dasar hingga ke permukaan tanah. Untuk menentukan kelas situs, diperlukan beberapa parameter berikut.

1. Tahanan penetrasi standar rata-rata (N).
2. Kuat geser niralir rata-rata (Su).
3. Tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah nonkohesif (Nch).
4. Nilai rata-rata kecepatan gelombang geser (Vs30).

Berikut adalah klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726-2019 berdasarkan keadaan tanah di lapangan.

3.7.1 Kelas Situs SA (Batuan Keras)

Dalam menentukan kelas situs SA (batuan keras), pengukuran kecepatan gelombang geser dilakukan di lapangan atau pada profil batuan dengan formasi yang

serupa, termasuk retakan dan tingkat pelapukan yang sama atau lebih tinggi. Jika batuan keras teridentifikasi secara berkelanjutan hingga kedalaman 30 m, maka kecepatan gelombang geser permukaan dapat diekstrapolasi untuk memperoleh nilai $\bar{V}$s. Nilai kecepatan gelombang geser rata-rata pada regangan geser kecil di lapisan 30 m teratas ($\bar{V}$s) harus lebih dari 1500 m/detik. Penentuan kelas situs SA tidak diperbolehkan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara rakit fondasi atau dasar telapak dan permukaan batuan dasar.

3.7.2 Kelas Situs SB (Batuan)

Untuk menentukan kelas situs SB (batuan), diperlukan kondisi batuan dengan tingkat retakan dan pelapukan sedang berdasarkan pengukuran kecepatan gelombang geser yang dilakukan di lapangan. Pengukuran ini harus dilakukan oleh ahli geologi teknik, seismologi, atau geoteknik yang berpengalaman. Nilai kecepatan gelombang geser rata-rata pada regangan geser kecil di lapisan 30 m teratas ($\bar{V}$s) harus berada dalam rentang > 750 hingga 1500 m/detik. Penentuan kelas situs SB tidak diperbolehkan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara rakit fondasi atau dasar telapak dan permukaan batuan dasar

3.7.3 Kelas Situs SC (Tanah Keras)

Profil lapisan tanah untuk kelas situs SC ditentukan berdasarkan hasil perhitungan minimal tiga parameter: kecepatan rata-rata gelombang geser ($\bar{V}$s) yang berada dalam rentang minimal 350 m/detik dan maksimal 750 m/detik, nilai tahanan penetrasi standar rata-rata ($\bar{N}$) lebih dari 50, serta nilai kuat geser tak terdrainase rata-rata ($\bar{S}$u) lebih dari 100.

3.7.4 Kelas Situs SD (Tanah Sedang)

Profil lapisan tanah untuk kelas situs SD ditentukan berdasarkan hasil perhitungan minimal tiga parameter: kecepatan rata-rata gelombang geser ($\bar{V}$s) yang

berada dalam rentang minimal 175 m/detik dan maksimal 350 m/detik, nilai tahanan penetrasi standar rata-rata ($\bar{N}$) antara 15 hingga 50, serta nilai kuat geser tak terdrainase rata-rata ($\bar{S}$u) antara 50 hingga 100.

3.7.5 Kelas Situs SE (Tanah Lunak)

Profil lapisan tanah untuk kelas situs SE memiliki karakteristik lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:

1. Kuat geser niralir rata-rata ($\bar{S}$u) < 25 kPa,
2. Indeks plastisitas (PI) >20,
3. Kadar air (w) > 40%.

Penentuan profil lapisan tanah untuk kelas situs SE didasarkan pada hasil perhitungan minimal 3 parameter, yaitu kecepatan rata-rata gelombang geser ($\bar{V}$s) yang harus kurang dari 175, nilai tahanan penetrasi standar rata-rata lapangan ($\bar{N}$) kurang dari 15, dan kuat geser niralir rata-rata ($\bar{S}$u) kurang dari 50.

3.7.6 Kelas Situs SF (Tanah Khusus)

Berikut adalah beberapa kondisi situs tanah yang termasuk dalam kategori kelas situs SF dan memerlukan peninjauan lebih lanjut oleh ahli geoteknik serta analisis respon spesifik situs.

1. Tanah yang rentan dan memiliki potensi tinggi untuk runtuh atau gagal akibat gempa.
2. Tanah lempung dengan kandungan organik tinggi atau gambut yang memiliki ketebalan (H) > 3 meter.
3. Tanah lempung dengan ketebalan (H) > 7,5 m dan nilai indeks plastisitas (PI) > 75 (sangat tinggi).
4. Tanah lempung lunak dengan plastisitas sedang dan ketebalan (H) > 35 m dengan nilai kuat geser niralir rata-rata ($\bar{S}$u) < 50 kPa.

Tabel 3. 2 Klasifikasi Situs SNI 1726-2019

Kelas Situs	$\bar{V}$**s (m/detik)**	$\bar{N}$ **atau** $\bar{N}$**c** ch	$\bar{S}$**u (kPa)**
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	>100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifiksitus yang mengikuti)	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 $\bar{S}$u < 25 kPa.		

Lanjutan Tabel 3.2 Klasifikasi Situs SNI 1726-2019

SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifiksitus 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 $\bar{S}u$ < 50 kPa

(Sumber: SNI 1726 2019)

3.8 Koefisien Amplifikasi

Lapisan tanah lunak dapat menyebabkan getaran gempa yang lebih besar dibandingkan dengan lapisan tanah keras ketika gelombang gempa melintasinya. Fenomena ini dikenal sebagai amplifikasi atau penguatan gelombang gempa Solikin dan Suantika, (2008). Koefisien amplifikasi diperlukan untuk mengonversi nilai Ss dan S1 sesuai dengan kondisi tanah di lapangan Patria, (2021). Menurut SNI 03-1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung, dalam menentukan respon spektrum di suatu wilayah, diperlukan nilai faktor amplifikasi gempa pada periode 1,0 detik dan 0,2 detik. Ada dua faktor amplifikasi, yaitu faktor amplifikasi getaran berdasarkan percepatan pada periode 1,0 detik (*Fv*) dan faktor amplifikasi getaran berdasarkan percepatan pada periode 0,2 detik (*Fa*). Untuk menentukan parameter respon spektral percepatan pada periode 1 detik

(S_{M1}) dan periode pendek (S_{MS}) yang disesuaikan dengan pengaruh kelas situs, dapat digunakan rumus berikut.

$$S_{MS} = Fa \times S_S \quad (3.4)$$

$$S_{M1} = Fv \times S_1 \quad (3.5)$$

Keterangan:

Ss = parameter respons spektral percepatan gempa MCER yang dipetakan untuk periode pendek.

S1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCER yang dipetakan untuk periode 1,0 detik.

Berikut merupakan tabel koefisien situs berdasarkan SNI 1726-2019

Tabel 3. 3 Koefisien Situs, *Fa* SNI 1726-2019

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	SSa					

(Sumber: SNI 1726 2019)

Tabel 3. 4 Koefisien Situs, *Fv* SNI 1726-2019

Kelas Situs	**Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S1**					
	S1 < 0,1	S1 = 0,2	S1 = 0,3	S1 = 0,4	S1 = 0,5	S1 > 0,6
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SSa					

(Sumber: SNI 1726 2019)

SF = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs spesifik.

Berdasarkan Tabel 3.3 dan 3.4 penentuan nilai *Fa* dan *Fv* dibatasi oleh nilai *Ss* maksimal sebesar 1,5 g dan nilai S_1 maksimal sebesar 0,6 g.

3.9 Kategori Desain Seismik

Menurut SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung, setiap struktur harus ditetapkan memiliki kategori desain seismik. Kategori desain seismik adalah spesifikasi yang ditentukan berdasarkan klasifikasi hunian dan seberapa kritis pergerakan tanah akibat gempa di wilayah tersebut. Secara umum, kategori desain seismik berhubungan dengan jenis tanah, tingkat risiko seismik, serta penggunaan bangunan dan hunian.

3.9.1 Kategori Desain Seismik A

Struktur yang termasuk kedalam kategori desain seismik A adalah struktur yang memiliki nilai respons percepatan pada periode pendek, $S_{DS} < 0{,}167$ dan nilai respons percepatan pada periode 1 detik, $S_{D1} < 0{,}067$ untuk bangunan gedung atau nongedung yang tergolong kategori risiko I, II, III dan IV. Bangunan yang termasuk kedalam kategori desain seismik A adalah bangunan yang memiliki tingkat risiko gempa paling rendah sehingga tidak diwajibkan menerapkan sistem struktur tahan gempa.

3.9.2 Kategori Desain Seismik B

Struktur yang termasuk kedalam kategori desain seismik B adalah struktur yang memiliki nilai respons percepatan pada periode pendek, $0{,}167 < S_{DS} < 0{,}33$, dan nilai respons percepatan pada periode 1 detik, $0{,}067 < S_{D1} < 0{,}133$ untuk bangunan gedung atau nongedung yang tergolong kategori risiko I, II dan III. Beberapa syarat detailing struktur pada kategori desain seismik B adalah sebagai berikut.

1. Dalam analisis dan desain elemen struktural, diasumsikan bahwa diperlukan distribusi kekuatan untuk elemen sistem pemikul gaya seismik yang akan ditentukan berdasarkan analisis model elastis linier dan analisis respons riwayat waktu nonlinier. Pemeriksaan perlu dilakukan terkait kesetimbangan sistem pemikul gaya seismik dan interaksinya dengan elemen struktur dan nonstruktur terhadap perpindahan lateral (SNI 2847-2019).
2. Komponen sistem rangka pemikul momen yang digunakan pada kategori desain seismik B adalah sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB) (SNI 2847-2019).

3.9.3 Kategori Desain Seismik C

Struktur yang termasuk kedalam kategori desain seismik C adalah struktur yang memiliki nilai respons percepatan pada periode pendek (S_{DS}), $0{,}33 < S_{DS} < 0{,}50$, untuk bangunan gedung atau nongedung yang tergolong kategori risiko I, II dan III dan nilai respons percepatan pada periode pendek (S_{DS}), $0{,}167 < S_{DS} < 0{,}33$, untuk bangunan gedung atau nongedung yang tergolong kategori risiko IV. Sedangkan untuk nilai

respons percepatan pada periode 1 detik (S_{D1}), 0,133 < S_{D1} < 0,20, untuk bangunan gedung atau nongedung yang tergolong kategori risiko I, II dan III, dan nilai respons percepatan pada periode 1 detik (S_{D1}) 0,067 < S_{D1} < 0,133, untuk bangunan gedung atau nongedung yang tergolong kategori risiko IV. Beberapa syarat detailing struktur pada kategori desain seismik C adalah sebagai berikut.

1. Dalam analisis dan desain elemen struktural, diasumsikan bahwa diperlukan distribusi kekuatan untuk elemen sistem pemikul gaya seismik yang akan ditentukan berdasarkan analisis model elastis linier dan analisis respons riwayat waktu nonlinier. Pemeriksaan perlu dilakukan terkait kesetimbangan sistem pemikul gaya seismik dan interaksinya dengan elemen struktur dan nonstruktur terhadap perpindahan lateral (SNI 2847-2019).
2. Elemen-elemen dari sistem rangka pemikul momen yang digunakan dalam kategori desain seismik C adalah sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM).
3. Angkur-angkur yang menahan gaya seismik akibat gempa pada struktur yang dikategorikan sebagai KDS C harus memenuhi ketentuan yang tercantum dalam SNI 2847-2019 pasal 17.2.3.2 hingga 17.2.3.7.

3.9.4 Kategori Desain Seismik D

Struktur yang masuk kedalam kategori desain seismik D adalah struktur yang memiliki nilai respons percepatan pada periode pendek (S_{DS}), 0,50 < S_{DS}, untuk bangunan gedung atau nongedung dengan kategori risiko I, II dan III, dan IV, dan nilai respons percepatan pada periode pendek (S_{DS}), 0,33 < S_{DS} < 0,50, untuk bangunan gedung atau nongedung dengan kategori risiko IV. Sedangkan untuk nilai respons percepatan pada periode 1 detik (S_{D1}), 0,20 < S_{D1}, untuk bangunan gedung atau non gedung dengan kategori risiko I, II dan III, dan IV, dan nilai respons percepatan pada periode 1 detik (S_{D1}), 0,33 < S_{DS} < 0,50, untuk bangunan gedung atau nongedung dengan kategori risiko IV. Beberapa syarat *detailing* struktur pada kategori desain seismik D sebagai berikut.

1. Dalam analisis dan desain elemen struktural, diasumsikan bahwa diperlukan distribusi kekuatan untuk elemen sistem pemikul gaya seismik yang akan ditentukan berdasarkan analisis model elastis linier dan analisis respons riwayat waktu nonlinier. Pemeriksaan perlu dilakukan terkait kesetimbangan sistem pemikul gaya seismik dan interaksinya dengan elemen struktur dan nonstruktur terhadap perpindahan lateral (SNI 2847-2019).
2. Elemen-elemen dari sistem rangka pemikul momen yang digunakan dalam kategori desain seismik D adalah sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Oleh karena itu, terdapat persyaratan khusus mengenai faktor reduksi kekuatan untuk komponen struktur, sambungan, dan joint pada struktur penahan gaya seismik, terutama untuk gedung yang menggunakan dinding struktural khusus, sistem rangka pemikul momen khusus, dan dinding pracetak menengah (SNI 2847-2019).

Tabel 3. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek, 02 Detik SNI 1726-2019

Nilai Sds	**Kategori Resiko**	
	I atau II atau III	**IV**
Sds < 0.167	A	A
$0.167 \leq S_{D1} < 0{,}33$	B	C
$0{,}33 \leq S_{DS} < 0{,}50$	C	D
$0{,}50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 3. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik SNI 1726-2019

Nilai Sds	**Kategori Resiko**	
	I atau II atau III	**IV**
Sd1 < 0.067	A	A

Lanjutan Tabel 3. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik SNI 1726-2019

$0.067 \leq S_{D1} < 0{,}133$	B	C
$0{,}133 \leq S_{DS} < 0{,}20$	C	D
$0{,}20 \leq S_{D1}$	D	D

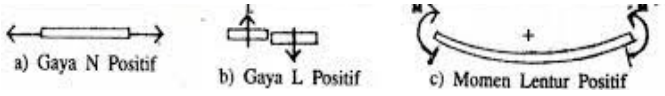
(Sumber: SNI 1726-2019)

3.10 Gaya Dalam Struktur

Gaya gaya yang bekerja di dalam struktur atau gaya yang merambat dari muatan kepada reaksi perletakan disebut gaya dalam. Gaya-gaya dalam berupa:

1. Gaya Normal (N), yaitu gaya yang bekerja sejajar dengan sumbu memanjang batang.
2. Gaya Lintang (L), yaitu gaya yang bekerja tegak lurus dengan sumbu memanjang batang.
3. Gaya Momen (M), yaitu perkalian antara gaya di suatu sumbu putar yang menyebabkan putar atau rotasi.

Gaya dalam dapat dilihat pada gambar berikut.



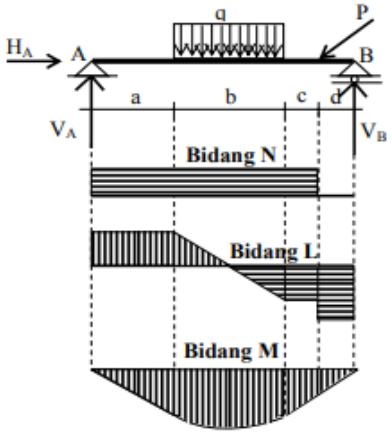
Gambar 3. 8 Gaya Dalam Struktur

(Sumber: Mulyati, 2020)

Gaya normal diberi tanda positif, jika gaya tersebut cendrung menimbulkan sifat tarik pada batang, dan diberi tanda negatif jika gaya tersebut cendrung menimbulkan sifat desak.

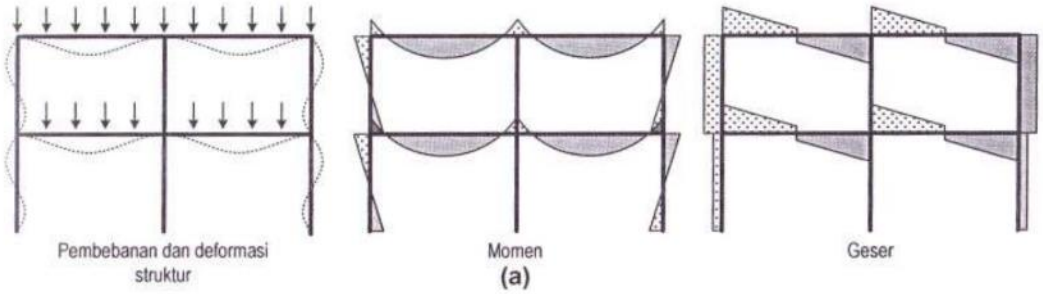
Gaya lintang diberi tanda positif, jika gaya tersebut cendrung menimbulkan patah dengan putaran searah jarum jam, dan diberi tanda negatif jika gaya tersebut cendrung menimbulkan sebaliknya.

Momen lentur diberi tanda positif, jika gaya tersebut menyebabkan sumbu batang cekung ke atas, dan diberi tanda negatif jika menyebabkan sumbu batang cekung ke bawah.

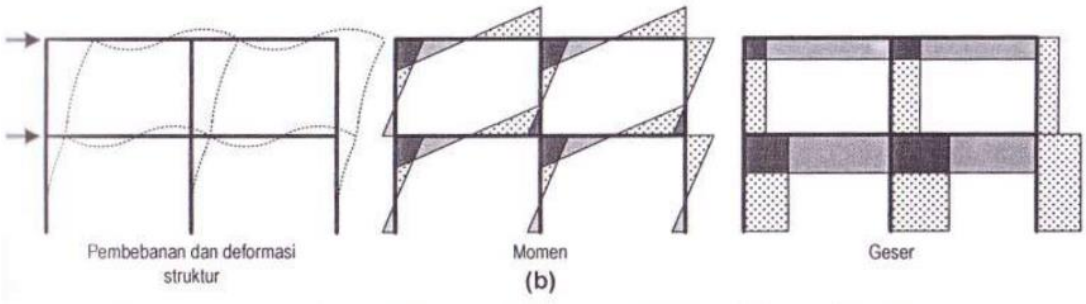


Gambar 3. 9 Keseimbangan Gaya Gaya Dalam
(Sumber: Mulyati, 2020)

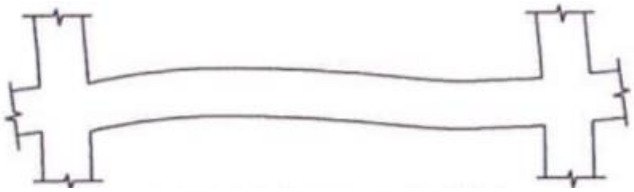
Keseimbangan gaya yang ditimbulkan oleh beban P dan q pada Gambar 3.9 dapat dilihat dari gaya reaksi yang ada VA, HA dan VB serta gaya dalam berupa gaya normal, gaya lintang, dan gaya momen. Secara matematis, persamaan gaya ini dapat dihitung dengan menggunakan tiga persamaan statis tertentu.



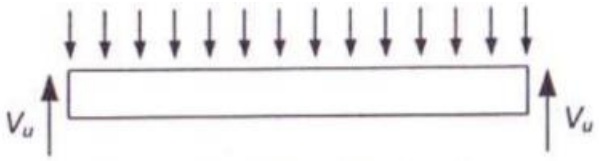
Gambar 3. 10 Respon SRPM Terhadap Beban Gravitasi
(sumber: Teguh, 2020)



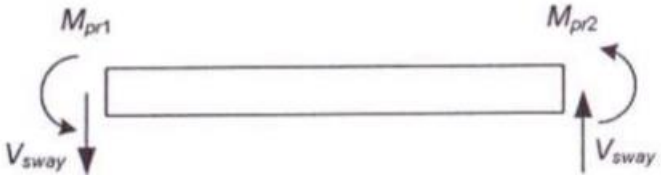
Gambar 3. 11 Respon SRPM Terhadap Beban Lateral
(sumber: Teguh, 2020)



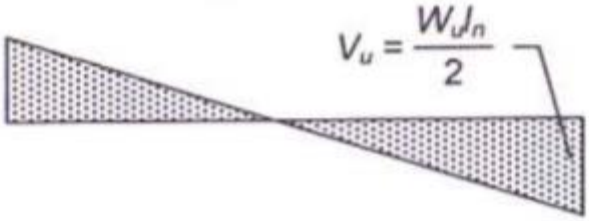
Gambar 3. 12 Balok Bergerak ke Kiri
(sumber: Teguh, 2020)



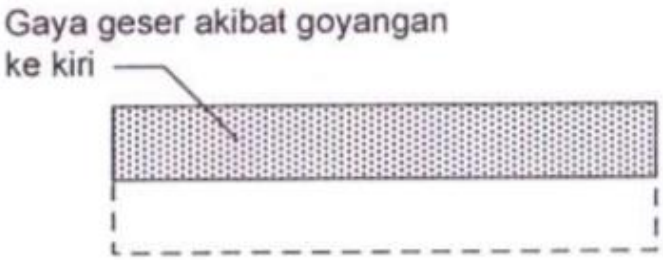
Gambar 3. 13 Gaya Dasar Akibat Beban Gravitasi
(sumber: Teguh, 2020)



Gambar 3. 14 Gaya Geser Akibat Gempa
(sumber: Teguh, 2020)



Gambar 3. 15 Diagram Geser Akibat Beban Gravitasi dan Komponen Vertikal Gempa
(sumber: Teguh, 2020)



Gambar 3. 16 Gaya Geser Akibat Beban Lateral
(sumber: Teguh, 2020)



Gambar 3. 17 *Design Shear Force Envelope*
(sumber: Teguh, 2020)

3.11 Ketidakberaturan Bangunan Gedung

Struktur gedung bertingkat yang dianalisis harus digolongkan sebagai gedung beraturan atau tidak beraturan. Berdasarkan SNI 1726-2012 penggolongan tersebut didasarkan pada konfigurasi horisontal dan vertikal yang struktur bangunan gedungnya mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan sesuai tabel dibawah.

Tabel 3. 7 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan
Ia	**Ketidakberaturan Torsi** didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai 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
Ib	**Ketidakberaturan Torsi** Berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasalpasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku
2	**Ketidakberaturan Sudut Dalam** didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan
3	**Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma** didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya

Lanjutan Tabel 3.7 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

4	**Ketidakberaturan Pergeseran Melintang terhadap Bidang** didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.
5	**Ketidakberaturan Sistem Nonparalel** didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa.

(Sumber: SNI 1726 2012)

Tabel 3. 8 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan
Ia	**Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak** didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya
Ib	**Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan** didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya
2	**Ketidakberaturan Berat (Massa)** didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau
3	**Ketidakberaturan Geometri Vertikal** didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sstem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.

Lanjutan Tabel 3. 8 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

4	**Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal** didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya
5a	**Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat didefinisikan** ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.
5b	**Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan** didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.

PENGECUALIAN:

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

(Sumber: SNI 1726 2012)

3.12 Faktor R, *Cd*, dan Ω

Penentuan Faktor R, *Cd*, dan Ω ini ditetapkan berdasarkan sistem pemikul gaya seismik yang digunakan pada struktur tersebut. Dalam sistem pemikul gaya seismik ini dibedakan 8 jenis sistem pemikul gaya seismik antara lain: Sistem Dinding Penumpu, Sistem Rangka Bangunan, Sistem Rangka Pemikum Momen, Sistem Ganda Dengan Rangka Pemikul Momen Khusus, Sistem Ganda Dengan Rangka Pemikul Momen Menengah, Sistem Interaktif Dinding Geser Rangka Dengan Rangka Pemikul Momen Beton Bertulang, Sistem Kolom Kantilever, Sistem Baja Tidak di detail Secara Khusus Untuk Ketahanan Seismik.

Tabel 3. 9 Penentuan Faktor R, Cd, dan Ω untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik Berdasarkan Kategori Desain Seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω0	Cd	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur h_n (m)[d]				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10[k]	TI[k]	TI[k]
Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI[l]	TI[l]	TI[l]
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB

(Sumber: SNI 1726-2019)

3.13 Periode Fundamental Struktur

Penentuan periode fundamental struktur ini ditetapkan berdasarkan hasil analisis struktur yang dibatasi dengan batasan maksimum maupun minimum nilai periode getar yang digunakan untuk periode getar alami menggunakan rumus berikut ini.

$$Ta = Ct\, x \tag{3.6}$$

Keterangan:

Ta = Perioda fundamental pendekatan (detik)

Ct dan *x* = Koefisien faktor pengali periode pendekatan

h = Ketinggian struktur (m)

Tabel 3.10 Nilai Faktor Pengali Ct dan x

Tipe struktur	*Ct*	*x*
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihub-ungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik: • Rangka baja pemikul momen • Rangka beton pemikul momen	 0,0724 0,0466	 0,8 0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang ter-hadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber: SNI 1726-2019)

Untuk periode getar maksimum menggunakan rumus berikut ini.

$$T\ max = C_U \times Ta \tag{3.7}$$

Keterangan:

T *max* = Perioda getar maksimum

C_U = Koefisien Untuk Batas Atas

Tabel 3. 11 Nilai Faktor Getar Batas Atas, C_U

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, SD1	Koefisien CU
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

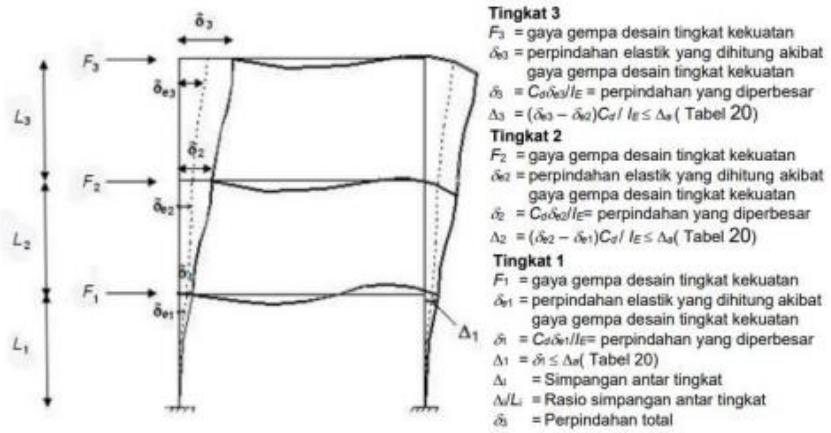
(Sumber: SNI 1726-2019)

3.14 Simpangan

Simpangan adalah perpindahan lateral yang terjadi antara dua atau lebih tingkat bangunan yang berdekatan, juga dikenal sebagai simpangan mendatar tiap tingkat bangunan (*horizontal story to story deflection*). Menurut Farzat Naeim (1989), simpangan lateral yang terjadi pada suatu sistem struktur akibat beban gempa sangat penting jika dilihat dari tiga aspek berikut.

1. Stabilitas struktur (*structural stability*).
2. Kenyamanan manusia (*human comfort*), selama dan setelah bangunan mengalami getaran gempa.
3. Integritas arsitektural (*architectural integrity*) dan potensi berbagai jenis kerusakan pada komponen struktur nonstruktur.

Dalam merencanakan bangunan bertingkat, selain mempertimbangkan kekuatan struktur (*strength*), lenturan struktur (*deflection*) juga harus diperhitungkan. Hal ini penting karena defleksi yang besar dapat mengakibatkan kegagalan struktur (Richard, 1987). Simpangan antar tingkat di suatu titik pada lantai harus ditentukan sebagai simpangan horizontal pada titik tersebut, relatif terhadap titik yang sesuai pada lantai di bawahnya. Penentuan simpangan antar lantai (Δ) harus dihitung sebagai selisih simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang dianalisis.



Gambar 3. 18 Penentuan Simpangan Antar Lantai
Sumber:(SNI 1726-2019)

Simpangan pusat massa di Tingkat – x (δx) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$\delta x = \frac{Cd\delta xe}{Ie} \tag{3.8}$$

Keterangan:

Cd = faktor pembesaran simpangan lateral

δxe = simpangan di tingkat-x

Ie = faktor keutamaan gempa

Terkait batasan simpangan antar lantai yang dimana tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izinnya. Simpangan antar tingkat ijin dapat dilihat pada Tabel 3.16 berikut ini.

Tabel 3. 12 Simpangan Antar Tingkat Izin

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

(Sumber: SNI 1726-2019)

3.15 Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar seismik (V) adalah gaya geser total yang direncanakan terjadi di dasar bangunan akibat getaran gempa bumi. Gaya ini digunakan sebagai gaya gempa rencana yang dievaluasi dalam perancangan dan penilaian struktur bangunan gedung. Menurut SNI 1726-2019, gaya geser dasar pada gedung dengan struktur asimetris dianalisis menggunakan metode dinamik, sementara pada gedung dengan struktur simetris dianalisis menggunakan metode statik ekivalen.

Gaya geser dasar tersebut kemudian didistribusikan secara vertikal sepanjang tinggi struktur sebagai gaya horizontal pada setiap tingkat bangunan. Dengan

menjumlahkan gaya horizontal pada setiap tingkat yang dianalisis, dapat diperoleh gaya geser tingkat, yaitu gaya geser yang terjadi di dasar tingkat yang dianalisis. Gaya yang bekerja pada setiap tingkat ini akan menyebabkan perpindahan dan simpangan pada tingkat-tingkat tersebut. Gaya geser dasar seismik (V) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$V = Cs \times W \quad (3.11)$$

Keterangan:

V = Gaya geser dasar seismic (kN)

Sc = Koefisien respon seismik

W = Berat bangunan (kN)

3.16 Respons Struktur

Respons struktur adalah tanggapan atau reaksi yang terjadi pada suatu bangunan terhadap gaya-gaya, salah satunya yaitu gaya gempa. Respons struktur akibat gempa sangat dipengaruhi oleh bentuk bangunan itu sendiri. Untuk mengetahui respons struktur akibat gempa, maka diperlukan analisis beban gempa yang dapat dilakukan dengan analisis statik ekivalen, respons spektrum dan *time history* Sedangkan analisis respons spektrum, respons struktur yang diperoleh bukan asli dari beban gempa tertentu, melainkan berdasarkan pada respons spektrum yang merupakan produk akhir dari beberapa gempa.

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Tujuan metodologi penelitian ini adalah untuk menyajikan deskripsi dan langkah-langkah penelitian secara sistematis sehingga proses penelitian dapat berlangsung dengan baik dan teratur. Penelitian ini berupa penelitian jenis komparatif yaitu membandingkan berbagai hasil dari analisis yang dilakukan, hasil yang dibandingkan pada penelitian ini adalah respons spektrum, gaya geser dasar, simpangan antar lantai, gaya dalam dari respons spektrum *two period* sesuai dengan pedoman SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung dan *multi period* sesuai dengan *ASCE* 7-22.

4.2 Data Penelitian

Dalam penelitian ini di butuhkan data untuk membantu kelancaran penelitian, dimana beberapa data yang digunakan yaitu nilai respon spektrum *multi period* merujuk kepada penelitian Saputra (2023).

4.2.1 Data Struktur

Pada penelitian ini digunakan data struktur dengan mutu beton struktur (F'c) sebesar 25 MPa dan mutu baja tulangan (Fy) sebesar 420 MPa. Dengan detail pada tabel 4.1 dan 4.2 dibawah.

Tabel 4. 1 Spesifikasi Model Struktur

Spesifikasi	Ketentuan
Fungsi gedung	Kantor
Kuat tekan beton	25 MPa

Lanjutan Tabel 4. 1 Spesifikasi Model Struktur

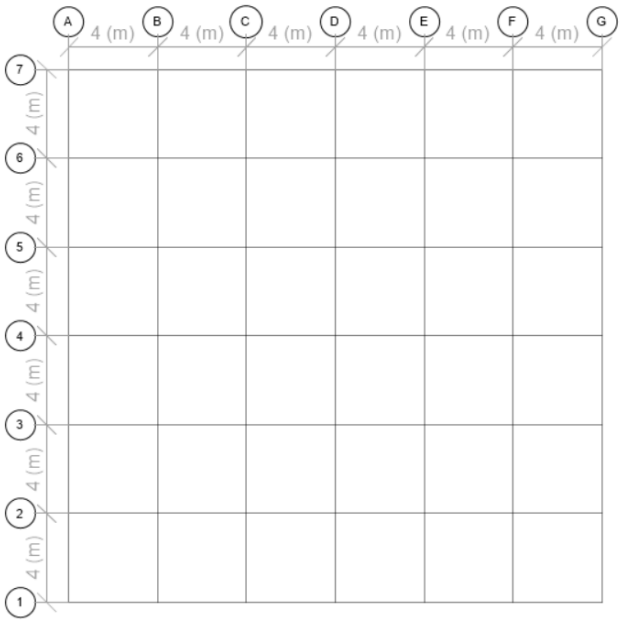
Tegangan leleh baja	420 MPa
Jarak bentangan	4 m

Tabel 4. 2 Dimensi Kolom dan Balok

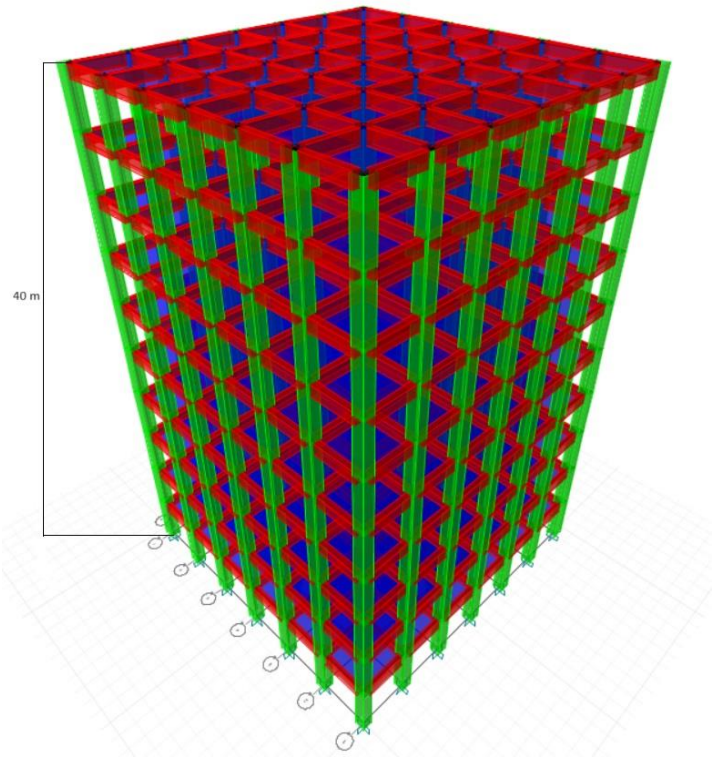
Model	**Kolom samping**		**Kolom tengah**		**Balok utama**	
	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)
10 tingkat	800	800	800	800	400	800

4.2.2 Model Struktur

Dimodelkan dengan model 1 dimana struktur 10 lantai dengan masing-masing variasi tanah lunak, sedang, dan keras dengan menggunakan percepatan respon spektrum *two period*. Model 2 dimana struktur 10 lantai dengan masing-masing variasi tanah lunak, sedang, dan keras dengan menggunakan percepatan respon spektrum *multi period*. Tinggi struktur bangunan yang dimodelkan tiap lantai tingginya 4 m. Gedung ini berlokasikan di Yogyakarta.



Gambar 4. 1 Denah Struktur Sederhana



Gambar 4. 2 Permodelan Struktur 3D Model 10 Lantai

4.3 Tahap Persiapan Penelitian

Berikut ini merupakan tahap persiapan penelitian:

1. Tahapan awal yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi masalah. Dengan itu peneliti dapat menentukan studi kasus atau yang akan ditinjau sebagai objek penelitian.
2. *Time schedule* digunakan sebagai acuan pengendalian waktu dalam pelaksanaan Penelitian tugas akhir. Dimana bertujuan untuk mengetahui apakah penelitian sesuai dengan rencana waktu yang ditentukan.
3. Perumusan masalah digunakan untuk mengetahui permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian. Tujuan dan manfaat dari penelitian juga dijabarkan kegunaannya. Batasan penelitian dibuat untuk membatasi pembahasan agar tidak keluar dari topik pembahasan.
4. Mencari data primer, sekunder, dan semua peraturan yang berhubungan dengan penelitian, dalam hal ini analisis suatu bangunan menggunakan metode respons spektrum.

4.4 Tahap Pengolahan Data dan Permodelan

Berikut merupakan tahap pengolahan data dan permodelan:

1. Analisa dan pembahasan.

   Dari hasil pengolahan data akan disajikan dengan menggunakan model grafik atau tabel. Hal ini bertujuan untuk mempermudah perbandingan untuk menarik kesimpulan dalam tujuan dan rumusan masalah yang dibuat.
2. Kesimpulan dan saran.

   Setelah melakukan pengolahan dan analisis data, peneliti merangkum jawaban dari tujuan penelitian dengan kesimpulan yang ada. Saran yang diberikan pada penelitian ini bertujuan untuk memudahkan penelitian-penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan topik pembahasan yang diharapkan dapat menjadikan penelitian yang selanjutnya dilakukan mengalami perbaikan ataupun perkembangan.

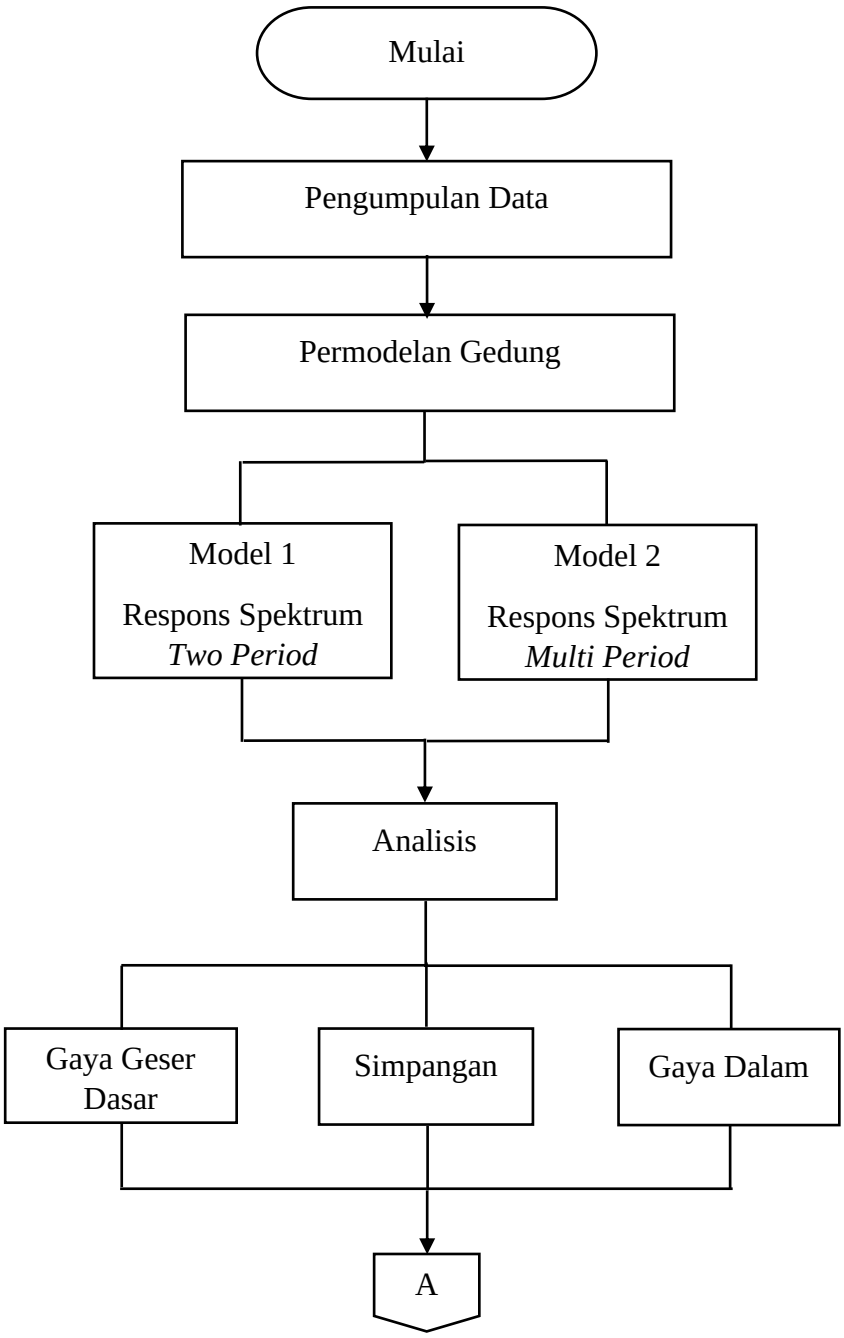
3. Program komputasi yang digunakan adalah ETABS sebagai program untuk mendesain dan menganalisis struktur, sedangkan program yang digunakan untuk mengolah data setelah dilakukan permodelan adalah *Microsoft Excel*.

4.5 Tahapan Penelitian

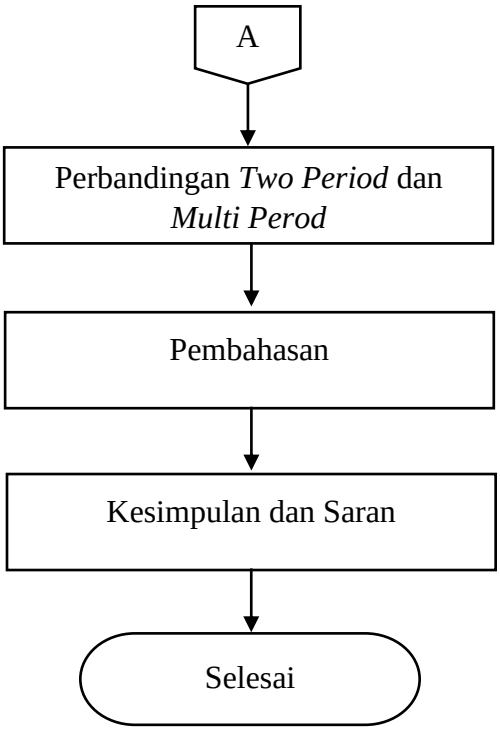
Berikut ini adalah langkah-langkah penelitian yang dilakukan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir:

1. Mencari data teknis berupa data primer maupun sekunder untuk bangunan yang ditinjau, dalam hal ini bangunan bersifat imajiner karena tidak berdasarkan *exsisting*.
2. Mencari data beban gempa untuk perencanaan bangunan dari SNI 1726-2019, SNI 1727-2020, dan *ASCE* 7-22.
3. Melakukan permodelan struktur bangunan 3 dimensi.
4. Melakukan analisis respons spektrum 2 periode pada model variasi bangunan berdasarkan persyaratan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung pada SNI 1726-2019 dan respons spektrum multi periode pada model variasi bangunan berdasarkan penelitian Saputra (2023).
5. Mengolah data dari hasil *output* analisis yang mencakup respons spektrum, gaya geser dasar, simpangan antar lantai, dan gaya dalam.
6. Pembahasan merujuk kepada permasalahan yang telah diuraikan.
7. Kesimpulan dari pembahasan berdasarkan hasil analisis yang dilakukan untuk menjawab tujuan dari penelitian.

Berikut dibawah ini gambar *flowchart* penelitian.



Gambar 4. 3 *Flowchart* Penelitian



Lanjutan Gambar 4.3 *Flowchart* Penelitian

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Analisis dan pembahasan dilakukan dalam bab ini dimulai dari pengumpulan data dan dilanjutkan ke permodelan gedung. Analisis dilakukan menggunakan *software* ETABS yang dimana model 1 adalah struktur 10 lantai dengan variasi tanah keras, tanah sedang, tanah lunak menggunakan penerapan respon spektrum *two period*, dan model 2 adalah struktur 10 lantai dengan variasi tanah keras, tanah sedang, tanah lunak menggunakan penerapan respon spektrum *multi period.* Hasil analisis adalah nilai respon seismik dan gaya dalam yang terjadi pada struktur yang kemudian akan dibandingkan dari masing-masing variasi struktur *two period* dan *multi period.*

5.2 Pembebanan Struktur

Pada bab IV sudah dijelaskan pembebanan yang diperhitungkan dalam analisis ini. Pada analisis ini beban yang diperhitungkan adalah beban hidup, beban mati, beban mati tambahan, dan beban gempa. Beban gempa yang diperhitungkan adalah *two period* berdasarkan dari SNI 1726-2019 dan *multi period* berdasarkan penelitian Saputra (2023).

5.2.1 Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan pada bangunan ini mengacu pada SNI 1727-2020 berdasarkan manfaat dari tiap ruangannya seperti tabel dibawah.

Tabel 5. 1 Beban Hidup Bangunan

Fungsi Bangunan	L	Satuan
Ruang Kantor	2,40	kN/m2

Lanjutan Tabel 5.1 Beban Hidup Bangunan

Koridor/Lobi	4,79	kN/m2
Fasilitas Umum	4,79	kN/m2
Ruang Kelas	1,92	kN/m2
Ruang Komputer	4,79	kN/m2
Ruang Perpustakaan	7,18	kN/m2
Ruang Pertemuan	4,79	kN/m2
Atap	0,96	kN/m2

(Sumber: SNI 1727-2020)

5.2.2 Beban Mati dan Beban Mati Tambahan

Beban mati dan beban mati tambahan diambil berdasarkan analisis dari ETABS. Hasil beban mati dan beban mati tambahan adalah 79610.5851 kN

5.2.3 Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan adalah beban gempa *two period* dan *multi period* dengan variasi jenis tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak.

1. Respon spektrum *two period* mengacu pada SNI 1726-2019 atau web RSA Cipta Karya.
   a. Menetapkan nilai parameter faktor amplifikasi, *Fa* dan *Fv*
      Berikut adalah tabel koefisien situs (*Fa*) dan (*Fv*) pada SNI 1726-2019

Tabel 5. 2 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	SSa					

(Sumber:SNI 1726-2019)

Berdasarkan web RSA ciptakarya dengan lokasi di Bantul Lintang -7.933333 Bujur 110.333333 dengan klasifikasi situs C (SC) nilai *Ss* yang digunakan adalah 1.3827 yang berdasarkan tabel termasuk diantara nilai *Ss* = 1,25 dan *Ss* > 1,5, sehingga nilai *Fa* untuk *two period* menggunakan rumus interpolasi yaitu 1,2 – (1,3827 – 1,25) / (1,5 – 1,25) x (1,25 – 1,25) = 1,2.

Tabel 5. 3 Koefisien Situs, *Fv*

Kelas Situs	**Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, *S1***					
	S1 < 0,1	S1 = 0,2	S1 = 0,3	S1 = 0,4	S1 = 0,5	S1 > 0,6
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SSa					

(Sumber:SNI 1726-2019)

Berdasarkan web RSA dengan lokasi di Bantul Lintang -7.933333 Bujur 110.333333 dengan klasifikasi situs C (SC) nilai S_1 yang diambil adalah 0,5841 yang berdasarkan tabel termasuk diantara nilai S_1 = 0,5 dan $S1$ > 0,6, sehingga nilai *Fv* untuk *multi period* menggunakan rumus interpolasi yaitu 1,5 – (0,5841 – 0,5) / (0,6 – 0,5) x (1,5 – 1,4) = 1,42.

b. Menghitung nilai parameter S_{DS} dan S_{D1}

1. Perhitungan S_{DS}

$S_{MS} = Fa \times S_S$

S_{MS} = 1,2 x 1,3827 = 1,659 g

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

$S_{DS} = \frac{2}{3}$ x 1,659

S_{DS} = 1,1

2. Perhitungan S_{D1}

   S_{M1} = Fv x S_1

   S_{M1} = 1,42 x 0,5841 = 0,829 g

   S_{D1} = $\frac{2}{3}$ x S_{M1}

   S_{D1} = $\frac{2}{3}$ x 0,829

   S_{D1} = 0,55

c. Menghitung nilai parameter T_0 dan T_S

   Perhitungan T_0 dan T_S

   T_0 = 0,2 x $\frac{SD1}{SDs}$ = 0,2 x $\frac{0,55}{1,1}$ = 0,1

   T_S = $\frac{SD1}{SDs}$ = $\frac{0,55}{1,1}$ = 0,5

d. Menentukan parameter *Sa*

   Perhitungan nilai *Sa two period*

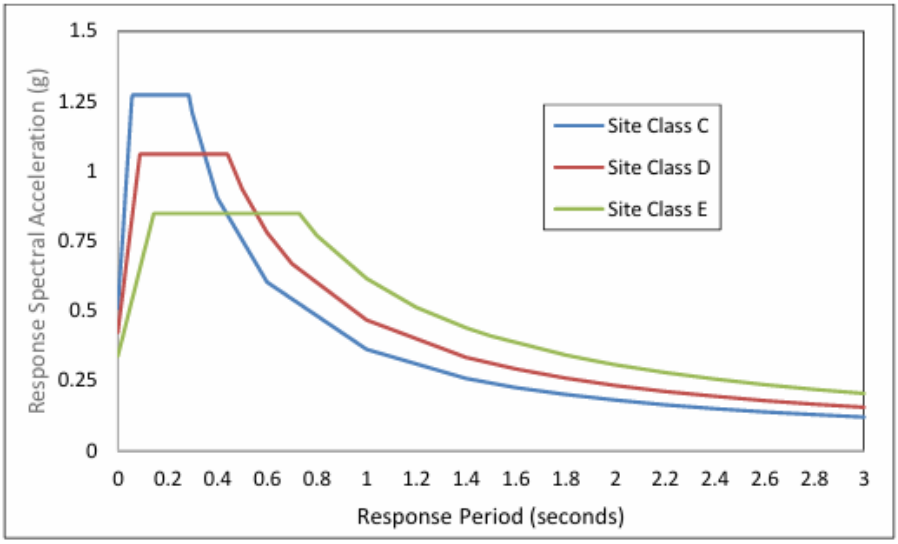
   Untuk perioda yang lebih kecil dari *T0*, maka nilai *Sa* adalah

   Sa = S_{DS} (0,4 + 0,6 $\frac{T}{T0}$) = 1,1 x (0,4 + 0,6 $\frac{0}{0,10}$) = 0,44

   Untuk perioda $T0 \leq T < Ts$, maka nilai *Sa* adalah S_{DS} = 1,1 g

   Untuk perioda $T > Ts$, maka nilai Sa adalah

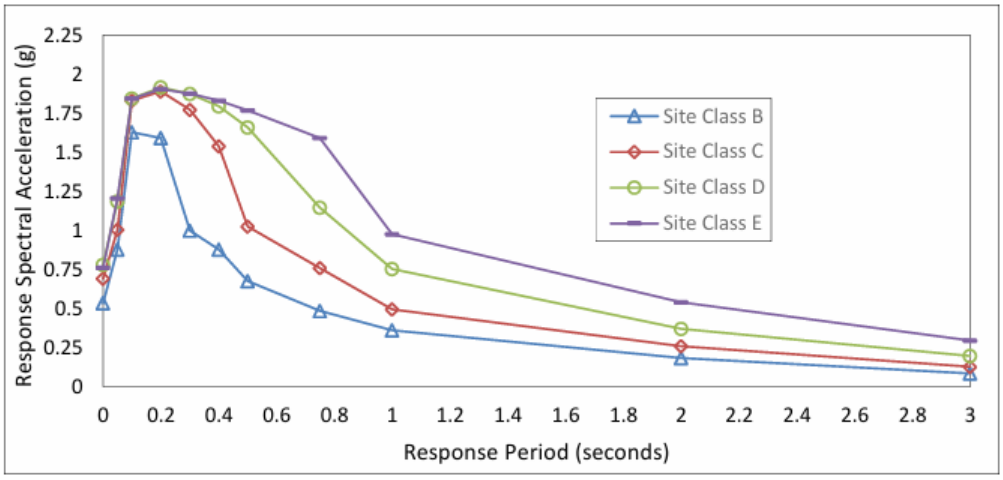
   Sa = $\frac{SD1}{T}$ = $\frac{0,55}{2}$ = 0,275 g.



Gambar 5. 1 *Two Period* Respon Spektrum *Design*

2. Respon spektrum *multi period* mengacu pada hasil penelitian Saputra (2023). Respon spektrum *multi period* yang ditinjau dalam penelitian ini berlokasi di Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Seperti yang telah dijelaskan pada bab III, respon spektrum *multi period* dibentuk berdasarkan hasil spektrum bahaya seragam dari proses analisis PSHA. Jumlah periode respons untuk *multi period* adalah 11 periode respons (0,01 detik, 0,05 detik, 0,1 detik, 0,2 detik, 0,3 detik, 0,4 detik, 0,5 detik, 0,75 detik, 1 detik, 2 detik, dan 3 detik) dengan (5% dari redaman kritis) dengan kemungkinan terlampaui sebesar 2% dalam 50 tahun. Hasil respon spektrum *multi period* di Kabupaten Bantul menunjukkan respon spektrum maksimal terjadi pada tanah lunak dan terendah terjadi pada batuan. Bentuk respon spektrum mempunyai pola yang sama pada semua variasi tanah. Namun jika dilihat lebih detail, peningkatan percepatan spektrum di periode 0,2 – 0,3 detik tidak terlalu signifikan untuk tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak. Namun pada jangka waktu yang lebih lama 0,5 hingga 1 detik, peningkatan spektrum percepatan antar jenis tanah yang terjadi cukup signifikan. Pola ini berbeda dengan respon spektrum *two period* dimana tanah keras hingga tanah lunak kondisinya jauh berbeda. Jadi hasil ini juga

menunjukkan perlunya mengevaluasi kesesuaian koefisien amplifikasi (*Fa*) yang digunakan sebagai faktor pengali dalam merambat percepatan dari batuan ke permukaan tanah. Respon spektrum *multi period* bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. 2 *Multi Period* Respon Spektrum *Design*

Pada beban gempa respon spektrum *multi period* dan *two period* menunjukkan bahwa respon spektrum *multi period* mempunyai percepatan spektrum yang lebih besar dibandingkan *two period*, terutama pada periode yang pendek dan jenis tanah yang lebih lunak. Hal ini dikarenakan adanya ketidaksesuaian antara parameter spektrum percepatan periode pendek (S_{DS}) dan periode panjang (S_{D1}) dalam membentuk respon spektrum *two period*.

5.3 Parameter Seismik

5.3.1 Menentukan kategori desain seismik

Kategori desain seismik ditentukan berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} dengan Kategori resikonya. Berikut dibawah tabel desain seismik berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1}.

Tabel 5. 4 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
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	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

(Sumber:SNI 1726-2019)

Tabel 5. 5 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

(Sumber:SNI 1726-2019)

Berdasarkan Tabel 5.4 dan 5.5, gedung merupakan gedung perkantoran yang masuk kedalam kategori resiko II dan faktor keutamaan gempa adalah 1,0.

Tabel 5. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan nilai S_{DS}

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
S_{DS} < 0.167	A	A
0.167 ≤ S_{D1} < 0,33	B	C
0,33 ≤ S_{DS} < 0,50	C	D
0,50 ≤ S_{Ds}	D	D

(Sumber:SNI 1726-2019)

Berdasarkan tabel dengan nilai S_{DS} = 1,1 dan kategori resiko II maka termasuk kategori resiko D karena S_{DS} lebih besar dari 0,50.

Tabel 5. 7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan nilai S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
S_{D1} < 0.067	A	A
0.067 ≤ S_{D1} < 0,133	B	C
0,133 ≤ S_{D1} < 0,20	C	D
0,20 ≤ S_{D1}	D	D

(Sumber:SNI 1726-2019)

Berdasarkan tabel dengan nilai S_{D1} = 0,55 dan kategori resiko II maka termasuk kategori resiko D karena S_{D1} lebih besar dari 0,20.

5.3.2 Menentukan nilai R, Cd dan Ω0

Sistem penahan gempa gaya seismik yang digunakan adalah sistem rangka pemikul momen. Dengan KDS D yang dimana termasuk kedalam kategori rangka beton bertulang pemikul momen khusus, maka nilai

R = 8

Cd = 5,5

Ω_0 = 3

5.3.3 Menentukan nilai periode fundamental struktur awal

Berdasarkan SNI 1726-2019 untuk nilai periode awal dengan nilai C_t sebagai tipe struktur rangka beton bertulang pemikul momen = 0,0466 dan nilai x = 0,9 maka didapatkan nilai *Ta* adalah

$Ta = C_t \; x \; h_n^x$

$Ta = 0{,}0466 \text{ x } 40^{0,9}$

Ta = 1,289 detik

Tabel 5. 8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{D1}

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, S_{D1}	**Koefisien C_U**
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

(Sumber:SNI 1726-2019)

Untuk nilai S_{D1} = 0,55, didapatkan nilai C_U yang digunakan, maka nilai *Tmax* adalah sebagai berikut ini

Tmax = *Cu* x *Ta*

Cu = 1,4

Tmax = 1,4 x 1,289 = 1,805 detik.

5.4 Perbandingan Gaya Geser Dasar dan Simpangan *Two Period* dan *Multi Period.*

5.4.1 Gaya Geser Dasar

1. Koefisien respon seismik untuk *two period* antara lain

   $C_{S1} = \frac{SDS}{(\frac{R}{I})} = \frac{1,1}{(\frac{8}{1})} = 0,138$

   Untuk $T \leq T_L$

   $C_{Smax} = \frac{SD1}{T(\frac{R}{I})} = \frac{0,55}{1,805(\frac{8}{1})} = 0,0381$

   Untuk $T \geq T_L$

   $C_{Smin} = \frac{SD1\ x\ TL}{T2(\frac{R}{I})} = = \frac{0,55\ x\ 20}{1,805\text{^}2(\frac{8}{1})} = 0,4220$

   C_S harus tidak kurang dari

   C_S = 0,044 x S_{DS} x I ≥ 0,01

   C_S = 0,044 x 1,1 x 1 = 0,049 ≥ 0,01

Berdasarkan perhitungan koefisien respon seismik CS yang digunakan adalah 0,0381. Sehingga gaya geser dasar dapat dihitung sebagai berikut.

V_{Statik} *two period* = CS x W

V_{Statik} *two period* = 0,0381 x 79610,58 kN

V_{Statik} *two period* = 3025,2021 kN

2. Koefisien respon seismik untuk *multi period* antara lain

   $C_{S1} = \frac{SDS}{(\frac{R}{I})} = \frac{1,1}{(\frac{8}{1})} = 0,137$

Untuk $T \leq T_L$

$C_{Smax} = \frac{SD1}{T(\frac{R}{I})} = \frac{0,532}{1,805(\frac{8}{1})} = 0,030$

Untuk $T \geq T_L$

$C_{Smin} = \frac{SD1\ x\ TL}{T2(\frac{R}{I})} = = \frac{0,532\ x\ 20}{1,805\text{^}2(\frac{8}{1})} = 0,408$

C_S harus tidak kurang dari

$C_S = 0,044 \text{ x } S_{DS} \text{ x } I \geq 0,01$

$C_S = 0,044 \text{ x } 1,1 \text{ x } 1 = 0,048 \geq 0,01$

Berdasarkan perhitungan koefisien respon seismik CS yang digunakan adalah 0,030. Sehingga gaya geser statik dapat dihitung sebagai berikut.

V_{Statik} *multi period* = C_S x W

V_{Statik} *multi period* = 0,030 x 79610,585 kN

V_{Statik} *multi period* = 2417,44 kN

Faktor skala gaya baru dinamik *two period*

Skala gaya $V_{dimanik}$ arah X= 1 x $\frac{V\ statik}{V\ dinamik\ Arah\ X}$

= 1 x $\frac{2503,92}{3013,75}$

= 0,831

Skala gaya $V_{dinamik}$ baru arah X = Skala awal x skala gaya baru arah X

= 1,226 x 0,831

= 1,019

Skala gaya $V_{dinamik}$ arah Y = 1 x $\frac{V\ statik}{V\ dinamik\ Arah\ Y}$

= 1 x $\frac{751,18}{1032,56}$

= 0,727

Skala gaya $V_{dinamik}$ baru arah Y = Skala awal x skala gaya baru arah Y

=0,368 x 0,727

= 0,268

Faktor skala gaya baru dinamik *multi period*

Skala gaya $V_{dimanik}$ arah X $= 1 \text{ x } \frac{V\ statik}{V\ dinamik\ Arah\ X}$

$= 1 \text{ x } \frac{2417,44}{4226,87}$

$= 0,572$

Skala gaya $V_{dinamik}$ baru arah X = Skala awal x skala gaya baru arah X

$= 1,226 \text{ x } 0,572$

$= 0,701$

Skala gaya $V_{dinamik}$ arah Y $= 1 \text{ x } \frac{V\ statik}{V\ dinamik\ Arah\ Y}$

$= 1 \text{ x } \frac{725,23}{1334,538}$

$= 0,543$

Skala gaya $V_{dinamik}$ baru arah Y = Skala awal x skala gaya baru arah Y

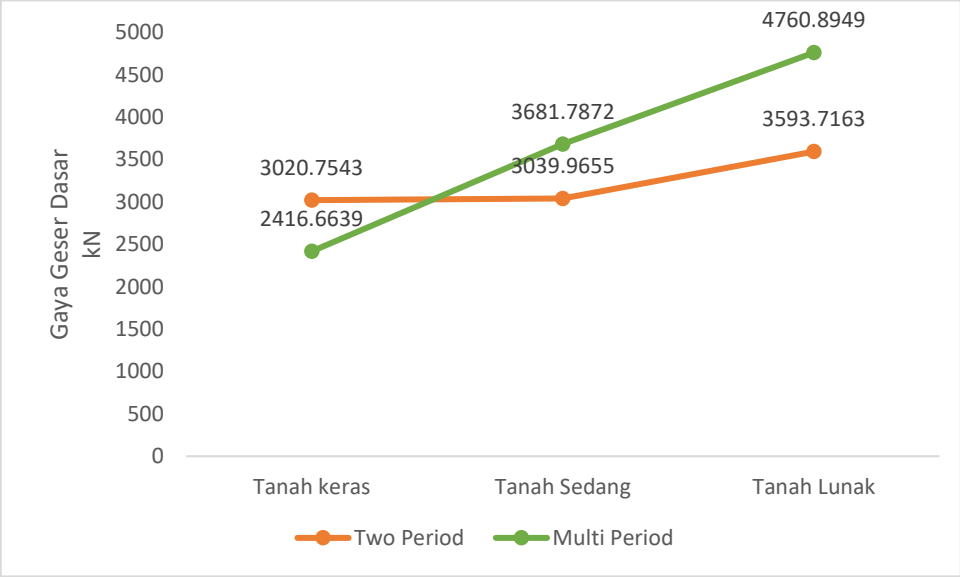
$=0,368 \text{ x } 0,543$

$= 0,200$

Berdasarkan analisis menggunakan *software* ETABS, didapatkan hasil gaya geser *two period* dan *multi period.* Perbandingan gaya geser dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. 9 Gaya Geser Dasar

	Klasifikasi Tanah	**Jumlah Lantai**	***Two Period* (kN)**	***Multi Period* (kN)**
Base Shear	Tanah Keras	10 Lantai	3020.7543	2416.6639
	Tanah Sedang		3039.9655	3681.7872
	Tanah Lunak		3593.7163	4760.8949



Gambar 5. 3 Perbandingan Gaya Geser Dasar *Two Period* dan *Multi Period* Berdasarkan Jenis Tanah

Berdasarkan hasil analisis pada tanah keras, gaya geser dasar untuk *two period* sebesar 3020.7543 kN lebih besar dibandingkan dengan *multi period* yang hanya sebesar 2416.6639 kN. Hal ini menunjukkan bahwa dalam analisis *multi period*, gaya geser dasar berkurang secara signifikan untuk tanah keras. Pada tanah sedang, gaya geser dasar untuk *two period* adalah 3039.9655 kN, sedangkan untuk *multi period* meningkat menjadi 3681.7872 kN. Ini menunjukkan bahwa untuk tanah sedang, analisis *multi period* menghasilkan gaya geser yang lebih tinggi. Untuk tanah lunak, gaya geser dasar *two period* adalah 3593.7163 kN dan meningkat secara signifikan menjadi 4760.8949 kN dalam analisis *multi period*. Tanah lunak menunjukkan perbedaan yang paling besar antara *two period* dan *multi period*. Hal ini karena sifat tanah lunak yang lebih fleksibel dan lebih rentan terhadap pengaruh beban yang lebih besar ketika dianalisis dalam *multi period.*

Pada tanah keras, analisis *multi period* menghasilkan gaya geser dasar yang lebih rendah dibandingkan *two periode*. Pada tanah sedang dan tanah lunak, analisis

multi period menghasilkan gaya geser dasar yang lebih tinggi dibandingkan *two period*, dengan peningkatan yang lebih signifikan pada tanah lunak.

Perbedaan ini menunjukkan pentingnya mempertimbangkan karakteristik tanah dalam analisis seismik dan perlunya menggunakan pendekatan analisis *multi period* untuk mendapatkan nilai yang lebih akurat terhadap gaya geser dasar terutama pada tanah yang tidak keras. Analisis *two period* kurang memadai untuk menangkap kompleksitas dinamika tanah sedang dan lunak yang dapat mempengaruhi desain struktur bangunan.

5.4.2 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai dihitung menggunakan hasil analisis dengan ETABS pada displacement joint arah x dan y. hasil pertama dari analisis menggunakan ETABS berupa simpangan elastis, yang kemudian diubah ke inelastic dengan mengalikan faktor *Cd* dan *I*. Setelah dihitung simpangan antar lantai berdasarkan SNI 2019 dapat dilihat dibawah ini.

$\delta e\ Eqx = 1.138$ mm

$\delta\ Eqx = \frac{Cd \times \delta e\ Eqx}{Ie}$

$= \frac{5{,}5 \times 1{,}138}{1} = 6.26$ mm

$\Delta x = \delta\ Eqx\ 1 - dasar$

$= 6{,}26 - 0 = 6{,}26$ mm

$\Delta a = 0{,}02 \times H = 0{,}22 \times 4000 = 80$ mm.

Nilai $\Delta x < \Delta a$ yaitu 6,26 mm < 80 mm sehingga berdasarkan nilai control simpangan ijin, maka simpangan masuk kedalam kategori AMAN. Berikut ini adalah contoh hasil perhitungan simpangan antar lantai *two period* dan *multi period* pada tanah keras.

Tabel 5. 10 Hasil Perhitungan Simpangan Antar Lantai Tanah Keras 10 Lantai *Two Period*

Lantai	H mm	δe Eqx mm	δ Eqx mm	Δx mm	Δa mm
10	4000	13,049	71,77	2,57	80,00
9	4000	12,582	69,20	4,01	80,00
8	4000	11,853	65,19	5,42	80,00
7	4000	10,868	59,77	6,66	80,00
6	4000	9,658	53,12	7,76	80,00
5	4000	8,248	45,36	8,78	80,00
4	4000	6,652	36,59	9,71	80,00
3	4000	4,886	26,87	10,41	80,00
2	4000	2,993	16,46	10,20	80,00
1	4000	1,138	6,26	6,26	80,00

Tabel 5. 11 Hasil Perhitungan Simpangan Antar Lantai Tanah Keras 10 Lantai *Multi Period*

Lantai	H mm	δe Eqx mm	δ Eqx mm	Δx mm	Δa mm
10	4000	13,05	71,78	2,47	80,00
9	4000	12,601	69,31	3,92	80,00

Lanjutan Tabel 5. 11 Hasil Perhitungan Simpangan Antar Lantai Tanah Keras 10 Lantai *Multi Period*

8	4000	11,888	65,38	5,41	80,00
7	4000	10,904	59,97	6,75	8000
6	4000	9,676	53,22	7,95	80,00
5	4000	8,23	45,27	8,99	80,00
4	4000	6,595	36,27	9,85	80,00
3	4000	4,805	26,43	10,38	80,00
2	4000	2,918	16,05	9,99	80,00
1	4000	1,102	6,06	6,06	80,00

Berdasarkan contoh hasil perhitungan simpangan pada *two period* dan *multi period* pada tanah keras diatas didapatkan adanya perbedaan nilai simpangan pada masing-masing lantai antara *two period* dan *multi* period.

Untuk lebih jelasnya berikut hasil perbandingan simpangan antar lantai *two period* dan *multi period*, dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Perbandingan Simpangan *Two period* dan *Multi Period* Tanah Keras 10 Lantai

	Klasifikasi Tanah	**Jumlah Lantai**	***Two Period* (mm)**	***Multi Period* (mm)**
Simpangan	Tanah Keras	10	13,049	13,05
		9	12,582	12,601
		8	11,853	11,888

Lanjutan Tabel 5. 12 Rekapitulasi Perbandingan Simpangan *Two period* dan *Multi Period* Tanah Keras 10 Lantai

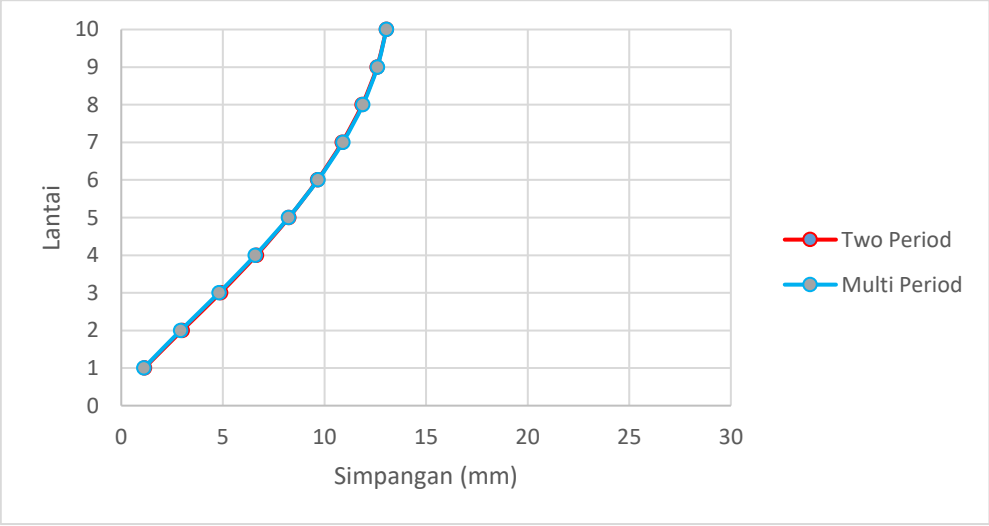
	Klasifikasi Tanah	**Jumlah Lantai**	***Two Period* (mm)**	***Multi Period* (mm)**
Simpangan	Tanah Keras	7	10,868	10,904
		6	9,658	9,676
		5	8,248	8,23
		4	6,652	6,595
		3	4,886	4,805
		2	2,993	2,918
		1	1,138	1,102

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Perbandingan Simpangan *Two period* dan *Multi Period* Tanah Sedang 10 Lantai

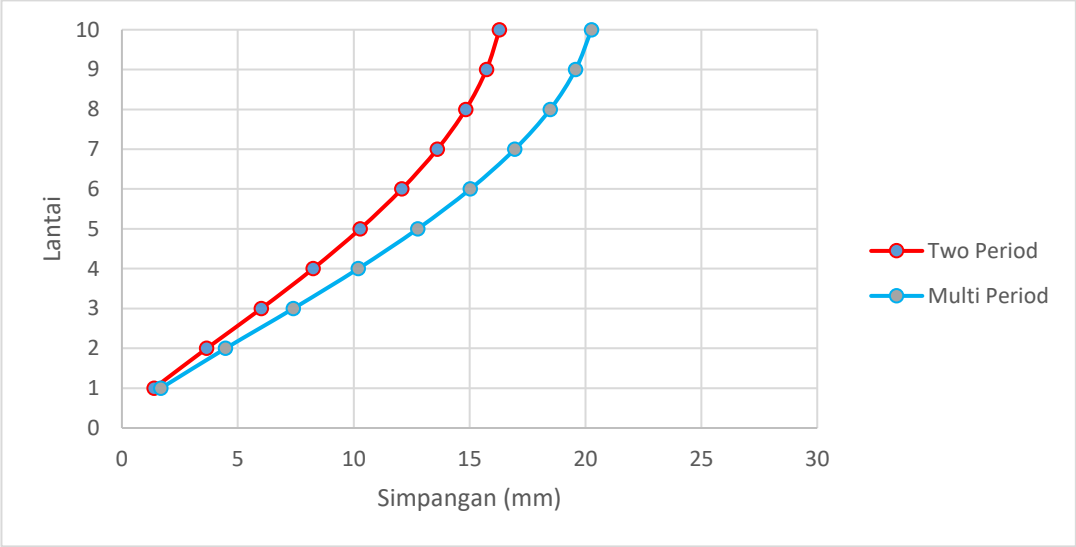
	Klasifikasi Tanah	**Jumlah Lantai**	***Two Period* (mm)**	***Multi Period* (mm)**
Simpangan	Tanah Sedang	10	16,293	20,257
		9	15,729	19,573
		8	14,836	18,479
		7	13,607	16,954
		6	12,077	15,033
		5	10,28	12,762
		4	8,247	10,195
		3	6,017	7,399
		2	3,659	4,476
		1	1,384	1,685

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Perbandingan Simpangan *Two period* dan *Multi Period* Tanah Lunak 10 Lantai

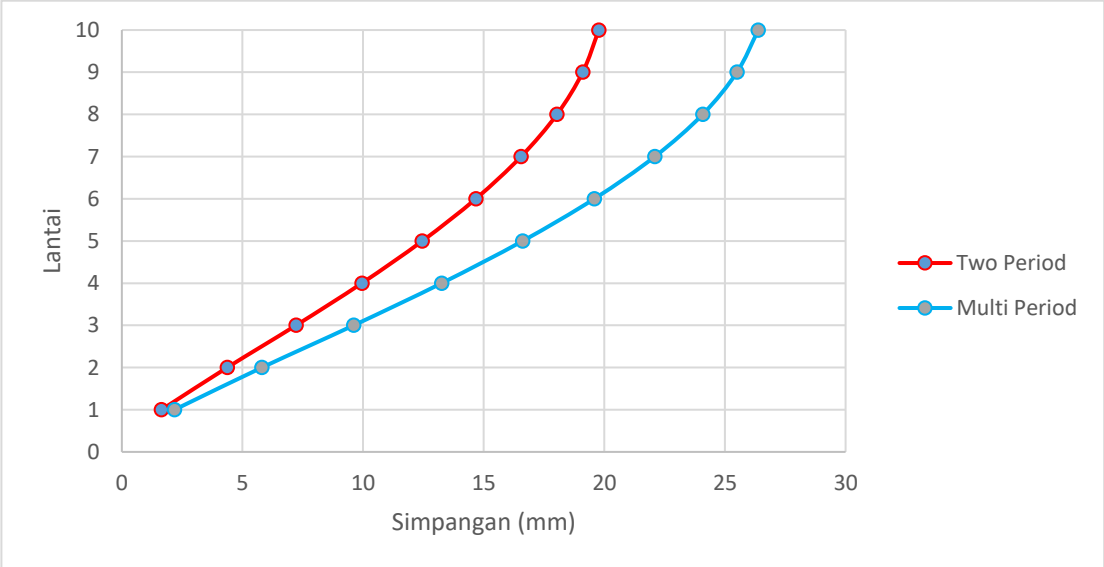
	Klasifikasi Tanah	Jumlah Lantai	*Two Period* (mm)	*Multi Period* (mm)
Simpangan	Tanah Lunak	10	19,77	26,382
		9	19,103	25,496
		8	18,035	24,076
		7	16,547	22,091
		6	14,672	19,583
		5	12,455	16,614
		4	9,95	13,26
		3	7,22	9,61
		2	4,368	5,806
		1	1,645	2,184



Gambar 5. 4 Perbandingan Simpangan *Two Period* dan *Multi Period* Tanah Keras 10 Lantai



Gambar 5. 5 Perbandingan Simpangan *Two Period* dan *Multi Period* Tanah Sedang 10 Lantai



Gambar 5. 6 Perbandingan Simpangan *Two Period* dan *Multi Period* Tanah Lunak 10 Lantai

Berdasarkan hasil perhitungan simpangan antar lantai didapatkan bahwa pada tanah keras nilai simpangan *two period* dan *multi period* relatif serupa dengan sedikit perbedaan. Pada beberapa lantai, nilai simpangan *multi period* sedikit lebih besar, sementara pada lantai lainnya, nilai simpangan *multi period* sedikit lebih kecil. Pengaruh penerapan percepatan respon spektrum *multi period* tidak terlalu signifikan pada tanah keras, sehingga kedua metode memberikan hasil yang hampir serupa. Perbedaan nilai simpangan antara *two period dan multi period* umumnya kurang dari 1%.

Pada tanah sedang nilai simpangan pada *multi period* lebih besar dibandingkan dengan t*wo period* untuk semua lantai. Peningkatan signifikan terlihat, terutama pada jumlah lantai yang lebih tinggi. Tanah sedang menunjukkan pengaruh dinamis yang lebih besar yang ditangkap oleh analisis *multi period*. Hal ini menyebabkan simpangan yang lebih besar dibandingkan dengan *two period*. Persentase perbedaan ini berkisar antara 15-25%.

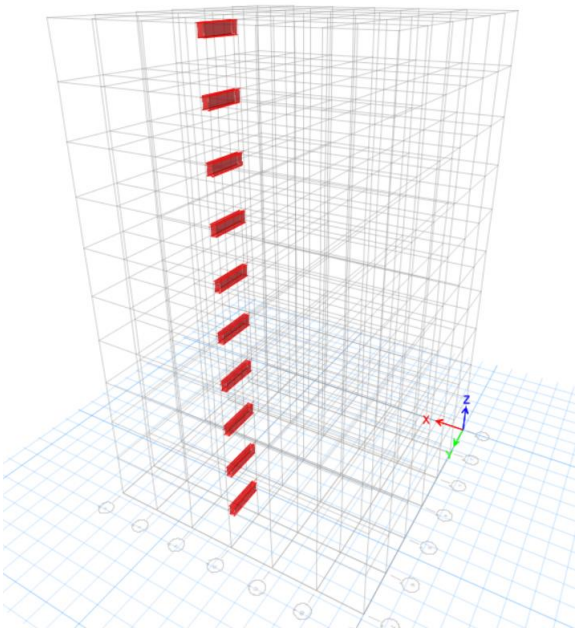
Sama seperti tanah sedang, pada tanah lunak nilai simpangan pada *multi period* lebih besar dibandingkan dengan *two period*. Peningkatan signifikan terlihat di semua lantai, dengan perbedaan yang lebih mencolok dibandingkan tanah sedang. Persentase perbedaan ini berkisar antara 25-35%.

Nilai simpangan terbesar pada tanah lunak, semakin lunak tanah maka semakin besar nilai simpangan yang terjadi. Tanah lunak sangat dipengaruhi oleh efek dinamis yang kompleks, yang ditangkap dengan lebih akurat oleh analisis *multi period*. Oleh karena itu, *multi period* menghasilkan simpangan yang jauh lebih besar.

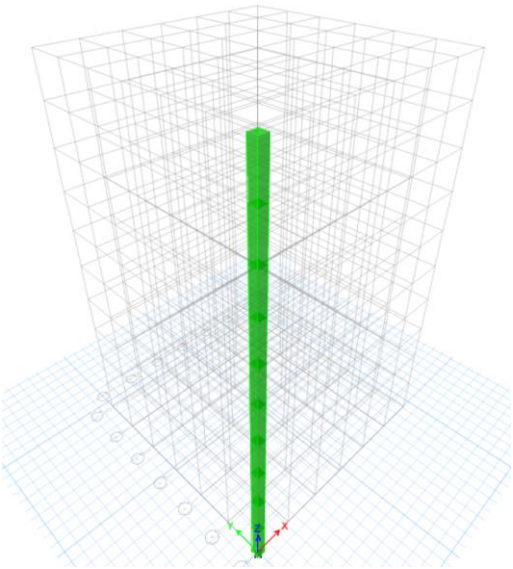
5.5 Perbandingan Gaya-Gaya Dalam

Gaya dalam yang terjadi pada struktur merupakan gaya yang terjadi didalam balok dan kolom agar terjadi kesetimbangan dalam struktur ketika diberi muatan atau beban luar dan reaksi perletakan atau disebut juga gaya luar. Gaya dalam yang dihitung menggunakan hasil analisis menggunakan ETABS pada *element output* meliputi gaya yang tegak lurus dengan sumbu batang dan momen yang searah atau sejajar sumbu

batang. Gaya yang ditinjau adalah balok B147 yang merupakan balok bagian depan struktur dan kolom C59 yang merupakan kolom bagian terdepan struktur gedung tiap lantai. Balok B147 dan kolom C59 dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. 7 Balok B147 pada Struktur Tiap Lantai



Gambar 5. 8 Kolom C59 Pada Struktur Tiap Lantai

5.5.1 Perbandingan Gaya Dalam Pada Balok

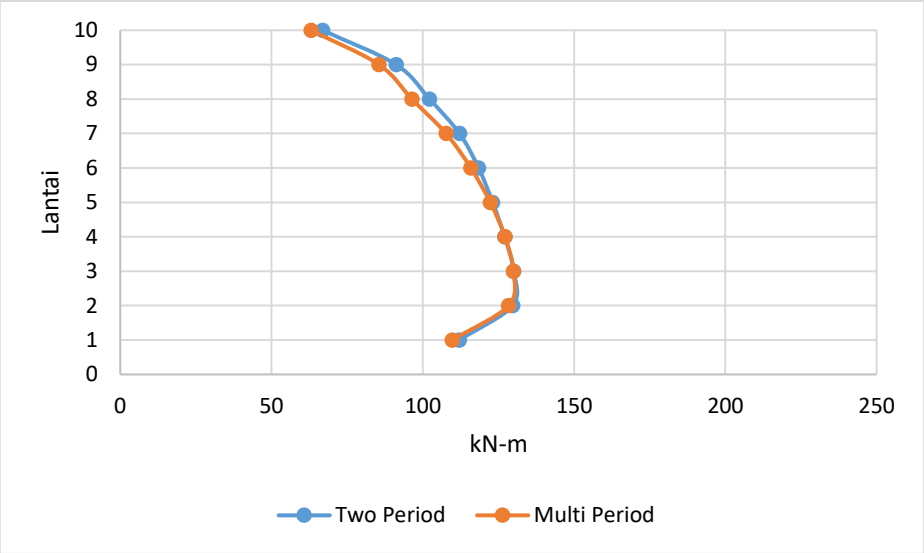
Gaya dalam yang diambil adalah momen lentur dan gaya geser yang terjadi pada balok.

1. Momen lentur balok
   a. Tanah keras

      Momen lentur *two period* dan *multi period* pada tanah keras dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. 15 Momen Lentur Balok Tanah Keras *Two Period* dan *Multi Period*

Lantai	Momen Lentur *Two period* (kN-m)	Momen Lentur *Multi Period* (kN-m)
10	66,8777	63,0689
9	91,2012	85,5499
8	102,2279	96,3996
7	112,1374	107,679
6	118,431	115,8708
5	123,1005	122,2918
4	127,0637	127,1571
3	130,0622	129,9528
2	129,6667	128,3479
1	112,069	109,7424



Gambar 5. 9 Grafik Perbandingan Momen Lentur Tanah Keras *Two Period* dan *Multi Period*

Berdasarkan grafik momen lentur diatas menunjukan pada tanah keras *two period* nilai momen lentur bervariasi dari 66,8777 kN-m di lantai 10 hingga 112,069 kN-m di lantai 1. Pada *multi period* nilai momen lentur bervariasi dari 63,0689 kN-m di lantai 10 hingga 109,7424 kN-m di lantai 1.

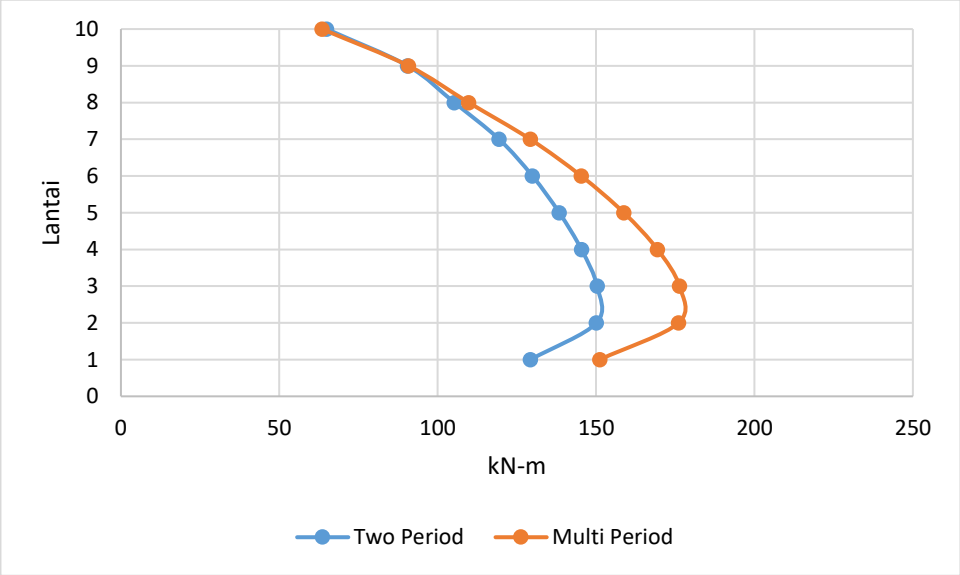
Nilai momen lentur *two period* dan *multi period* menunjukan pola yang mirip tetapi pada tanah keras ini nilai momen lentur *two period* sedikit lebih besar dibandingkan *multi period.*

b. Tanah sedang

Momen lentur *two period* dan *multi period* pada tanah sedang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. 16 Momen Lentur Balok Tanah Sedang *Two Period* dan *Multi Period*

Lantai	Momen Lentur *Two period* (kN-m)	Momen Lentur *Multi Period* (kN-m)
10	64,9462	63,5004
9	90,4919	90,7384
8	105,2237	109,7595
7	119,3796	129,2134
6	129,8962	145,299
5	138,3787	158,7638
4	145,3721	169,3843
3	150,3199	176,3036
2	150,1141	176,0203
1	129,2968	151,139



Gambar 5. 10 Grafik Perbandingan Momen Lentur Tanah Sedang *Two Period* dan *Multi Period*

Pada tanah sedang *two period* nilai momen lentur bervariasi dari 64,9462 kN-m di lantai 10 hingga 129,2968 kN-m di lantai 1. Pada *multi period* nilai momen lentur bervariasi dari 63,5004 kN-m di lantai 10 hingga 151,139 kN-m di lantai 1.

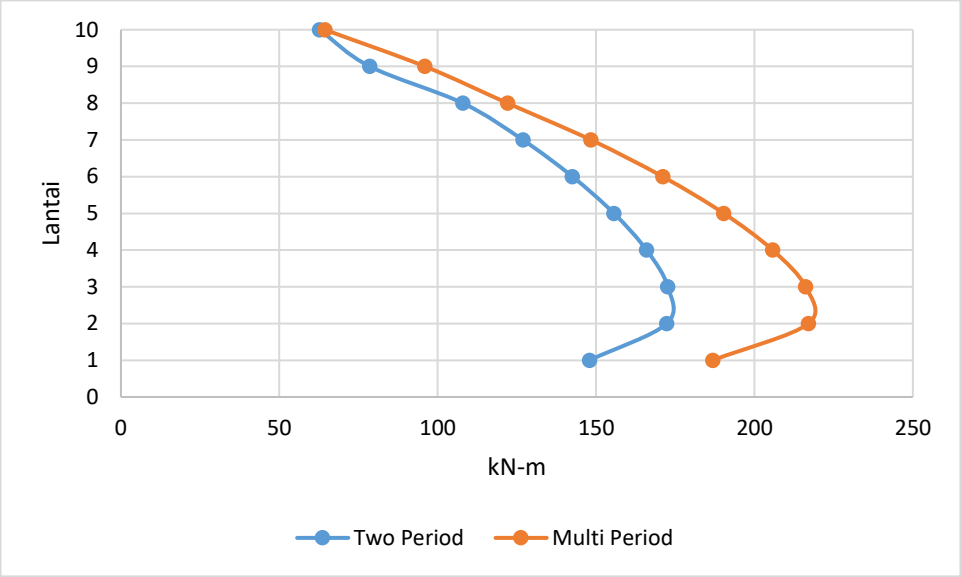
Nilai momen lentur *two period* dan *multi period* menunjukan pola yang mirip, tetapi pada tanah sedang ini nilai momen lentur *multi period lebih besar* dibandingkan *two period*.

c. Tanah lunak

Momen lentur *two period* dan *multi period* pada tanah sedang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. 17 Momen Lentur Balok Tanah Lunak *Two Period* dan *Multi Period*

Lantai	**Momen Lentur *Two period* (kN-m)**	**Momen Lentur *Multi Period* (kN-m)**
10	62,6874	64,3594
9	78,5584	95,972
8	107,9316	122,0415
7	126,8899	148,3934
6	142,5409	171,0291
5	155,6311	190,3084
4	165,9437	205,7237
3	172,6402	216,1508
2	172,3044	217,0575
1	147,9216	186,8376



Gambar 5. 11 Grafik Perbandingan Momen Lentur Tanah Lunak *Two Period* dan *Multi Period*

Pada tanah lunak *two period* nilai momen lentur bervariasi dari 62,6874 kN-m di lantai 10 hingga 147,9216 kN-m di lantai 1. Pada *multi period* nilai momen lentur bervariasi dari 64,3594 kN-m di lantai 10 hingga 186,8376 kN-m di lantai 1.

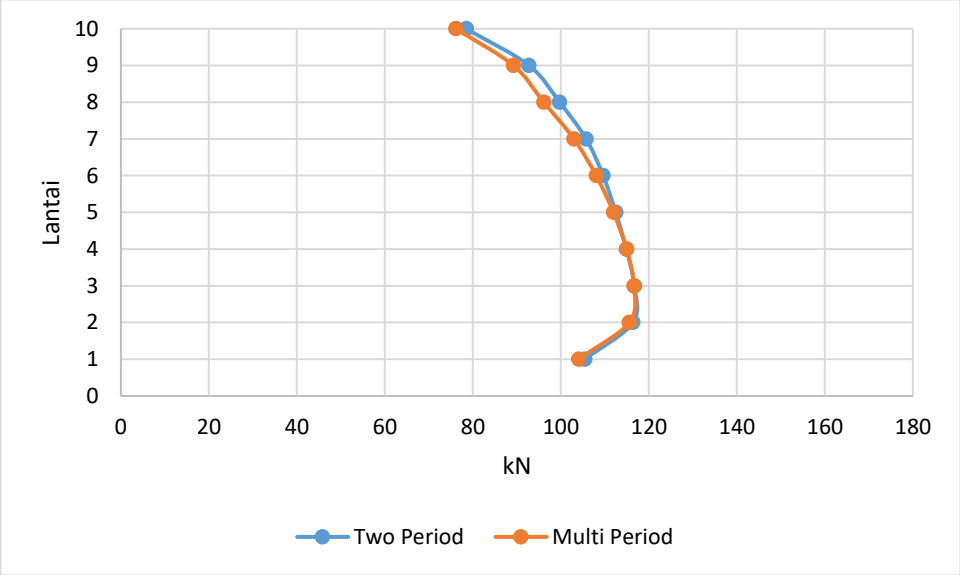
Nilai momen lentur *two period* dan *multi period* menunjukan pola yang mirip, tetapi pada tanah lunak ini nilai momen lentur terdapat selisih yang signifikan terutama pada lantai bawah.

2. Gaya geser balok
    a. Tanah keras

        Gaya geser *two period* dan *multi period* pada tanah keras dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. 18 Gaya Geser Balok Tanah Keras *Two Period* dan *Multi Period*

Lantai	Gaya Geser *Two period* (kN)	Gaya Geser *Multi Period* (kN)
10	78,4862	76,1454
9	92,732	89,2202
8	99,7011	96,0981
7	105,7269	102,973
6	109,5973	108,0199
5	112,4489	111,9526
4	114,8658	114,9254
3	116,689	116,6217
2	116,3669	115,5532
1	105,455	104,0305



Gambar 5. 12 Grafik Perbandingan Gaya Geser Tanah Keras *Two Period* dan *Multi Period*

Berdasarkan grafik diatas, pada tanah keras *two period* nilai gaya geser bervariasi dari 78,4862kN di lantai 10 hingga 105,455 kN di lantai 1. Pada *multi period* nilai gaya geser bervariasi dari 76,1454 kN di lantai 10 hingga 104,0305 kN di lantai 1.

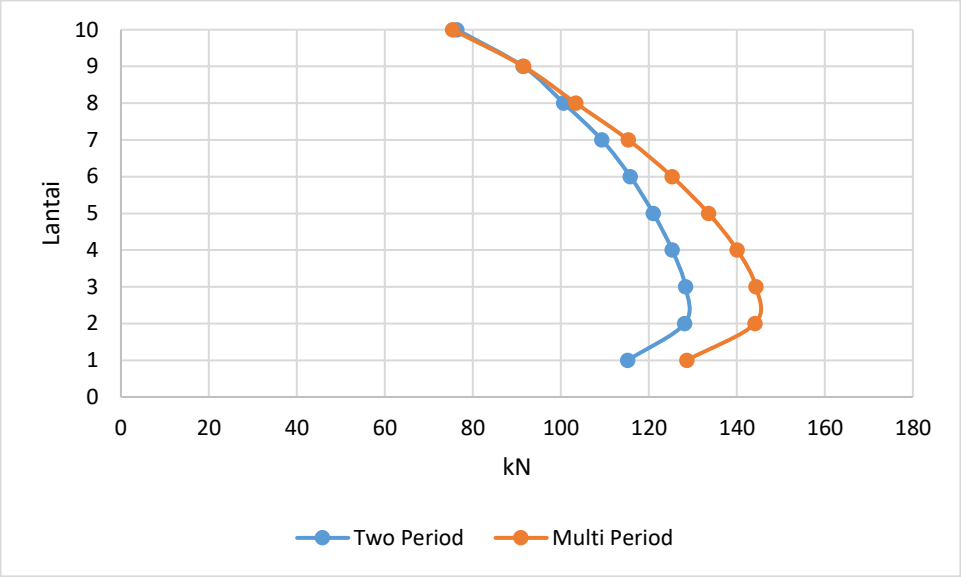
Gaya geser *two period* dan *multi period* menunjukan pola yang sama, dimana cenderung menunjukan gaya geser yang lebih rendah dilantai atas dan meningkat ke lantai bawah. Tetapi pada tanah keras nilai gaya geser *two period* sedikit lebih besar dibandingkan *multi period.*

b. Tanah sedang

Gaya geser *two period* dan *multi period* pada tanah sedang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. 19 Gaya Geser Balok Tanah Sedang *Two Period* dan *Multi Period*

Lantai	**Gaya Geser *Two period* (kN)**	**Gaya Geser *Multi Period* (kN)**
10	76,3723	75,3966
9	91,4119	91,5156
8	100,6553	103,4043
7	109,31	115,3383
6	115,7905	125,2609
5	120,9992	133,5484
4	125,2913	140,0841
3	128,3201	144,3326
2	128,1301	144,1099
1	115,1927	128,6204



Gambar 5. 13 Grafik Perbandingan Gaya Geser Tanah Sedang *Two Period* dan *Multi Period*

Pada tanah sedang *two period* nilai gaya geser bervariasi dari 76,3723 kN di lantai 10 hingga 115,1927 kN di lantai 1. Pada *multi period* nilai gaya geser bervariasi dari 75,3966 kN di lantai 10 hingga 128,6204 kN di lantai 1.

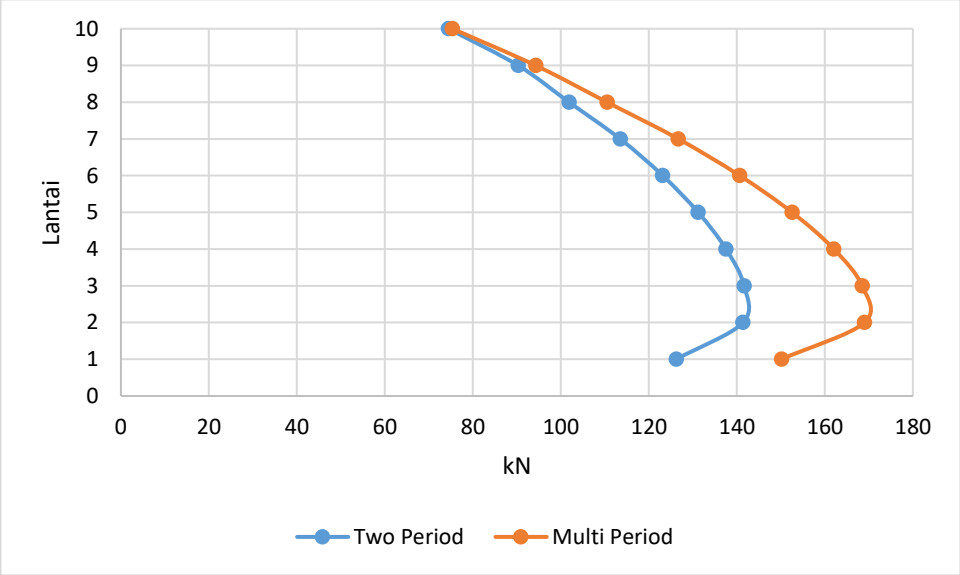
Gaya geser *two period* dan *multi period* menunjukan pola yang sama, dimana cenderung menunjukan gaya geser yang lebih rendah dilantai atas dan meningkat ke lantai bawah. Tetapi pada tanah sedang nilai gaya geser *two period* dan *multi period* hampir sama di lantai 10 dan 9, tetapi di lantai bawah nilai gaya geser *multi period* lebih besar dibandingkan *two period.*

c. Tanah lunak

   Gaya geser *two period* dan *multi period* pada tanah lunak dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. 20 Gaya Geser Balok Tanah Lunak *Two Period* dan *Multi Period*

Lantai	Gaya Geser *Two period* (kN)	Gaya Geser *Multi Period* (kN)
10	74,4679	75,3554
9	90,2782	94,2721
8	101,8527	110,4859
7	113,4813	126,6886
6	123,1356	140,6568
5	131,192	152,5389
4	137,5375	162,0429
3	141,6485	168,4621
2	141,393	168,9985
1	126,216	150,1348



Gambar 5. 14 Grafik Perbandingan Gaya Geser Tanah Lunak *Two Period* dan *Multi Period*

Pada tanah lunak *two period* nilai gaya geser bervariasi dari 74,4679 kN di lantai 10 hin gga 126,216 kN di lantai 1. Pada *multi period* nilai gaya geser bervariasi dari 75,3544 kN di lantai 10 hingga 150,1348 kN di lantai 1.

Gaya geser *two period* dan *multi period* menunjukan pola yang sama, dimana cenderung menunjukan gaya geser yang lebih rendah dilantai atas dan meningkat ke lantai bawah. Pada tanah lunak ini nilai gaya geser *multi period* lebih besar dibandingkan *two period* terutama di lantai bawah.

5.5.2 Perbandingan Gaya Dalam Pada Kolom

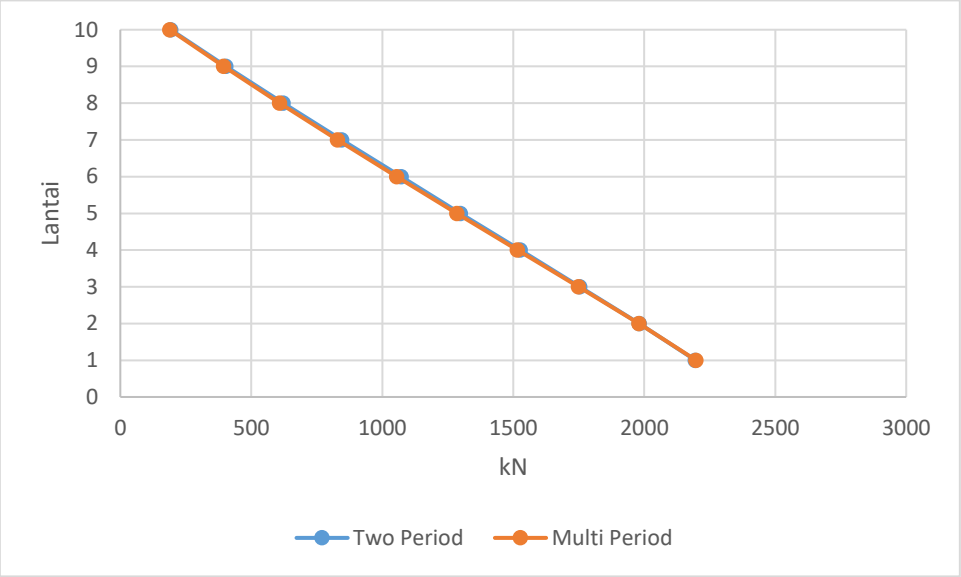
Gaya dalam yang diambil adalah gaya aksial yang terjadi pada kolom

1. Gaya aksial kolom
   a. Tanah keras

      Gaya aksial *two period* dan *multi period* pada tanah keras dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. 21 Gaya Aksial Kolom Tanah Keras *Two Period* dan *Multi Period*

Lantai	Gaya Aksial *Two period* (kN)	Gaya Aksial *Multi Period* (kN)
10	192,4116	188,9234
9	403,3646	394,6473
8	621,8492	608,1755
7	845,7756	829,2064
6	1071,962	1055,187
5	1299,039	1284,644
4	1526,506	1516,41
3	1754,221	1749,231
2	1980,8	1980,338
1	2195,64	2197,91



Gambar 5. 15 Grafik Perbandingan Gaya Aksial Tanah Keras *Two Period* dan *Multi Period*

Pada tanah keras *two period* nilai gaya aksial bervariasi dari 192.4116 kN di lantai 10 hingga 2195.64 kN di lantai 1. pada *multi period* nilai gaya aksial bervariasi dari 188.9234 kN di lantai 10 hingga 2197.91 kN di lantai 1.

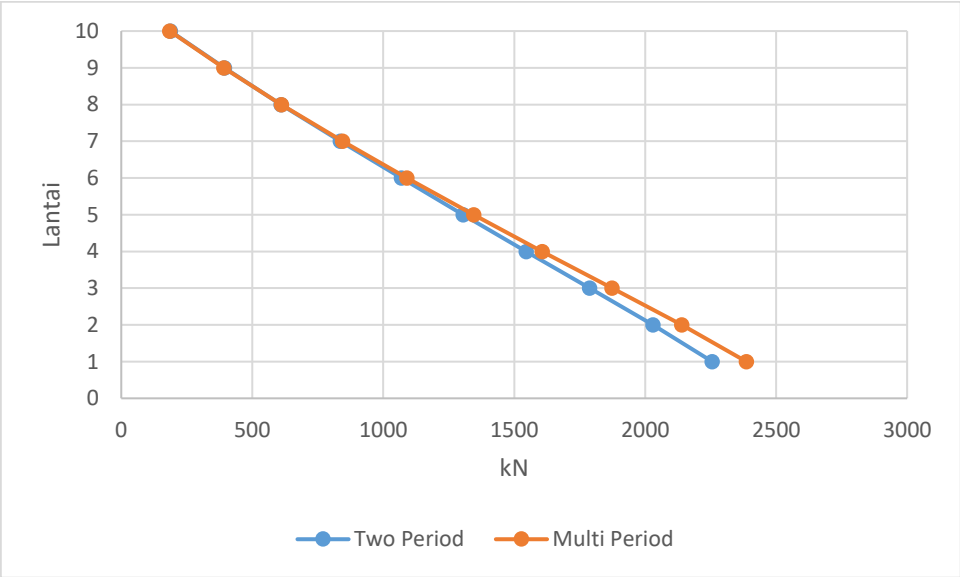
Berdasarkan grafik gaya aksial diatas menunjukan bawah pada tanah keras nilai gaya aksial *two period* sedikit lebih besar dibandingkan *multi period* pada lantai 10 hingga lantai 2, tetapi pada lantai 1 gaya aksial *multi period* sedikit lebih besar dibandingkan *two period.*

b. Tanah sedang

Gaya aksial *two period* dan *multi period* pada tanah sedang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. 22 Gaya Aksial Kolom Tanah Sedang *Two Period* dan *Multi Period*

Lantai	Gaya Aksial *Two period* (kN)	Gaya Aksial *Multi Period* (kN)
10	186,9489	185,3656
9	393,3093	391,1913
8	610,2848	611,1363
7	836,5521	845,1383
6	1068,922	1090,504
5	1305,615	1345,185
4	1545,53	1607,06
3	1787,666	1873,499
2	2029,124	2139,349
1	2255,893	2386,359



Gambar 5. 16 Grafik Perbandingan Gaya Aksial Tanah Sedang *Two Period* dan *Multi Period*

Pada tanah sedang *two period* nilai gaya aksial bervariasi dari 186.9489 kN di lantai 10 hingga 2255.893 kN di lantai 1. Pada *multi period* nilai gaya aksial bervariasi dari 185.3656 kN di lantai 10 hingga 2386.359 kN di lantai 1.

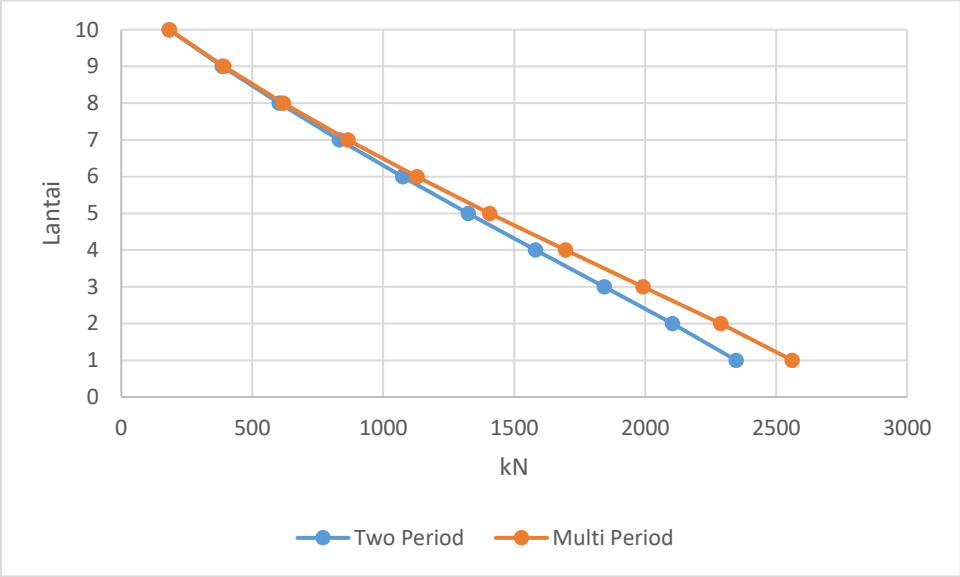
Berdasarkan grafik gaya aksial diatas menunjukan bawah pada tanah sedang nilai gaya aksial *two period* sedikit lebih besar dibandingkan *multi period* pada lantai 10 dan 9, tetapi pada lantai yang lebih rendah gaya aksial *multi period* lebih besar dibandingkan *two period.*

c. Tanah lunak

   Gaya aksial *two period* dan *multi period* pada tanah lunak dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. 23 Gaya Aksial Kolom Tanah Lunak *Two Period* dan *Multi Period*

Lantai	**Gaya Aksial *Two period* (kN)**	**Gaya Aksial *Multi Period* (kN)**
10	182,8199	183,8942
9	385,6904	391,6592
8	602,2817	619,0263
7	832,5515	865,9496
6	107,863	1129,482
5	1324,215	1407,026
4	1581,535	1695,667
3	1843,252	1991,695
2	2104,339	2288,065
1	2346,978	2561,186



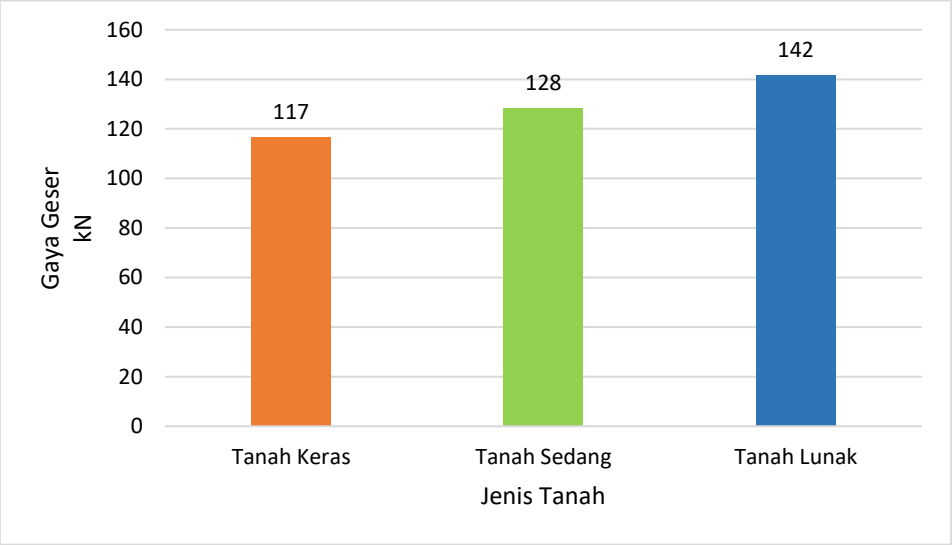
Gambar 5. 17 Grafik Perbandingan Gaya Aksial Tanah Lunak *Two Period* dan *Multi Period*

Pada tanah lunak *two period* nilai gaya aksial bervariasi dari 182.8199 kN di lantai 10 hingga 2346.978 kN di lantai 1. Pada *multi preriod* nilai gaya aksial bervariasi dari 183.8942 kN di lantai 10 hingga 2561.186 kN di lantai 1.

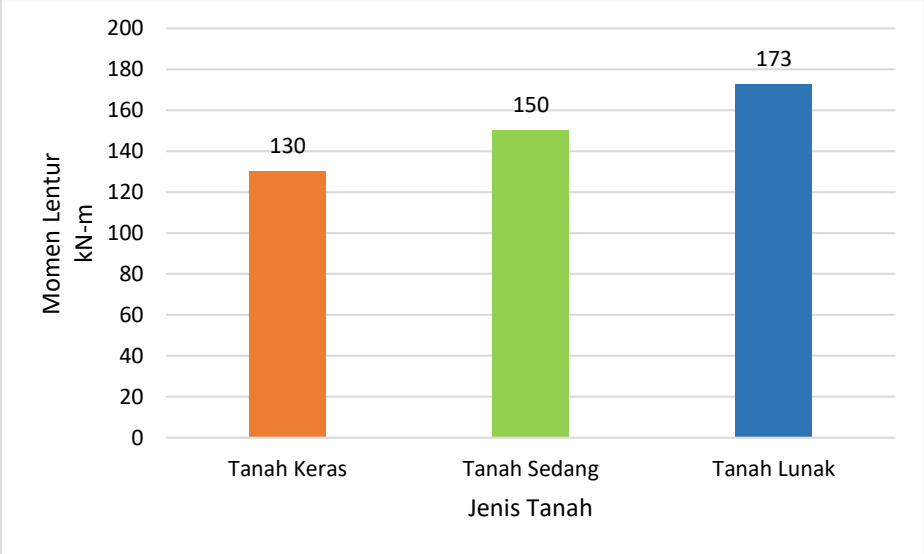
Berdasarkan grafik gaya aksial diatas menunjukan bawah pada tanah lunak nilai gaya aksial *multi period* lebih besar dibandingkan *two period* di semua lantai. Terlihat perbedaan gaya aksial yang signifikan pada tanah lunak terutama pada lantai yang lebih rendah. Gaya aksial kolom terbesar ada pada tanah lunak pada *multi period*. Perbedaan gaya aksial pada tanah keras sekitar 0,7 %, pada tanah lunak sekitar 3,78%, sedangkan tanah lunak sekitar 7%.

5.6 Hubungan Antara Gaya Dalam dan Jenis Tanah

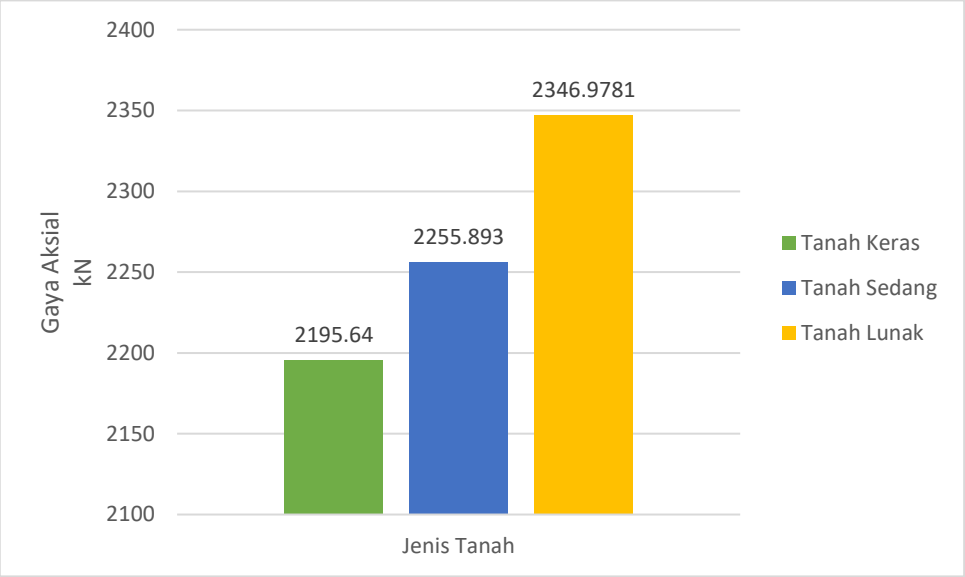
Dibawah ini merupakan grafik hubungan antara gaya dalam maksimum yang terjadi dengan jenis tanah berdasarkan percepatan respon spektrum *two period* dan *multi period*.



Gambar 5. 18 Hubungan Gaya Geser dengan Jenis Tanah *Two Period*



Gambar 5. 19 Hubungan Momen Lentur Balok dengan Jenis Tanah *Two Period*



Gambar 5. 20 Hubungan Gaya Aksial Kolom dengan Jenis Tanah *Two Period*

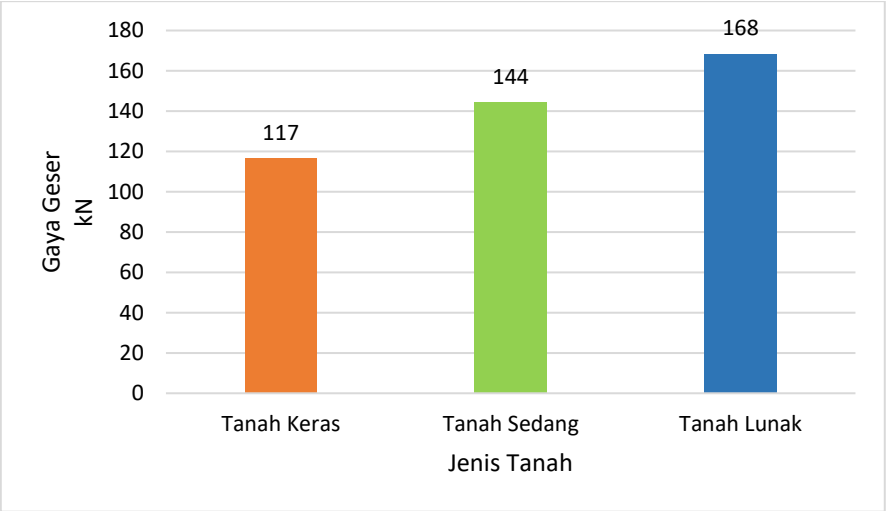
Pada tanah keras nilai gaya geser maksimum terjadi pada lantai 3 yaitu 116,689 kN, pada tanah sedang nilai gaya geser maksimum terjadi pada lantai 3 yaitu 128,3201 kN, sedangkan pada tanah lunak nilai gaya geser maksimum terjadi pada lantai 3 yaitu 141,6485 kN.

Nilai momen lentur maksimum yang terjadi pada tanah keras terjadi pada lantai 3 yaitu 130,0622 kN-m, pada tanah sedang nilai momen lentur maksimum terjadi pada lantai 3 yaitu 150,3199 kN-m, sedangkan pada tanah lunak nilai momen maksimum terjadi pada lantai 3 yaitu 172,6402 kN-m.

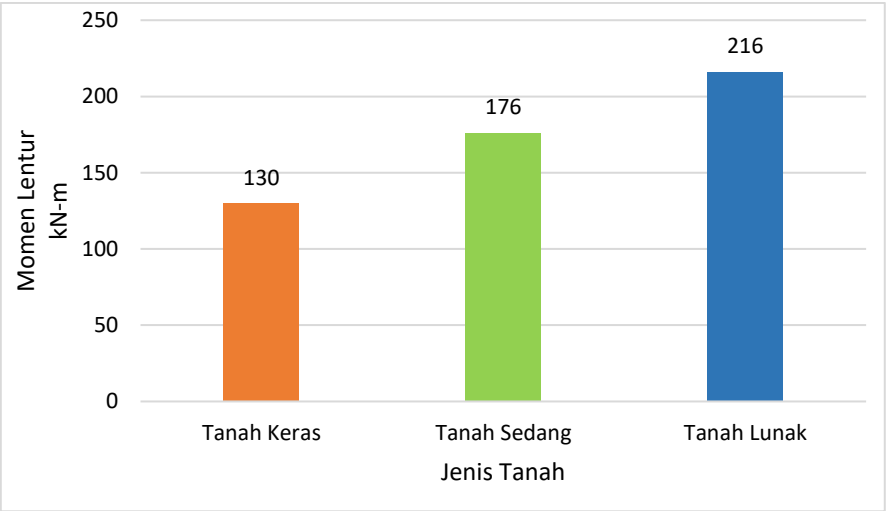
Nilai gaya aksial kolom maksimum pada tanah keras terjadi pada lantai 1 yaitu 2195,64 kN, pada tanah sedang nilai gaya aksial maksimum terjadi pada lantai 1 yaitu 2255,893 kN, sedangkan pada tanah lunak nilai gaya aksial maksimum terjadi pada lantai 1 yaitu 2346,9781 kN.

Gaya geser terbesar terjadi pada tanah lunak kemudian tanah sedang, lalu tanah keras, begitu juga dengan momen lentur terbesar terjadi pada tanah lunak, kemudian tanah sedang, lalu tanah keras. Sama halnya dengan gaya geser dan momen lentur,

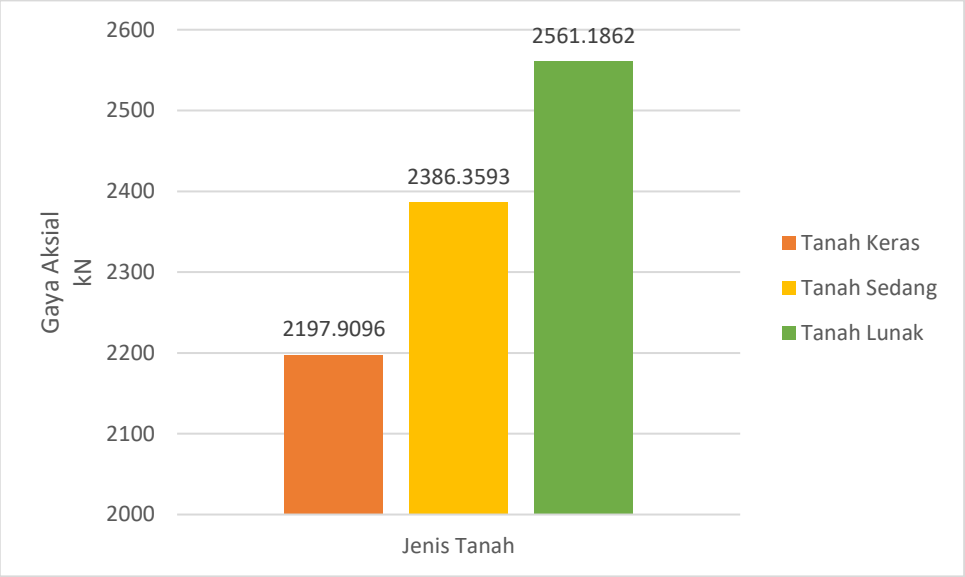
untuk gaya aksial semakin lunak tanahnya maka semakin besar nilai gaya aksial yang terjadi.



Gambar 5. 21 Hubungan Gaya Geser dengan Jenis Tanah *Multi Period*



Gambar 5. 22 Hubungan Momen Lentur Balok dengan Jenis Tanah *Multi Period*



Gambar 5. 23 Hubungan Gaya Aksial Kolom dengan Jenis Tanah *Multi Period*

Pada tanah keras nilai gaya geser maksimum terjadi pada lantai 3 yaitu 116,6217 kN, pada tanah sedang nilai gaya geser maksimum terjadi pada lantai 3 yaitu 144,3326 kN, sedangkan pada tanah lunak nilai gaya geser maksimum terjadi pada lantai 3 yaitu 168,4621 kN.

Nilai momen lentur maksimum yang terjadi pada tanah keras terjadi pada lantai 3 yaitu 129,9528 kN-m, pada tanah sedang nilai momen lentur maksimum terjadi pada lantai 3 yaitu 176,3036 kN-m, sedangkan pada tanah lunak nilai momen maksimum terjadi pada lantai 3 yaitu 216,1508 kN-m.

Nilai gaya aksial kolom maksimum pada tanah keras terjadi pada lantai 1 yaitu 2197,9096 kN, pada tanah sedang nilai gaya aksial maksimum terjadi pada lantai 1 yaitu 2386,3593 kN, sedangkan pada tanah lunak nilai gaya aksial maksimum terjadi pada lantai 1 yaitu 2561,1862 kN.

Gaya dalam yang terjadi pada *multi period* menunjukan perilaku yang sama dengan *two period* dengan nilai yang lebih besar dimana gaya geser terbesar terjadi pada tanah lunak kemudian tanah sedang, lalu tanah keras, begitu juga dengan momen

lentur dan gaya aksial kolom terbesar terjadi pada tanah lunak, kemudian tanah sedang, lalu tanah keras. Jenis tanah mempengaruhi gaya dalam yang terjadi pada struktur baik menggunakan metode analisis *two period* maupun *multi period.* Semakin lunak tanah maka semakin besar nilai gaya dalam yang dihasilkan oleh struktur gedung, sebaliknya semakin keras tanah maka akan semakin kecil nilai gaya dalam yang dihasilkan oleh struktur gedung.

Berdasarkan grafik diatas terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai gaya dalam struktur masing-masing jenis tanah, baik *two period* maupun *multi period*. Hal ini disebabkan oleh perbedaan desain beban gempa dan adanya perubahan peraturan pada respon spektrum *multi period* yang menyebabkan gaya dalam yang dihasilkan lebih besar dari pada respon spektrum *two period.*

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dengan adanya pembaruan peraturan dari *ASCE* 17-22 pada respon spektrum *multi period*, maka berpengaruh pada jenis tanah keras, sedang, lunak.

Berdasarkan analisis data dan pembahasan maka dapat di simpulkan sebagai berikut.

1. Jenis tanah sangat mempengaruhi nilai gaya geser dasar yang terjadi pada sturktur baik menggunakan respon spektrum *two period* maupun *multi period.* Perbandingan gaya geser *two period* dan *multi period* pada jenis tanah keras *multi period* memiliki gaya geser dasar yang lebih rendah sekitar 20% dibandingkan dengan *two period*. Pada tanah sedang *multi period* memiliki gaya geser dasar yang lebih tinggi sekitar 21,11% dibandingkan dengan *two period*. Pada tanah lunak *multi period* memiliki gaya geser dasar yang lebih tinggi sekitar 32,48% dibandingkan dengan *two period.* Semakin keras tanah maka semakin kecil nlai gaya geser dasarnya, sebaliknya semakin lunak tanah maka semakin besar nilai gaya geser dasar yang terjadi. Ini menunjukan bahwa struktur diatas tanah lunak memerlukan perhatian lebih dalam perencanaan dan desain untuk mengatasi gaya geser yang lebih besar.
2. Jenis tanah juga sangat mempengaruhi nilai simpangan yang terjadi pada struktur. Nilai simpangan pada tanah keras untuk setiap lantai tidak menunjukkan perbedaan signifikan antara *two period* dan *multi period*. Perbedaan nilai simpangan antara *two period dan multi period* umumnya kurang dari 1%, yang menunjukkan bahwa analisis pada tanah keras stabil dan perubahan periode tidak memberikan dampak yang besar terhadap simpangan. Nilai simpangan pada tanah sedang menunjukkan perbedaan yang lebih besar antara *two period* dan *multi period.* Untuk lantai atas (10, 9, 8, 7) *multi period* menunjukkan simpangan yang lebih tinggi dibandingkan

dengan *two period*. Persentase perbedaan ini berkisar antara 15-25%. Nilai simpangan pada tanah lunak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara *two period* dan *multi period*. Untuk lantai atas (10, 9, 8, 7, 6) *multi period* menunjukkan simpangan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan *two period*. Persentase perbedaan ini berkisar antara 25-35%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lunak tanah maka semakin besar simpangan yang terjadi. Analisis *multi period* menghasilkan nilai simpangan yang jauh lebih konservatif, memperhitungkan nilai deformasi terutama pada tanah lunak yang lebih besar dan pengaruh dinamis yang lebih kompleks.

3. Gaya dalam balok dan kolom *two period* dan *multi period*
    a. Gaya dalam pada tanah keras *two period* nilai maksimum gaya geser balok 116,6852 kN, momen lentur balok 130,0588 kN-m, P min kolom 2195,64 kN.
    b. Gaya dalam pada tanah sedang *two period* nilai maksimum gaya geser balok 128,3202 kN, momen lentur balok 150,324 kN-m, P min kolom 2255,893 kN.
    c. Gaya dalam pada tanah lunak *two period* nilai maksimum gaya geser balok 141,6483 kN, momen lentur balok 172,6401 kN-m, P min kolom 2346,978 kN.
    d. Gaya dalam pada tanah keras *multi period* nilai maksimum gaya geser balok 116,6229 kN, momen lentur balok 129,953 kN-m, P min kolom 2197,9096 kN.
    e. Gaya dalam pada tanah sedang *multi period* nilai maksimum gaya geser balok 144,3327 kN, momen lentur balok 176,3031 kN-m, P min kolom 2386,359 kN.
    f. Gaya dalam pada tanah lunak *multi period* nilai maksimum gaya geser balok 168,9984 kN, momen lentur balok 217,0575 kN-m, P min kolom 2561,186 kN.
4. Nilai analisis *multi period* menujukan hasil yang lebih akurat daripada analisis *two period*. Jenis tanah mempengaruhi distribusi beban, dengan tanah yang lebih lunak cenderung mengalami gaya geser yang lebih tinggi. Untuk tanah sedang dan lunak analisis *multi period* memberikan hasil yang lebih aman dan harus dipertimbangkan dalam desain struktur untuk mengurangi resiko kerusakan.

6.2 Saran

Dari kesimpulan diatas, saran yang diberikan adalah sebagai berikut.

1. Dengan adanya pembaruan peraturan dari SNI 2019 dengan *ASCE* 17-22 sangat mempengaruhi hasil dari analisis terutama pada jenis tanah yang lebih lunak.
2. Pembaruan *ASCE* 17-22 memberikan kewaspadaan terhadap proses perencanaan bangunan dan antisipasi terhadap bencana yang mungkin terjadi terkhusus di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

ASCE 7 22 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings

Elliza, I. N. (2013). Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Respon Spektrum Menggunakan Software ETABS V 9.50 (Studi Kasus: Gedung Solo Center Point).

Faizah, R., & Saputra, E. (2018). *Seismic demand due to the earthquake hazard map 2017 determination in* Indonesia. In *Proceeding of the 7th Engineering International Conference on Education, Concept and Application on Green Technology, Semarang. http://doi* (Vol. 10, p. 0009007101080116).

Nurmasari, R., & Rosyida, A. (2016). Kehidupan Masyarakat Di Hunian Tetap Pasca letusan Gunung Merapi 2010. *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, *7*(2), 95-102.

Pawirodikromo, W. (2001). Respon Dinamik Struktur Elastik.

Purnomo, E. (2014). Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus: Bangunan Hotel di Semarang).

Saputra, E. (2023). Comparison of Multi-Period and Two-Period Response.

SKBI 1987 Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung

SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung

SNI 1727-2020 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktutal untuk Bangunan Gedung

Suratmin, S., Satyarno, I., & Tjokrodimuljo, K. (2007). Pemanfaatan Kulit Ale-Ale sebagai Agregat Kasar dalam Pembuatan Beton. In *Civil Engineering Forum Teknik Sipil* (Vol. 17, No. 2, pp. 530-538).

Wantalangie, R. O., Pangouw, J. D., & Windah, R. S. (2016). Analisa Statik dan Dinamik Gedung Bertingkat Banyak Akibat Gempa berdasarkan SNI 1726-2012 dengan Variasi Jumlah Tingkat. *Jurnal Sipil Statik*, *4*(8).