

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT AKIBAT
GEMPA BERDASARKAN SIMPANGAN DENGAN ANALISIS RESPON
SPEKTRUM (STUDI KASUS APARTEMEN *KINGLAND AVENUE*
SERPONG)**

(Skripsi)

Oleh

FUNGKY ANDI SATRIA



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

ABSTRACT

PERFORMANCE EVALUATION OF HIGH BUILDING STRUCTURES DUE TO EARTHQUAKE BASED ON DRIFT WITH SPECTRUM RESPONSE ANALYSIS (CASE STUDY: KINLAND AVENUE APARTMENT SERPONG)

By

FUNGKY ANDI SATRIA

Kingland Avenue Serpong Apartment is a high-rise building located on Serpong KM. 08 Pakulonan Highway, North Serpong, South Tangerang. This building consists of 2 basements, 24 floors, and a roof with an elevation of ± 116.70 m, has a risk category II. A building must have optimal performance, including in resisting earthquake loads, so that the safety of the occupants in it is guaranteed. Response spectrum analysis is one of the methods commonly used in analyzing earthquake loads to determine the performance of buildings based on their deviation values. This study aims to determine the performance level of the structure and the deviation between levels. Based on the results of the spectrum response analysis, the overall value of the deviation between levels is below the deviation between the levels of permits, with a roof deviation in the x direction of 0.2034 m and 0.2467 m in the y direction and the maximum total deviation ratio value in the x direction of 0.0016 and 0.0020 in the y direction. Based on ATC-40, the

performance level of the Kingland Avenue Serpong Apartment structure is at the Immediate Occupancy performance level, with little impact on structural damage. The characteristics and capacity of the vertical and lateral force resisting system on the structure are still the same as the conditions where the earthquake has not occurred, so the building is safe and can be used immediately. Comparison of the volume of installed reinforcement with the new reinforcement design in beams B9 and column K5 overall there is a decrease in the amount of basic reinforcement and the number of stirrups with the same diameter of reinforcement. In beam B9, the difference in the weight of the main reinforcement installed with the new reinforcement design is 18% and the stirrup reinforcement is 6%. Meanwhile, in column K5, the difference in the weight of the main reinforcement installed with the new reinforcement design is 9% and the stirrup reinforcement is 32%.

Keywords: Response spectrum, ATC-40, Immediate Occupancy, earthquake, drift

ABSTRAK

EVALUASI KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT AKIBAT GEMPA BERDASARKAN SIMPANGAN DENGAN ANALISIS RESPON SPEKTRUM (STUDI KASUS APARTEMEN *KINGLAND AVENUE* SERPONG)

Oleh

FUNGKY ANDI SATRIA

Apartemen *Kingland Avenue* Serpong adalah gedung bertingkat tinggi yang berada di Jalan Raya Serpong KM. 08 Pakulonan, Serpong Utara, Tangerang Selatan. Gedung ini terdiri dari 2 *Basement*, 24 lantai, dan atap dengan elevasi $\pm 116,70$ m, memiliki kategori resiko II. Sebuah gedung harus memiliki kinerja yang optimal termasuk dalam menahan beban gempa sehingga keselamatan penghuni di dalamnya lebih terjamin. Analisis respon spektrum adalah salah satu metode yang umum digunakan dalam menganalisis beban gempa untuk mengetahui kinerja bangunan berdasarkan nilai simpangannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui level kinerja struktur dan simpangan antar tingkat. Berdasarkan hasil analisis respon spektrum secara keseluruhan nilai simpangan antar tingkat berada di bawah simpangan antar tingkat izin, dengan nilai simpangan atap arah x sebesar 0,2034 m dan 0,2467 m pada arah y serta nilai rasio simpangan total maksimum arah x sebesar 0,0016 dan 0,0020 pada arah y. Berdasarkan ATC-40, Level kinerja

struktur Apartemen *Kingland Avenue* Serpong berada pada level kinerja *Immediate Occupancy*, dengan dampak sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai. Perbandingan volume tulangan terpasang dengan desain penulangan baru pada balok B9 dan kolom K5 secara keseluruhan terjadi penurunan jumlah tulangan pokok dan jumlah sengkang dengan besar diameter tulangan masih sama. Pada balok B9 selisih berat tulangan pokok terpasang dengan desain penulangan baru adalah sebesar 18% dan tulangan sengkang 6%. Sedangkan pada kolom K5 selisih berat tulangan pokok terpasang dengan desain penulangan baru adalah sebesar 9% dan tulangan sengkang 32%.

Kata Kunci: Respon spektrum, ATC-40, *Immediate Occupancy*, gempa, simpangan

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT AKIBAT
GEMPA BERDASARKAN SIMPANGAN DENGAN ANALISIS RESPON
SPEKTRUM (STUDI KASUS APARTEMEN *KINGLAND AVENUE*
SERPONG)**

Oleh

FUNGKY ANDI SATRIA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Studi S1 Teknik Sipil
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **EVALUASI KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT AKIBAT GEMPA BERDASARKAN SIMPANGAN DENGAN ANALISIS RESPON SPEKTRUM (STUDI KASUS APARTEMEN *KINGLAND AVENUE SERPONG*)**


Nama Mahasiswi : **Fungky Andi Satria**

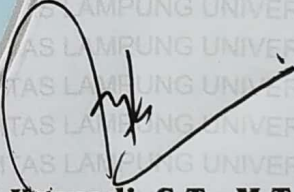
Nomor Pokok Mahasiswa : 1615011057

Program Studi : S1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik




Dr. Eng. Mohd Isneini, S.T., M.T.
NIP. 197210262000031001


Andi Kusnadi, S.T., M.T., M.M.
NIP. 196805091994021001

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Ketua Jurusan Teknik Sipil

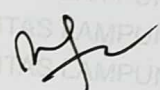

Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 197208291998021001


Ir. Laksmi Irianti, M.T.,
NIP. 196204081989032001


MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

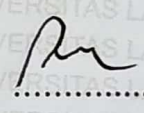
Ketua : Dr. Eng. Mohd Isneini, S.T., M.T.



Sekretaris : Andi Kusnadi, S.T., M.T., M.M.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Ir. Ratna Widyawati, S.T., M.T., IPM.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. ✱
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 9 Juni 2022

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul “**Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat Akibat Gempa Berdasarkan Simpangan Dengan Analisis Respon Spektrum (Studi Kasus Apartemen Kingland Avenue Serpong)**” adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula, bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 17 Juni 2022
Pembuat Pernyataan



Fungky Andi Satria
NPM. 1615011057

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir pada tanggal 30 Desember 1997 di Sukoharjo II, Kecamatan Sukoharjo, Kabupaten Pringsewu, Lampung. Penulis memulai jenjang pendidikan di SDN 02 Sukoharjo II, pada tahun 2004, kemudian melanjutkan di SMPN 1 Sukoharjo pada tahun 2010, dan SMAN 1 Pringsewu pada tahun 2013. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2016. Penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS Unila) sebagai Staf Media Informasi dan Forum Silaturahmi dan Studi Islam (FOSSI FT Unila) sebagai Kepala Departemen Media Informasi pada tahun 2018 serta Panitia Khusus Pemilihan Raya FT sebagai Kepala Divisi Media Informasi tahun 2018. Pada tahun 2019 penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di Proyek Pembangunan Laboratorium Teknik 2 Institut Teknologi Sumatera dan tahun 2020 melakukan Kerja Praktik (KP) kembali pada proyek Pembangunan SMPN 41 Bandar Lampung. Penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Kota Agung, Kecamatan Sungkai Selatan, Kabupaten Lampung Utara selama 40 hari pada periode I tahun 2020. Penulis pernah menjadi peserta lomba poster ilmiah tingkat nasional pada Sriwijaya National Engineering Poster Contest tahun 2019 di Universitas Sriwijaya Palembang dan finalis lomba karya tulis ilmiah pada Pekan Ilmiah Lingkar Studi Ilmiah Penalaran Universitas Halu Oleo, Sulawesi Tenggara tahun 2020.

PERSEMBAHAN

Puji Syukur kuucapkan kepada الله

Karya tulis ini kupersembahkan untuk :

Bapak dan Mamak Tercinta

Kakak-kakak Terbaik

Seluruh rekan yang memberi pelajaran selama menjalani masa studi

Keluarga Besar Teknik Sipil 2016

MOTTO

“Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan Allah.”

~HR. Turmudzi

"Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang berilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha mengetahui apa yang kamu kerjakan."

~QS. Al-Mujadillah:11

“Keep your eyes on the stars and your feet on the ground.”

~Theodore Rosevelt

“Belajarlah dari masa lalu, hidupilah untuk hari ini, dan berharaplah untuk masa depan. Yang paling penting, jangan berhenti bertanya.”

~Albert Einstein

“Apapun yang dilakukan seseorang itu, hendaknya dapat bermanfaat bagi dirinya sendiri, bermanfaat bagi bangsanya, dan bermanfaat bagi manusia di dunia pada umumnya.”

~Ki Hadjar Dewantara

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan karunia serta ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat Akibat Gempa Berdasarkan Simpangan Dengan Analisis Respon Spektrum (Studi Kasus Apartemen *Kingland Avenue* Serpong) dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Pada penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan, bimbingan, serta pengarahan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Allah Azza Wa Jalla yang selalu memudahkan segala urusan dan senantiasa memberikan berkah ilmu kepada hambanya.
2. Bapak, ibu dan kakak yang senantiasa ikhlas mendo’akan dan memberikan semangat kepada penulis.
3. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

5. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Mohd Isneini, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing I, atas kesediaannya selalu memberikan waktu untuk membimbing dan memberikan pengarahan.
7. Bapak Andi Kusnadi, S.T., M.T., M.M. selaku Dosen Pembimbing II, atas kesediaannya selalu memberikan waktu untuk membimbing dan memberikan pengarahan.
8. Ibu Dr. Eng. Ir. Ratna Widyawati, S.T., M.T. IPM. selaku Dosen Penguji skripsi, atas saran dan masukan yang sangat membangun sehingga skripsi dapat diselesaikan dengan baik.
9. Bapak Amril Ma'ruf Siregar, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis.
10. Seluruh dosen Prodi S1 Teknik Sipil atas semua bekal ilmu pengetahuan yang telah diberikan serta staf akademisi khususnya admin jurusan, mbak Suci Auliadiningrum yang telah membantu pengurusan administrasi selama berkuliah.
11. Kedua orangtuaku, Bapak Mashun dan Ibu Jarwati yang selalu mendukung dan mendoakan anaknya dalam merajut mimpi dan harapan.
12. Kakak-kakak tercinta, Mbak Yuli, Mas Toni, Mas Taufik, Mba Tami, yang selalu memberikan semangat dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini.
13. Sobat-sobat, Yopi, Ripan, Adhit, Roki, Ipan, Indra, Ardi, Epin, yang sudah memberikan banyak pembelajaran.

14. Sahabat BC (KOSMAY) : Mayka, Kabul, Vince, Bambang, Sulthan, Sem, Rizki Peb, Adit, Arif, Rayhan, Afridho, Awal, Ibnu, Karman, Eki, Putu, Wawan, Robby, Yudha, Deni.
15. Pengurus FOSSI-FT 2018 aka Bergerak Produktif khususnya rekan satu departemen Media Informasi, Fitria Harleni.
16. Keluarga Besar Teknik Sipil Universitas Larnpung. Khususnya Keluarga Teknik Sipil 2016.

Penulis menyadari bahwa tentunya masih banyak kekurangan yang tak terlepas di dalam penulisan skripsi ini. Karena itu, penulis sangat mengharapkan saran serta kritik yang bersifat membangun dari pembaca. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi banyak orang. Aamiin.

Bandar Lampung, Juni 2022

Penulis

Fungky Andi Satria

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Batasan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Analisis Struktur Dengan Aspek Kegempaan.....	6
B. Aspek Gedung Dan Tanah Terhadap Kegempaan.....	8
C. Peraturan Evaluasi Kinerja Struktur	19
D. Struktur Beton Bertulang.....	21
E. Jenis Beban Pada Struktur	22
F. ETABS.....	24
G. Autodesk Revit.....	24
H. Penelitian Terdahulu	25

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Model Struktur	29
B. Data dan Alat	30
C. Pelaksanaan Penelitian	32
D. Diagram Alir Penelitian	34

IV. PEMBAHASAN

A. Data Struktur	36
B. Pembebanan	38
C. Aspek Gedung Dan Tanah Terhadap Kegempaan	40
D. Desain Respon Spektrum	41
E. Gaya Lateral Gempa	44
F. Pemodelan Struktur Pada ETABS	46
G. Hasil Analisis Respon Spektrum	49
H. Evaluasi Kinerja Struktur Menurut SNI 1726-2019	50
I. Evaluasi Kinerja Struktur Menurut ATC-40	54
J. Desain Penulangan Struktur Beton Dengan Beban Gempa	55
K. <i>Modelling</i> Gedung Dengan <i>Software</i> Revit-2019	79

V. PENUTUP

A. Kesimpulan	93
B. Saran	95

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Apartemen Kingland Avenue Serpong	2
Gambar 2. Peta PGA (kemungkinan terlampaui 2% dalam 50 tahun).....	13
Gambar 3. Peta SS (probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun)	14
Gambar 4. Peta S1 (probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun)	14
Gambar 5. Spektrum respons desain	18
Gambar 6. Peta transisi periode panjang, TL wilayah Indonesia	19
Gambar 7. Lokasi Penelitian	29
Gambar 8. Denah lantai basement 2 – lantai 4	31
Gambar 9. Denah lantai 5 – roof	31
Gambar 10. Diagram Alir Penelitian.....	34
Gambar 11. Desain Respon Spektrum	43
Gambar 12. Pemodelan 3D dengan ETABS.	46
Gambar 13. Simpangan arah X akibat gempa.	53
Gambar 14. Simpangan arah Y akibat gempa.	53
Gambar 15. Letak balok yang ditinjau (B9).....	56

Gambar 16. Diagram gaya geser dan momen balok B9.....	57
Gambar 17. Diagram gaya aksial dan torsi pada balok B9	57
Gambar 18. Desain penulangan balok B9	69
Gambar 19. Letak kolom K5 yang ditinjau	71
Gambar 20. Diagram gaya aksial dan torsi pada kolom K5.....	72
Gambar 21. Diagram gaya geser dan momen pada kolom K5.....	72
Gambar 22. Hasil pengecekan kolom K5 pada SPcolumn.....	75
Gambar 23. Desain penulangan kolom K5.....	77
Gambar 24. Pemodelan 3D dengan Revit.	79
Gambar 25. Penulangan tumpuan B9 terpasang dengan Revit.	81
Gambar 26. Penulangan lapangan B9 terpasang dengan Revit.....	81
Gambar 27. Tampak samping balok B9 terpasang.....	82
Gambar 28. 3D Penulangan balok B9 terpasang.....	82
Gambar 29. Penulangan tumpuan B9 desain gempa dengan Revit.....	84
Gambar 30. Penulangan lapangan B9 desain gempa dengan Revit.	84
Gambar 31. Tampak samping balok B9 desain gempa.	85
Gambar 32. 3D Penulangan balok B9 desain gempa.	85
Gambar 33. Penulangan kolom K5 terpasang dengan Revit.....	88
Gambar 34. Tampak samping kolom K5 terpasang.	88
Gambar 35. 3D Penulangan kolom K5 terpasang.	89
Gambar 36. Penulangan kolom K5 desain gempa dengan Revit..	90

Gambar 37. Tampak samping kolom K5 desain gempa..... 90

Gambar 38. 3D Penulangan kolom K5 desain gempa..... 91

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung	8
Tabel 2. Faktor Keutamaan	10
Tabel 3. Klasifikasi Situs	10
Tabel 4. Koefisien Situs FPGA	12
Tabel 5. Koefisien Situs, F_a	15
Tabel 6. Koefisien Situs, F_v	15
Tabel 7. <i>Performance level</i> menurut ATC-40.....	20
Tabel 8. Deskripsi Gedung	30
Tabel 9. Data Elevasi Gedung.....	36
Tabel 10. Mutu Beton.....	37
Tabel 11. Beban Hidup	39
Tabel 12. Nilai N-SPT profil tanah lapisan 30 meter	40
Tabel 13. Perioda dan spektrum percepatan desain	43
Tabel 14. Gaya reaksi dasar belum dikoreksi	46
Tabel 15. Gaya reaksi dasar setelah dikoreksi	48

Tabel 16. <i>Drift dan Interstory drift</i> arah X	49
Tabel 17. <i>Drift dan Interstory drift</i> arah Y	50
Tabel 18. Simpangan antar tingkat izin (Δ_a)	51
Tabel 19. Kinerja Struktur terhadap gempa	52
Tabel 20. Data Gaya-gaya Dalam Balok B9	58
Tabel 21. Data Tulangan Balok B9 Terpasang	58
Tabel 22. Persyaratan desain balok SRPMK.....	58
Tabel 23. Data Desain Balok B9	59
Tabel 24. Perhitungan tulangan tumpuan negatif.....	60
Tabel 25. Perhitungan tulangan tumpuan positif.....	61
Tabel 26. Perhitungan tulangan lapangan negatif.	62
Tabel 27. Perhitungan tulangan lapangan positif.	63
Tabel 28. Gaya-gaya desain tulangan geser.	64
Tabel 29. Penulangan geser tumpuan dan lapangan.....	65
Tabel 30. Data penulangan torsi balok	66
Tabel 31. Penulangan longitudinal torsi balok	67
Tabel 32. Penulangan transversal torsi balok	68
Tabel 33. Rekapitulasi desain penulangan balok B9.....	69
Tabel 34. Perbandingan penulangan balok B9	70
Tabel 35. Data Tulangan Kolom K5 Terpasang	72
Tabel 36. Gaya-gaya dalam pada kolom K5	73

Tabel 37. Gaya-gaya dalam pada kolom K5	74
Tabel 38. Hasil Desain Tulangan Kolom K5	77
Tabel 39. Perbandingan penulangan kolom K5	78
Tabel 40. Data penulangan balok B9.	80
Tabel 41. Hasil analisa volume tulangan sengkang B9 terpasang.....	82
Tabel 42. Hasil analisa volume tulangan pokok B9 terpasang.....	83
Tabel 43. Hasil analisa volume tulangan sengkang B9 desain gempa.	85
Tabel 44. Hasil analisa volume tulangan pokok B9 desain gempa.	86
Tabel 45. Data penulangan kolom K5	87
Tabel 46. Hasil analisa volume tulangan kolom K5 terpasang.	89
Tabel 47. Hasil analisa volume tulangan kolom K5 desain terhadap gempa.	91
Tabel 48. Rekapitulasi Perbandingan Tulangan B9.	92
Tabel 49. Rekapitulasi Perbandingan Tulangan K5.	92

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Wilayah Indonesia merupakan negara yang rawan gempa bumi. Tingginya potensi gempa bumi disebabkan letak geografis Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia. Dengan banyaknya kejadian gempa di Indonesia, maka banyak dikembangkan analisis-*analisis* gempa terhadap struktur. Analisis gempa dibagi menjadi dua yaitu analisis gempa statik dan analisis gempa dinamik. Analisis statik merupakan metode analisis struktur dengan getaran gempa yang dimodelkan sebagai beban-beban horizontal statik yang bekerja pada pusat-pusat massa bangunan. Prinsip analisis ini didasarkan bahwa bila sebuah sistem struktur mengalami getaran, maka seluruh ragam getar dapat terjadi bersamaan. Dalam analisis statik terdapat 2 metode yaitu metode statik ekuivalen dan *pushover*. Analisis gempa dinamik digunakan untuk mengetahui kinerja struktur pada bangunan bertingkat banyak, tidak beraturan, dan bangunan-bangunan yang memerlukan ketelitian yang besar. Analisis gempa dinamik meliputi analisis respon spektrum dan analisis riwayat waktu. Respon spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk kurva antara periode struktur dengan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu.

Menurut *Applied Technology Council (ATC) 40*, tentang evaluasi *seismic* dan perbaikan bangunan beton, tingkat kinerja atau *performance level* bangunan diklasifikasikan menjadi beberapa kategori yaitu *Immediate Occupancy*; *Damage Control*; *Life Safety*; *Structural Stability*. Menurut SNI 1726-2019, tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung, nilai *drift* (Δ) atau simpangan pada arah X atau arah Y harus memenuhi batas simpangan antar tingkat izin (Δ_a) yang tertera pada tabel 20 SNI 1726-2019.



Gambar 1. Apartemen *Kingland Avenue Serpong*

Apartemen *Kingland Avenue* Serpong merupakan gedung bertingkat tinggi yang berada di Jalan Raya Serpong KM. 08 Pakulonan, Serpong Utara, Tangerang Selatan. Gedung ini terdiri dari 2 *Basement*, 24 lantai, dan atap dengan elevasi $\pm 116,70$ m. Objek penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya, dalam penelitian sebelumnya digunakan analisa *Time History* dan *Pushover* untuk mengevaluasi kinerja struktur akibat gempa dan didapatkan hasil yang berbeda pada level kinerja gedung tersebut berdasarkan ATC 40. Pada analisa *Time History* gedung berada pada level kinerja *Damage Control* (DC), yaitu struktur bangunan yang dalam pasca gempa, kerusakan yang terjadi bervariasi diantara kategori *Immediate Occupancy* dan *Life Safety*, resiko korban jiwa sangat rendah, ada kemungkinan struktur bangunan rusak, namun tidak runtuh. Sedangkan pada analisa *Pushover* yang sudah dilakukan kinerja struktur berada pada level *Immediate Occupancy* (IO) atau aman jika gempa yang terjadi adalah berada pada skala MMI VIII atau 6 S.R.

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis akan mengevaluasi kinerja struktur bangunan bertingkat akibat beban gempa dengan metode respon spektrum, studi kasus kasus Apartemen *Kingland Avenue* Serpong.

B. Rumusan Masalah

Secara garis besar rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kinerja struktur Apartemen *Kingland Avenue* Serpong berdasarkan *drift* yang ditinjau dengan analisis respon spektrum menurut SNI 1726-2019.
2. Bagaimana level kinerja struktur Apartemen *Kingland Avenue* Serpong berdasarkan ATC-40.
3. Bagaimana perbandingan desain dan volume tulangan terpasang Apartemen *Kingland Avenue* Serpong dengan penulangan sesuai SNI 1726-2019 bangunan tahan gempa.

C. Batasan Masalah

1. *Software* yang digunakan dalam menganalisis kinerja struktur adalah *ETABS v 2018*.
2. *Software* yang digunakan dalam menganalisis volume tulangan struktur adalah *REVIT v 2019*.
3. Volume tulangan yang dianalisis adalah beberapa struktur kolom dan balok.
4. Peraturan gempa yang digunakan SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.
5. Evaluasi kinerja struktur berdasarkan SNI-1726-2019.
6. Level kinerja struktur berdasarkan ATC-40.
7. Peraturan Pembebanan menggunakan SNI 1727-2013.
8. Metode analisis gempa yang digunakan adalah respon spektrum.
9. Struktur bangunan adalah beton bertulang.
10. Bagian paling bawah diasumsikan sebagai tumpuan jepit.

D. Tujuan Penelitian

1. Mengevaluasi kinerja struktur Apartemen *Kingland Avenue* Serpong berdasarkan *drift* yang ditinjau dengan analisis respon spektrum menurut SNI 1726-2019.
2. Menentukan kriteria kinerja struktur Apartemen *Kingland Avenue* Serpong dari hasil nilai *performance point* berdasarkan ATC-40.
3. Membandingkan antara desain dan volume tulangan terpasang Apartemen *Kingland Avenue* Serpong dengan penulangan sesuai SNI 1726-2019 bangunan tahan gempa.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari hasil penelitian adalah:

1. Untuk mengetahui kinerja struktur Apartemen *Kingland Avenue* Serpong berdasarkan *drift* yang ditinjau dengan analisis respon spektrum menurut SNI 1726-2019.
2. Untuk mengetahui level kinerja struktur Apartemen *Kingland Avenue* Serpong berdasarkan ATC-40.
3. Untuk mengetahui perbandingan antara desain dan volume tulangan terpasang Apartemen *Kingland Avenue* Serpong dengan penulangan sesuai SNI 1726-2019 bangunan tahan gempa.

BABA II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Analisis Struktur Dengan Aspek Kegempaan

1) Analisis Statik

Analisis statik merupakan metode analisis struktur dengan getaran gempa yang dimodelkan sebagai beban-beban horizontal statik yang bekerja pada pusat-pusat massa bangunan. Prinsip analisis ini didasarkan bahwa bila sebuah sistem struktur mengalami getaran, maka seluruh ragam getar dapat terjadi bersamaan sehingga terjadi *interference* antar pengaruh dari semua ragam getar. Pada kondisi tertentu, ragam getar pertama memberikan pengaruh yang dominan terhadap struktur, sehingga pengaruh ragam yang lain dapat diabaikan. Pada kondisi ini, pengaruh getaran terhadap struktur dapat diwakili dengan serangkaian beban horizontal statik yang disebut beban statik ekuivalen yang mengakibatkan terjadinya respons (simpangan dan gaya dalam) yang sama dengan respon yang diakibatkan oleh getaran ragam pertama tersebut.

2) Analisis Dinamik

Beban pada struktur akibat percepatan gempa bersifat dinamik, dimana beban yang dinamik adalah setiap beban yang besarnya, arahnya atau posisinya berubah menurut waktu. Demikian pula, respons struktur terhadap

beban dinamik, yaitu lendutan dan tegangan yang dihasilkan, juga perubahan-waktu, bersifat dinamik (Clough dan Penzien (1998), dalam Anggen (2014)). Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur.

Analisis dinamik dibagi menjadi 2, yaitu:

- a. Analisis ragam respons spektrum dimana total respons didapat melalui superposisi dari respons masing-masing ragam getar.
- b. Analisis riwayat waktu adalah analisis dinamis dimana pada model struktur diterapkan percepatan gempa dari input berupa akselerogram dan respons struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.

Analisis dinamik digunakan untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gerakan tanah oleh gempa dan dapat dilakukan dengan cara analisis ragam respons spektrum. Pembagian gaya geser tingkat tersebut adalah untuk menggantikan pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada analisis beban statik ekuivalen. Pada analisis ragam respons spektrum sebagian spektrum percepatan respons gempa rencana harus dipakai diagram koefisien gempa dasar untuk wilayah masing-masing gempa.

B. Aspek Gedung Dan Tanah Terhadap Kegempaan

1) Gempa Rencana

Menurut SNI-1726-2019 Pasal 4.1.1, menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan nongedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %.

2) Kategori Risiko

Dalam Pasal 4.1.2 SNI-1726-2019 kategori risiko struktur bangunan di klasifikasikan menjadi 4 kategori. Klafisikasi tersebut berdasarkan jenis pemanfaatan suatu struktur dan tingkat kepentingan. Pengklasifikasian kategori risiko struktur bangunan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:	
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang Penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :	
<ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung Perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan - Pabrik 	II

Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Bioskop
- Gedung Pertemuan
- Stadion
- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas penitisan anak
- Penjara
- Bangunan untuk orang jompo

III

Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Pusat pembangkit listrik biasa
- Fasilitas penanganan air
- Fasilitas penanganan limbah
- Pusat telekomunikasi

Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran

Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:

- Bangunan-bangunan monumental
- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan
- Rumah ibadah
- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat
- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya
- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat
- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat
- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat

IV

Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.

3) Faktor Keutamaan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung bergantung pada kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung pada umur yang diharapkan. pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa (I_e).

Tabel 2. Faktor Keutamaan

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Sumber: SNI-1726-2019

4) Klasifikasi Situs

Klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu sesuai yang disyaratkan dalam Tabel 5 Pasal 5.3 SNI-1726-2019 tentang klasifikasi situs yang dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SA (Batuan Keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A

SC (Tanah Keras, Sangat Padat, dan Batuan Lunak)	350 sampai 750	> 50	> 100
SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
	< 75	< 15	< 50
SE (Tanah Lunak)	<p>Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :</p> <p>a) Indeks Plastisitas, $PI > 20$</p> <p>b) Kadar air, $w > 40$ persen, dan</p> <p>c) Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa</p>		
SF (Tanah Khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti pasal (6.9.1))	<p>Setiap profil tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <p>a) Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi</p> <p>b) Lempung sangat organik dan/atau gembur (ketebalan $H > 3$ m)</p> <p>c) Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$)</p> <p>d) Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa</p>		

Sumber: SNI-1726-2019

Dengan:

\bar{N} = tahanan penetrasi standar rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas

\bar{N}_{ch} = tahanan penetrasi standar rata-rata tanah *non* kohesif dalam lapisan 30 m.

S_u = Kuat geser niralir

\bar{S}_u = kuat geser niralir rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas

\bar{V}_S = kuat geser rambat gelombang geser rata-rata padangan regangan geser yang kecil, di dalamnya lapisan 30 m paling atas.

5) Zonasi Gempa Indonesia

Dalam SNI-1726-2019 terlampir Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 yang berisi peta percepatan puncak (PGA) dan respon spektrum percepatan di batuan dasar (S_B) untuk perioda pendek 0,2 detik (S_s) dan untuk perioda 1,0 detik (S_1) yang memiliki kemungkinan terlampaui 2% dalam 50 tahun. Dengan demikian dapat diperoleh nilai PGA, S_s , dan S_1 di batuan dasar yang dibutuhkan untuk perencanaan dan analisis pada suatu lokasi tinjauan.

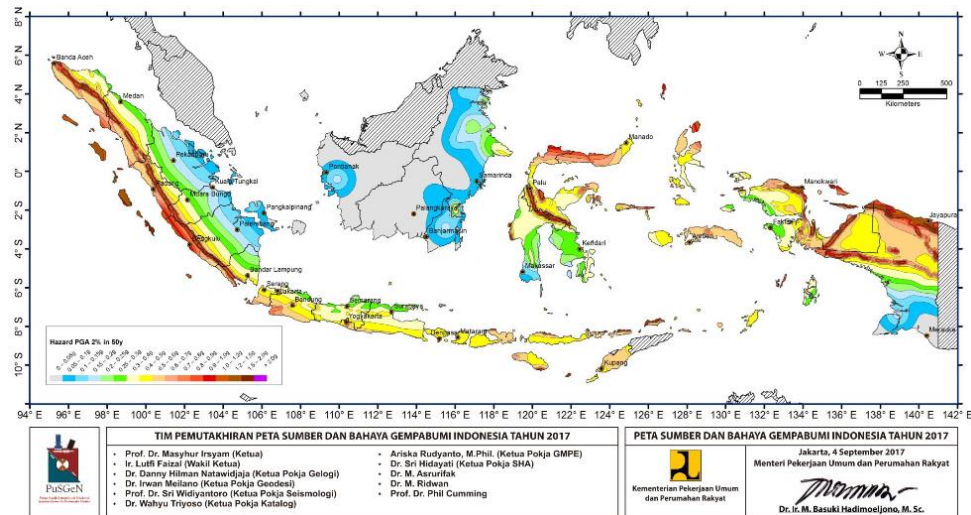
6) Percepatan Puncak di Permukaan Tanah

Besarnya puncak di permukaan tanah dapat diperoleh dengan mengalikan faktor amplifikasi untuk PGA (F_{PGA}) dengan nilai PGA. Nilai PGA dapat diperoleh pada Gambar 2. Besarnya PGA disesuaikan dengan klasifikasi situs atau jenis tanah pada Tabel 6. dan nilai koefisien F_{PGA} ditentukan berdasarkan **Tabel 4**.

Tabel 4. Koefisien Situs F_{PGA}

Kelas Situs	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA = 0,5	PGA ≥ 0,6
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	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1
SE	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
SF			$SS^{(a)}$			

Sumber: SNI-1726-2019



Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa 2017

Gambar 2. Peta PGA (kemungkinan terlampaui 2% dalam 50 tahun)

Percepatan maksimum permukaan tanah disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs (PGA_M) dihitung dengan persamaan 1.

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \quad (1)$$

Dengan:

$PGA_M = MCE_G$ percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi siklus.

PGA = Percepatan tanah puncak terpetakan pada **Gambar 2**.

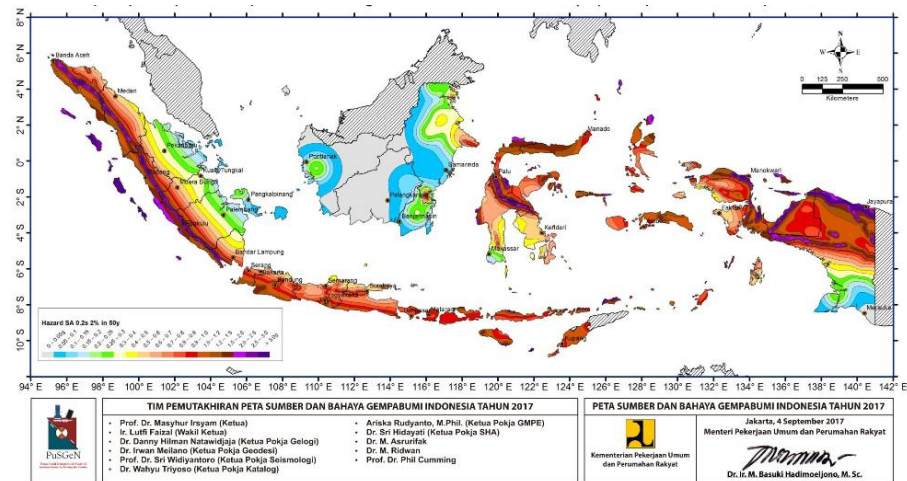
F_{PGA} = Koefisien situs pada **Tabel 4**.

7) Desain Respon Spektrum

a. Nilai S_s dan S_1

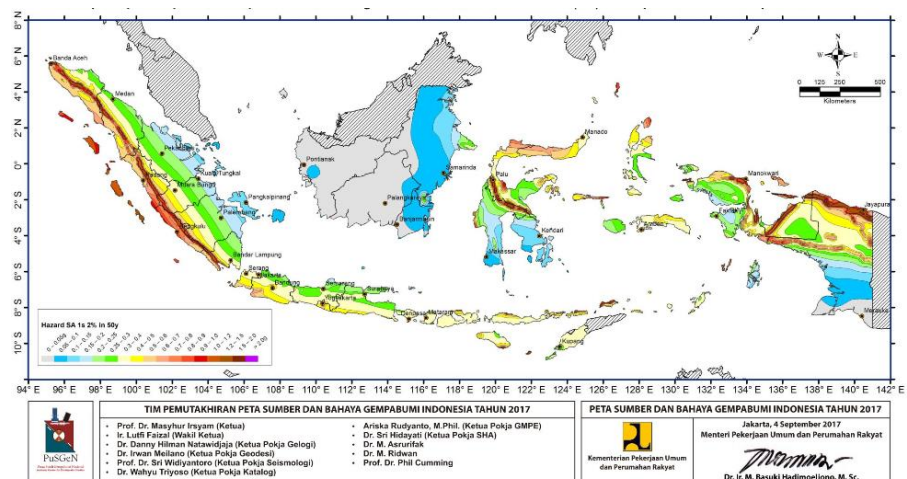
Nilai S_s dan S_1 didapatkan dari Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 yang terlampir pada SNI-1726-2019 dengan menyesuaikan level gempa rencana. S_s adalah parameter respons

spektrum percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek. S_1 adalah parameter respons spektrum percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik. Nilai S_5 dapat ditentukan dari peta yang terdapat pada **Gambar 2**. Sedangkan Nilai S_1 dapat ditentukan dari peta yang terdapat pada **Gambar 3**.



Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa 2017

Gambar 3. Peta S_5 (probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun)



Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa 2017

Gambar 4. Peta S_1 (probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun)

b. Koefisien Situs

Koefisien situs F_a dan F_v dapat ditentukan dari **Tabel 5.** dan **Tabel 6.**

Tabel 5. Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Sumber: SNI-1726-2019

Catatan:

- (a) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 6. Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_s					
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$	$S_s \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Sumber: SNI-1726-2019

Catatan:

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

8) Parameter Spektrum Respons Percepatan

Dalam SNI-1726-2019 Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan perioda pendek (S_{MS}) dihitung dengan Persamaan 2. dan parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik (S_{M1}) dihitung dengan persamaan 3.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (3)$$

9) Parameter Percepatan Respons Spektrum

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek (S_{DS}) dihitung dengan Persamaan 4 dan parameter percepatan spektrum desain untuk perioda 1 detik (S_{D1}) dihitung menggunakan Persamaan 5.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} \quad (4)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} \quad (5)$$

Dengan:

S_{DS} = parameter percepatan respons spektrum pada perioda pendek (0,2 detik)

S_{D1} = parameter percepatan respons spektrum pada perioda 1,0 detik

S_s = parameter percepatan respons spektrum MCE (*Maximum Credible Earthquake*) dari Peta Gempa Indonesia 2010 pada periode pendek (0,2 detik)

S_l = parameter percepatan respons spektrum MCE (*Maximum Credible Earthquake*) dari Peta Gempa Indonesia 2010 pada periode 1,0 detik

F_a = koefisien situs untuk periode pendek (0,2 detik)

F_v = koefisien situs untuk periode 1,0 detik

10) Spektrum Respons Desain

a. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a harus dihitung dengan Persamaan 6.

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

b. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} .

c. Untuk periode lebih besar dari T_s , tetapi lebih kecil atau sama dengan T_L spektrum respons percepatan desain S_a diambil berdasar Persamaan 7.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (7)$$

d. Untuk periode lebih T_L , respons spektrum percepatan desain S_a dihitung dengan Persamaan 8.

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (8)$$

Dengan:

S_a = spektrum respons percepatan desain

S_{DS} = parameter percepatan respons spektrum pada periode pendek (0,2 detik)

S_s = parameter percepatan respons spektrum MCE (*Maximum Credible Earthquake*) dari Peta Gempa Indonesia 2010 pada periode pendek (0,2 detik)

T = Periode fundamental bangunan

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada

Gambar 6.

- e. Percepatan respon spektrum konstan mulai pada T_0 detik yang dihitung pada Persamaan 9 dan berakhir pada T_s detik yang dihitung dengan Persamaan 10.

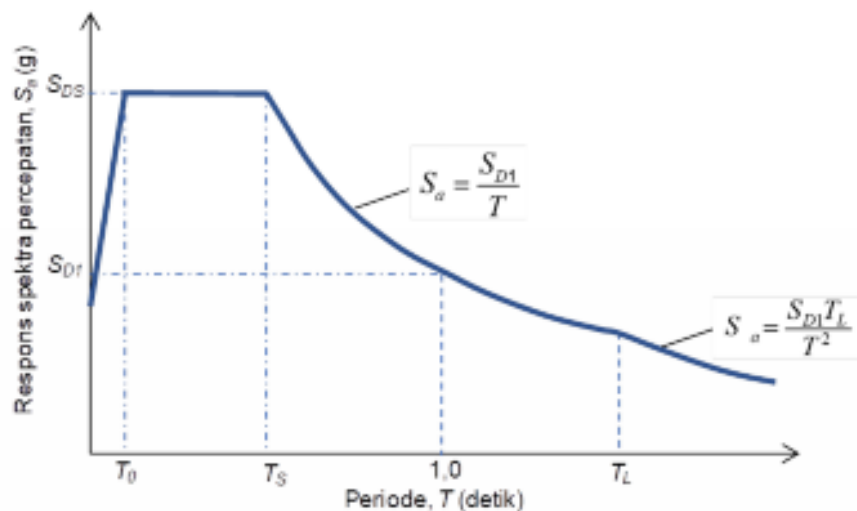
$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (9)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (10)$$

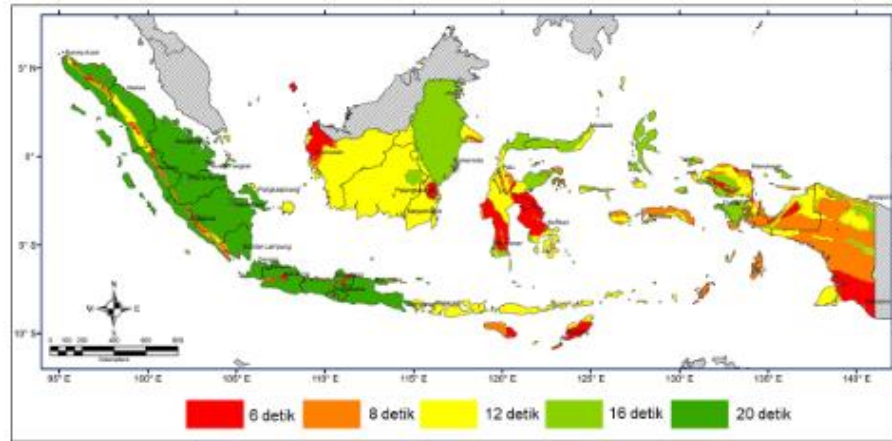
Dengan:

T_0 = waktu dimulainya Percepatan Respon Spektrum (S_{DS}) konstan

T_s = waktu berakhirnya Percepatan Respon Spektrum (S_{DS}) konstan



Gambar 5. Spektrum respons desain



Gambar 6. Peta transisi periode panjang, TL wilayah Indonesia

- f. Parameter respon spektrum yang telah dihitung, diantaranya: S_a , S_{Ds} , S_{D1} , T_0 , T_s , digunakan untuk membuat grafik respon spektrum desain seperti **Gambar 5**. Grafik respon spektrum desain dapat menjadi percepatan gempa masukan dalam analisis dinamik metode respon spektrum, dalam analisis dinamik riwayat waktu (*time history*) digunakan parameter respon dasar ragam pertama dan nilai rata-rata S_a pada periode $0,2T - 2,0T$ (dimana T adalah waktu getar alami struktur).

C. Peraturan Evaluasi Kinerja Struktur

Penerapan desain dan analisis perilaku serta kinerja struktur berdasarkan konsep *Performance Based Earthquake Engineering* di Indonesia ditandai dengan dibuatnya 6 peraturan terkait gedung dan gempa yaitu :

1. Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung.
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI-1726-2002.

3. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI-1726-2012.
4. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung SNI-1726-2019.
5. Peta Hazard Gempa Indonesia 2010.
6. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017.

Evaluasi kinerja struktur pada gedung bertingkat ini menerapkan konsep *Performance Based in Earthquake Engineering* bertujuan untuk mengetahui tingkat kenyamanan dan keamanan dari gedung. Setelah melakukan analisis dinamik maka diperoleh *drift* gedung akibat gempa, kemudian hasil tersebut dievaluasi untuk mengetahui tingkat kenyamanan dan keamanan pada gedung. Evaluasi kinerja struktur gedung diatur pada SNI-1726-2019 Tabel 20 dan ATC-40 yang digunakan untuk mengklasifikasikan level kinerja struktur.

Tabel 7. *Performance level* menurut ATC-40

	<i>Performance Level</i>			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maximum total drift</i>	0,01	0,01 – 0,02	0,02	$0,33 \frac{V_i}{P_i}$

Sumber: ATC-40, Tabel 11-2

D. Struktur Batang Bertulang

Dalam SNI 2847, 2013, beton adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat kasar, agregat halus, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200-2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah yang tidak menggunakan bahan tambahan. Larutan tambahan untuk memperbaiki sifat beton. Bahan-bahan tersebut dipilih dan dicampur dengan perbandingan tertentu dan digunakan untuk menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan yang diinginkan, karakteristik beton adalah mempunyai tegangan hancur tekan yang tinggi serta tegangan hancur tarik yang rendah, proses kimia pengikatan semen dengan air menghasilkan panas dan dikenal dengan proses hidrasi dimana air tersebut berfungsi sebagai pelumas untuk mengurangi gesekan antar butiran sehingga beton dapat dipadatkan dengan mudah, akan tetapi kelebihan air dari jumlah yang dibutuhkan akan menyebabkan butiran semen berjarak semakin jauh sehingga kekuatan beton akan berkurang. Tulangan adalah bagian dalam beton bertulang yang memiliki kuat Tarik yang baik sehingga dapat menambah kuat Tarik beton, tulangan terbuat dari baja, baik itu polos ataupun ulir dengan berbagai diameter. Pada Apartemen Kingland Avenue Serpong memiliki struktur beton bertulang sebagai berikut:

1. Kolom

Kolom merupakan konstruksi beton yang berfungsi sebagai tiang dari suatu bangunan dan juga merupakan konstruksi yang menyalurkan beban dari struktur yang berada di atasnya seperti balok, pelat dan atap yang kemudian

didistribusikan ke pondasi. Perbedaan dimensi kolom yang dibuat disebabkan karena perencanaan pembebanan yang berbeda-beda pada setiap lantainya. Karena kolom berfungsi sebagai penerus gaya akibat pembebanan, maka semakin ke bawah gaya yang diterima oleh kolom akan semakin besar, sehingga mempengaruhi dimensi dan penulangan yang harus digunakan

2. Balok

Balok merupakan bagian struktur yang memikul beban dari pelat lantai kemudian disalurkan ke kolom. Ada 2 jenis balok, yaitu balok induk dan balok anak. Balok induk merupakan balok yang bertumpu pada kolom, sedangkan balok anak bertumpu pada balok induk.

3. Plat

Pelat adalah elemen horizontal struktur yang mendukung beban mati maupun beban hidup dan menyalurkannya ke rangka vertikal dari sistem struktur.

4. *Shear Wall*

Shear wall adalah struktur vertikal yang digunakan pada bangunan tingkat tinggi. Fungsi utama dari dinding geser adalah menahan beban lateral seperti gaya gempa dan angin.

E. Jenis Beban Pada Struktur

Dalam merencanakan beban untuk rumah dan gedung diharuskan memperhatikan penggunaan beban-beban yang diijinkan dalam perencanaan tersebut. Termasuk juga reduksi beban hidup untuk perencanaan balok induk

dan portal serta peninjauan gempa, yang pemakaian optional bukan keharusan, terlebih lagi bila reduksi tersebut membahayakan konstruksi atau unsur konstruksi yang ditinjau (PPPURG, pasal 1.1.2).

Beban-beban yang akan bekerja selama umur struktur dapat diperkirakan secara akurat, baik jenis beban, arah beban, maupun dimana saja beban tersebut akan bekerja pada struktur. Dari sini akan diperoleh gambaran dasar bagaimana perilaku struktur setelah menerima beban, kemudian dilakukan analisis struktur yang lebih akurat dengan pemodelan dan perhitungan. *MC Cormac* (2004) menyatakan jenis beban yang bekerja pada struktur dapat dikelompokkan menjadi beban mati, beban hidup, dan beban pengaruh lingkungan.

1. Beban Mati

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin, serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu (PPPURG 1.3.1).

2. Beban Hidup

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghuni atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamannya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin, serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap kedalaman beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat

tekanan jatuh (*energy kinetic*) butiran air. Kedalaman beban hidup tidak termasuk beban angin, beban gempa, dan beban khusus yang disebut dalam ayat (3), (4) dan (5) (PPPURG 1,3,2)

3. Beban Pengaruh Lingkungan

Beban lingkungan adalah beban yang disebabkan oleh lingkungan dimana struktur berada. Untuk bangunan, beban lingkungan disebabkan oleh angin, perubahan temperatur, tekanan tanah, dan gempa bumi. Dalam penelitian ini beban lingkungan yang diperhitungkan dalam analisis adalah beban akibat gempa.

F. ETABS

ETABS adalah salah satu *software* yang sangat populer di dunia teknik sipil. *Software* ini sangat cocok digunakan dalam melakukan pemodelan struktur, analisis dan desain. *ETABS* dan *SAP 2000* adalah *software* yang dibuat oleh *CSI Berkeley*. *ETABS* menjadi pilihan utama bagi para *engineer* dalam melakukan analisis dinamik untuk proyek-proyek yang besar. Apabila dilakukan perhitungan secara manual, maka akan membutuhkan waktu yang tidak sedikit karena analisis dinamik tidak sama dengan analisis statik yang cukup mengandalkan konsep kesetimbangan gaya.

G. Autodesk Revit

Autodesk Revit adalah sebuah program grafis tiga dimensi berbasis *BIM* (*Building Information Modeling*) Program ini memberikan hasil utama yang berupa gambar sketsa grafik tiga dimensi, bukan hanya gambar tiga dimensi saja program ini dapat mensimulasikan berbagai kebutuhan informasi proyek

dalam bentuk pemodelan gambar 3 (Tiga) dimensi. *Autodesk Revit* juga memiliki kelebihan pada kemudahan penggunaan dan kecepatan dalam melakukan desain, serta menyenangkan berbeda dengan program sejenis *CAD (Computer Aided Design)* lainnya. Program ini dilengkapi *tool-tool* yang disederhanakan, disertai sistem penggambaran dan tampilan yang tidak rumit. Baik desain rancangan rumah, peta, ataupun bangun untuk pemodelan pembelajaran, dapat menggunakan *Autodesk Revit* untuk menyajikan ide dalam bentuk tiga dimensi.

H. Penelitian Terdahulu

1. Mayka Purnama Putra (2021) dalam penelitian yang berjudul “Evaluasi Kinerja Gedung Bertingkat Menggunakan Metode *Time History* studi kasus Apartemen *Kingland Avenue Serpong*” menggunakan *software Etabs 2016* dalam menyelesaikan penelitiannya dan objek penelitian yang sama dengan penulis yaitu Apartemen *Kingland Avenue Serpong*. Dalam penelitian tersebut Mayka menyimpulkan bahwa :

1) *Drift* atau simpangan antar tingkat

Hasil dari kontrol *drift* atau simpangan antar tingkat izin (Δ_a) berdasarkan Tabel 20. SNI 1726-2019 adalah:

- a. Apabila gedung dianalisis menggunakan rekaman gempa Kobe 1995, *drift* arah X terdapat 1 lantai yang tidak memenuhi syarat *drift* atau simpangan antar tingkat izin (Δ_a).

- b. Apabila gedung dianalisis menggunakan gempa Kobe 1995, *drift* atau simpangan arah Y memenuhi syarat *drift* atau simpangan antar tingkat izin (Δ_a).
- c. Apabila gedung dianalisis menggunakan rekaman gempa Chi-Chi 1999 arah X dan arah Y maka nilai *drift* atau simpangan memenuhi syarat *drift* atau simpangan antar tingkat izin (Δ_a).
- d. Apabila gedung dianalisis menggunakan rekaman gempa El Centro 1940 arah X dan arah Y maka nilai *drift* atau simpangan memenuhi persyaratan nilai *drift* atau simpangan antar tingkat izin (Δ_a).

2) *Maximum Total Drift*

Menurut ATC-40, apabila gedung dianalisis menggunakan rekaman gempa Chi Chi 1999, rekaman gempa Kobe 1995, rekaman gempa El Centro 1940, maka gedung termasuk dalam level kinerja *Damage Control* (DC), yaitu struktur bangunan yang dalam pasca gempa, kerusakan yang terjadi bervariasi diantara kategori *Immediate Occupancy* dan *Life Safety*. Resiko korban jiwa sangat rendah. Ada kemungkinan struktur bangunan rusak, namun tidak runtuh.

2. Kabul Budi Asmara, Universitas Lampung (2021) dengan judul “Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tinggi Dengan Analisis *Pushover* Menggunakan Aplikasi Pemodelan Struktur studi kasus Apartemen *Kingland Avenue Serpong*”. Dalam penelitian tersebut didapatkan hasil :
 - 1) Dari analisis *pushover*, diperoleh *performance point* arah x dan arah y yang menunjukkan bahwa gedung berperilaku daktail parsial. Hal

tersebut ditunjukkan dengan nilai rasio daktilitas arah x sebesar 1,0778 dan arah y sebesar 1,2131, dimana nilai rasio daktilitasnya diantara 1 sampai 5,3.

- 2) Besar perpindahan atap yang terjadi pada arah x sebesar 0,6292 m dan pada arah y sebesar 0,7599 m.
- 3) Rasio simpangan total maksimum pada arah x sebesar 0,005 dan arah y sebesar 0,006. Rasio simpangan tersebut kurang dari 0,01, maka berdasarkan ATC-40 struktur termasuk ke dalam kategori Immediate Occupancy. Apabila terjadi gempa hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. *The Venetian Tower* berada pada level kinerja IO atau aman jika gempa yang terjadi adalah berada pada skala MMI VIII atau 6 S.R. Gempa tersebut memiliki kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah 2 %.
- 4) Mekanisme sendi plastis terjadi pada balok terlebih dahulu. Hal tersebut menunjukkan bahwa struktur sesuai dengan konsep *Strong Column Weak Beam* (SCWB).
- 5) Pengecekan kapasitas dilakukan pada satu balok dan kolom yang terletak di As 8/B lantai *basement* 2. Lokasi tersebut dipilih berdasarkan titik krusial yaitu titik dimana elemen struktur memiliki kapasitas paling rendah.
- 6) Balok pada As 8/B lantai *basement* 2 ditinjau menggunakan SNI 2847:2019 menunjukkan bahwa aman terhadap gaya geser akan tetapi pada tumpuan tidak aman terhadap momen lentur dan torsi. Untuk meningkatkan kapasitas lentur dan torsi, dapat dilakukan dengan

menambah jumlah tulangan longitudinal dan memperbesar diameter tulangan transversal.

- 7) Penampang kolom pada As 8/B lantai basement 2 memenuhi syarat gaya, geometri, dan rasio tulangan sesuai SNI 2847;2019.
- 8) Berdasarkan analisis yang dilakukan, balok dan kolom yang ditinjau memenuhi persyaratan *Strong Column - Weak Beam* (SCWB).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Model Struktur

Penelitian ini dilakukan menggunakan data struktur Apartemen yang ada di daerah Serpong, Tangerang Selatan. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 7.**



Sumber: PT. Totalindo Eka Persada

Gambar 7. Lokasi Penelitian

B. Data dan Alat

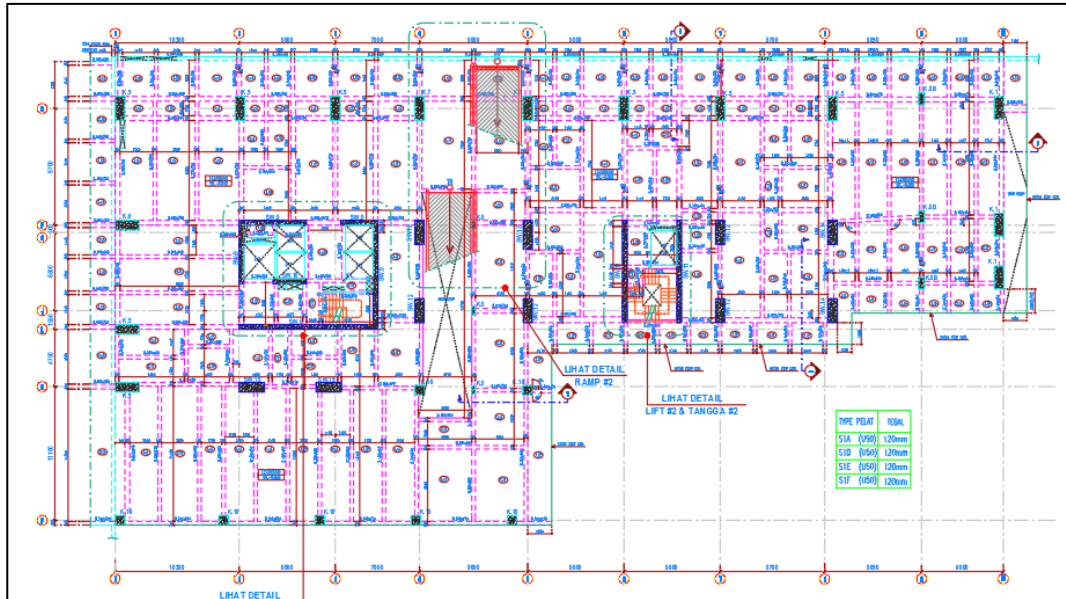
1. Data Struktur Gedung

Penelitian ini dilakukan pada gedung Apartemen *Kingland Avenue* yang berada di daerah Tangerang Selatan. Struktur gedung beton bertulang dengan ketinggian 24 lantai dan *roof*. Bangunan tersebut berdiri diatas *basement* sedalam dua lapis. Deskripsi mengenai struktur gedung dijelaskan seperti pada **Tabel 8**, gambar denah struktur ditampilkan pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**.

Tabel 8. Deskripsi Gedung

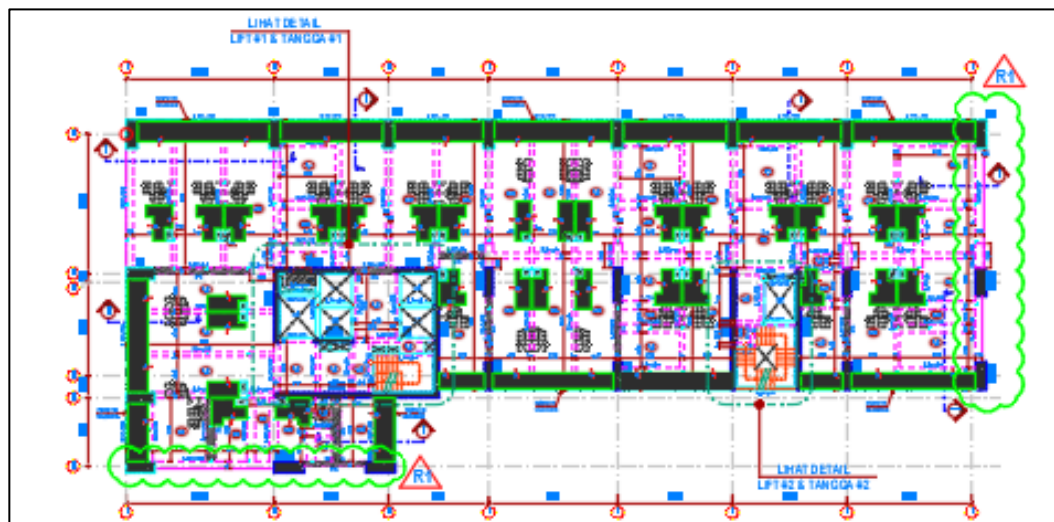
Nama Gedung	Apartemen <i>Kingland Avenue</i>
Fungsi Gedung	Tempat Hunian /Apartemen
Jumlah Lantai	24
Tinggi lantai tipikal	5 m
Tinggi dari muka tanah	± 116,7 m
Jumlah Lantai <i>basement</i>	2
Kedalaman <i>basement</i>	- 6,7 m

Sumber : PT. Totalindo Eka Persada, Tbk



Sumber : PT. Totalindo Eka Persada, Tbk

Gambar 8. Denah lantai *basement 2* – lantai 4



Sumber : PT. Totalindo Eka Persada, Tbk

Gambar 9. Denah lantai 5 – roof

2. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Laptop

Sebagai perangkat keras yang digunakan untuk membuat permodelan struktur 3 dimensi. Dalam penelitian ini, digunakan laptop *ASUS VivoBook Max X441BA*, dengan processor *AMD A9 Radeon R5*, RAM 8 GB, SSD 256 GB dan HDD 500 GB

a. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1) *ETABS 2018*

Aplikasi ini digunakan untuk membuat model 3D sekaligus melakukan analisis kinerja struktur.

2) *REVIT 2019*

Aplikasi ini digunakan untuk membuat model 3D dan analisis volume struktur Apartemen *Kingland Avenue* Serpong.

C. Pelaksanaan Penelitian

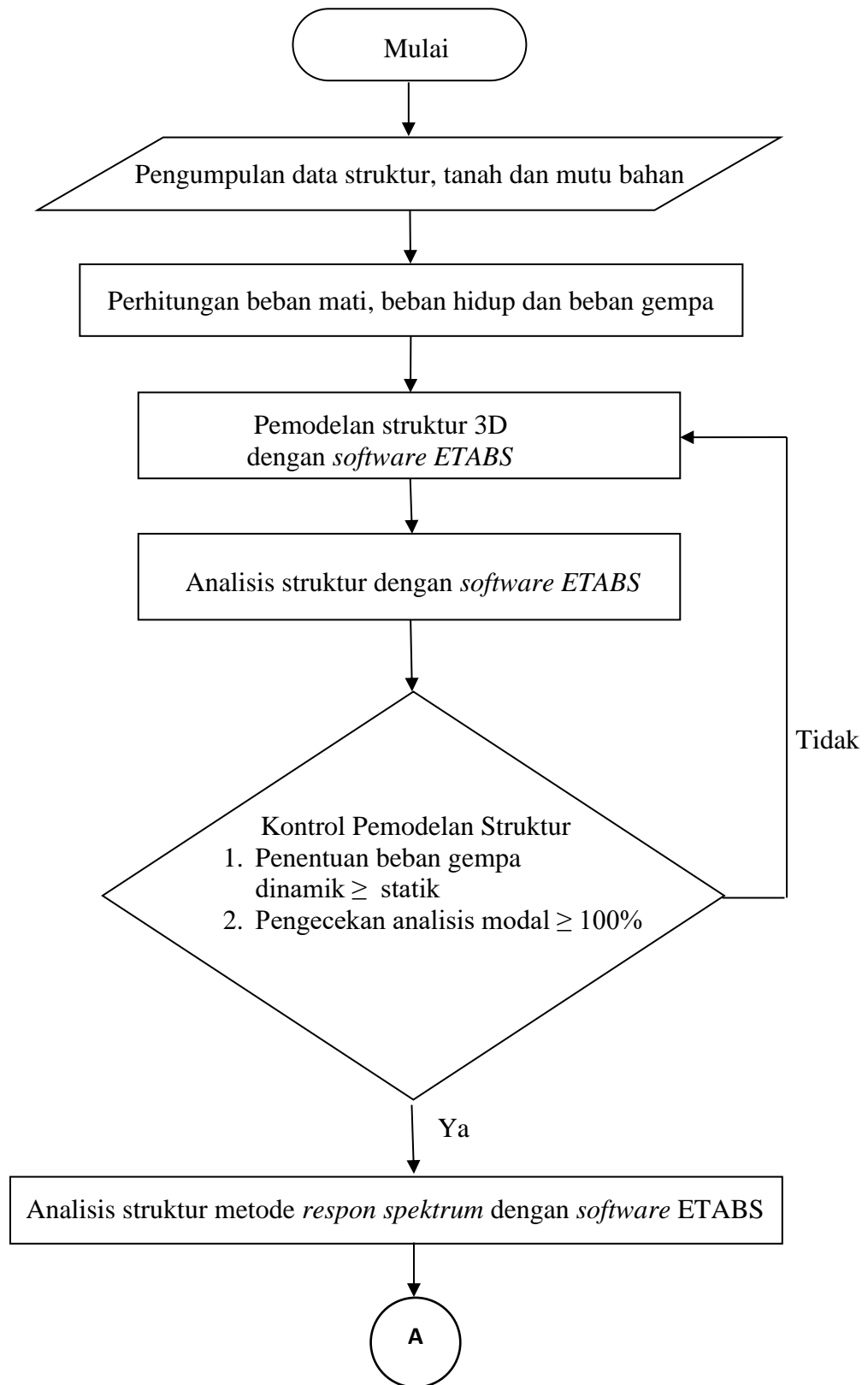
Proses pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap, seperti:

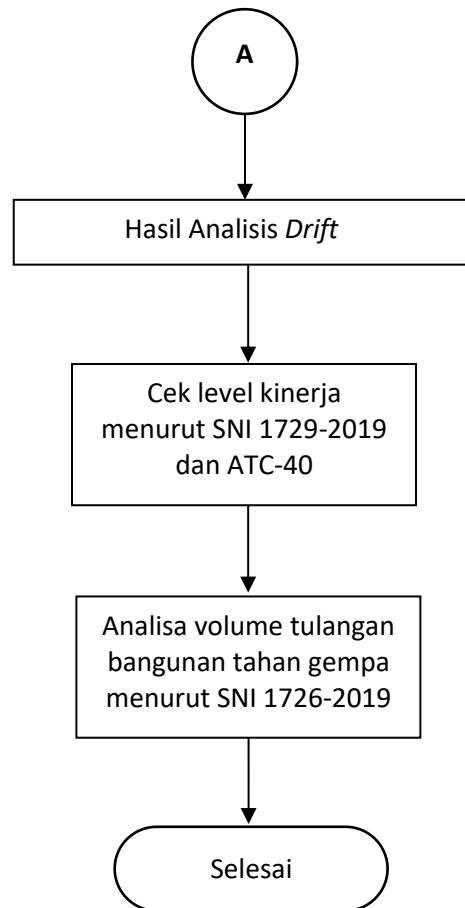
1. Pengumpulan data struktur gedung Apartemen *Kingland Avenue*. Data yang dikumpulkan berupa gambar *shop drawing*. Dan data manajemen konstruksi yang digunakan sesuai dengan data yang sudah ada.
2. Pengambilan data desain respon spektrum pada laman rsapuskim2019.litbang.pu.go.id.

3. Melakukan pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak *microsoft excel, notepad*, dan pembuatan permodelan struktur 3 dimensi dari gedung Apartemen *Kingland Avenue* dengan *software ETABS*.
4. Menghitung dan menentukan beban, antara lain:
 - a. Beban mati
 - b. Beban hidup
 - c. Beban gempa yang menggunakan analisis respon spektrum.
5. Evaluasi kinerja struktur dari hasil *drift* yang didapatkan pada *software ETABS v 2018* berdasarkan SNI 1726-2019 dan ATC-40.
6. Melakukan analisis volume tulangan struktur dari hasil pengolahan pada *software REVIT . 2019*.
7. Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, dibuat kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

D. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 10**.





Gambar 10. Diagram Alir Penelitian.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. *Drift* atau simpangan antar tingkat

Hasil dari kontrol *drift* atau simpangan antar tingkat izin (Δ_a) berdasarkan Tabel 20. SNI 1726-2019 adalah:

- a. *Drift* atau simpangan arah X memenuhi syarat *drift* atau simpangan antar tingkat izin (Δ_a).
- b. *Drift* atau simpangan arah Y memenuhi syarat *drift* atau simpangan antar tingkat izin (Δ_a).

2. *Performance point* berdasarkan ATC-40 diperoleh nilai maksimum *drift* arah X sebesar 0,0016 dan arah Y sebesar 0,0020 nilai tersebut kurang dari 0,01 sehingga dikategorikan sebagai *Immediate Occupancy* (IO), yaitu bila terjadi gempa hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.

3. Perbandingan volume tulangan terpasang dengan desain penulangan baru pada balok B9 dan kolom K5 secara keseluruhan terjadi penurunan jumlah tulangan pokok dan jumlah sengkang dengan besar diameter tulangan masih sama. Pada balok B9 selisih berat tulangan pokok terpasang dengan desain penulangan baru adalah sebesar 18% dan tulangan sengkang 6%. Sedangkan pada kolom K5 selisih berat tulangan pokok terpasang dengan desain penulangan baru adalah sebesar 9% dan tulangan sengkang 32%. Berdasarkan nilai volume masing-masing pada tulangan pokok dan sengkang balok B9 dan kolom K5 diperoleh hasil volume tulangan terpasang lebih besar dari volume tulangan desain terhadap gempa metode respon spektrum, hal ini sejalan dengan hasil analisis pada kinerja struktur dengan nilai simpangan atau *drift* tidak lebih dari batas izin simpangan antar lantai pada SNI 1726-2019, sehingga penulangan struktur yang terpasang pada Apartemen Kingland Avenue Serpong sudah memenuhi desain penulangan terhadap gempa untuk metode respon spektrum.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Penggunaan analisis gempa dalam desain penulangan struktur sangat penting, mengingat wilayah Indonesia yang rawan terjadi gempa bumi.
2. Pemodelan struktur bangunan dengan aplikasi *Tekla BIMsight* agar lebih efektif dalam analisis kinerja dan sekaligus manajemen konstruksi.
3. *Building Information Modelling* (BIM) dalam perencanaan konstruksi perlu ditingkatkan penerapannya, sehingga pekerjaan dapat berjalan semakin efektif dan kedepannya bidang konstruksi dapat semakin berkembang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggen, W., Budi, A. S., dan Gunawan, P. (2014). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Menggunakan Etabs (Studi Kasus: Hotel Di Daerah Karanganyar). *Matriks Teknik Sipil*, 2(3).
- Anonim. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. *SNI-1726-2019*.
- ATC 40, *Seismic evaluation and retrofit of existing concrete buildings*. Redwood City (CA): *Applied Technology Council*, 1996.
- Tim Revisi Peta Gempa Indonesia. (2010). *Peta hazard gempa Indonesia 2010*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional . 2013. SNI 03-2847-2013 “*Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*”. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Erlangga Subakti, A. 1994. “*Teknologi Beton dalam Praktek*”. Surabaya .Teknik Sipil ITS.

Mayka Purnama Putra, (2021). “Evaluasi Kinerja Gedung Bertingkat Menggunakan Metode *Time History*” (studi kasus Apartemen *Kingland Avenue Serpong*). Teknik Sipil Universitas Lampung.

Kabul Budi Asmara, (2021) “Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tinggi Dengan Analisis *Pushover* Menggunakan Aplikasi Pemodelan Struktur” (studi kasus Apartemen *Kingland Avenue Serpong*). Teknik Sipil Universitas Lampung.