

**EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT
AKIBAT PENGARUH BEBAN GEMPA DENGAN
ANALISIS DINAMIK RESPON SPEKTRUM
(Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Kantor DJBC Wilayah
Sumatera Bagian Barat)**

(Skripsi)

Oleh

YOSAFAT DIMAS DWIKI ADVENTAMA

(1815011064)



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT
AKIBAT PENGARUH BEBAN GEMPA DENGAN
ANALISIS DINAMIK RESPON SPEKTRUM
(Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Kantor DJBC Wilayah
Sumatera Bagian Barat)**

Oleh

YOSAFAT DIMAS DWIKI ADVENTAMA

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT AKIBAT PENGARUH BEBAN GEMPA DENGAN ANALISIS DINAMIK RESPON SPEKTRUM (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Kantor DJBC Wilayah Sumatera Bagian Barat)

Oleh

YOSAFAT DIMAS DWIKI ADVENTAMA

Indonesia merupakan suatu negara yang memiliki wilayah dengan risiko bencana gempa bumi yang tinggi. Dengan terjadinya gempa di Indonesia, cukup banyak menyebabkan kerusakan pada infrastruktur-infrastruktur yang sudah dibangun, khususnya infrastruktur gedung bertingkat. Dalam hal ini gempa yang menyebabkan getaran tidak dapat ditahan oleh gedung tersebut. Oleh karena itu, untuk mengurangi dampak buruk yang diperoleh dari gempa bumi dibutuhkan perencanaan dan evaluasi kekuatan struktur gedung dengan ketahanan terhadap beban gempa.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis dinamik respon spektrum untuk mendapatkan gaya dalam akibat beban gempa. Evaluasi kekuatan struktur gedung yang dilakukan menggunakan bantuan software analisis struktur supaya mempermudah dalam melakukan analisis. Adapun tujuan dari penelitian ini, untuk mengetahui perbandingan kekuatan yang diperlukan pada kondisi tanpa beban gempa dan kondisi akibat beban gempa terhadap kekuatan yang direncanakan pada struktur.

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa kuat perlu yang diperoleh kondisi tanpa beban gempa mencapai 0,19% s.d 100% kekuatan rencana, sedangkan pada kondisi akibat beban gempa kuat perlu yang diperoleh mencapai 2,20% s.d 126,67% kekuatan yang direncanakan.

Kata kunci : gempa, kekuatan struktur, analisis dinamik, respon spektrum

ABSTRACT

EVALUATION OF STRUCTURE STRENGTH OF STORE BUILDING DUE TO THE EFFECT OF EARTHQUAKE LOAD USING SPECTRUM RESPONSE DYNAMIC ANALYSIS (Studi Kasus: Building Construction Project of West Sumatra Regional DJBC Office)

By

YOSAFAT DIMAS DWIKI ADVENTAMA

Indonesia is a country that is at risk of earthquakes. With the earthquakes in Indonesia, a lot of damage has been inflicted on the infrastructure that has been constructed, especially the infrastructure of high-rise buildings. In this case, the earthquake that caused the vibration cannot be resisted by the building. Therefore, to reduce the adverse effects obtained from earthquakes, it is necessary to design and evaluate the strength of building structures with resistance to earthquake loads.

The method used in this study is dynamic response spectrum analysis to obtain the internal force due the earthquake load. Evaluation of the strength of the building structure is carried out using structural analysis software to make it easier to do the analysis. This study aims to determine the ratio of the required strength in conditions without earthquake loads and conditions due to earthquake loads to the designed strength of the structure.

Based on the results of this study, it can be concluded that the required strength obtained in conditions without an earthquake load reaches 0.19% to 100% of the designed strength, whereas in conditions due to strong earthquake loads the required strength obtained reaches 2.20% to 126.67% of the designed strength.

Key words : dynamic analysis, earthquake, response spectrum, structural strength

Judul Skripsi : **EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT AKIBAT PENGARUH BEBAN GEMPA DENGAN ANALISIS DINAMIK RESPON SPEKTRUM (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Kantor DJBC Wilayah Sumatera Bagian Barat)**

Nama Mahasiswa : **YOSAFAT DIMAS DWIKI ADVENTAMA**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011064

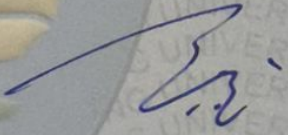
Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

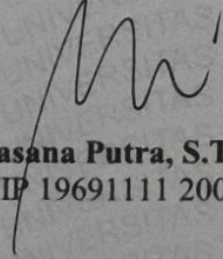
1. Komisi Pembimbing

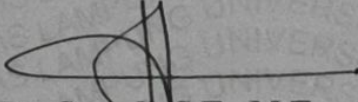

Bayzoni, S.T., M.T.
NIP 19730514 200003 1 001


Hasti Riakara Husni, S.T., M.T.
NIP 19740530 200012 2 001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil

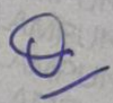
3. Ketua Program Studi Teknik Sipil

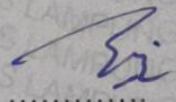

Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP 19691111 200003 1 002


Dr. Suyadi, S.T., M.T.
NIP 19741225 200501 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Bayzoni, S.T., M.T. 

Sekretaris : Hasti Riakara Husni, S.T., M.T. 

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

2. Dekan Fakultas Teknik


Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. 
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 Juni 2025

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : YOSAFAT DIMAS DWIKI ADVENTAMA
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011064
Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil
Fakultas : Teknik

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul **“EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT AKIBAT PENGARUH BEBAN GEMPA DENGAN ANALISIS DINAMIK RESPON SPEKTRUM (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Kantor DJBC Wilayah Sumatera Bagian Barat)”** 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, 10 Juni 2025
Penulis,



Yosafat Dimas Dwiki A.
NPM. 1815011064

RIWAYAT HIDUP



Nama penulis adalah Yosafat Dimas Dwiki Adventama yang dilahirkan pada Hari Sabtu, Tanggal 27 November 1999. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara, dan merupakan putra dari Bapak Albertus Prawoko dan Ibu Agnes Emi. Penulis memiliki kakak yang Bernama Hilda Wigati Diprapaska. Penulis memulai Pendidikan di jenjang yaitu TK Xaverius Ngestirahayu dan selesai pada tahun 2006, kemudian melanjutkan Pendidikan di SD Negeri 2 Ngestirahayu yang di selesaikan pada tahun 2012. Pada tahun 2015 penulis menyelesaikan Pendidikan di SMP Negeri 1 Punggur dan di lanjutkan dengan Pendidikan di SMA negeri 1 Kotagajah hingga selesai pada tahun 2018.

Ketika selesai di Pendidikan Sekolah Menengah Akhri, penulis melanjutkan Pendidikan sebagai Mahasiswa S1 di Universitas Lampung pada 2018. Penulis diterima lewat jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa Teknik Sipil, penulis ikut dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS Unila) sebagai anggota Departemen K2 Periode 2019/2020 sampai dengan Periode 2020/2021 dan Puji Tuhan dipilih menjadi Kepala Divisi dibidang Keolahragaan Periode 2020/2021 sampai dengan Periode 2021/2022. Penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa masing-masing dikarenakan ada wabah Covid-19. KKN dilaksanakan pada bulan Januari s.d Februari tahun 2021 di desa Ngestirahayu, Kec. Punggur, Kab. Lampung Tengah. Selama menjalani perkuliahan penulis melakukan Kerja Praktik di Proyek Pekerjaan Rancang dan Bangun (*Design & Build*) Pembangunan Pegadaian *Tower* di Kota Jakarta Pusat selama 3 bulan dari bulan November 2021 s.d Febuari 2022. Kemudian penulis mengambil tugas akhir dengan judul Evaluasi Kekuatan Struktur Gedung Bertingkat Akibat Pengaruh Beban Gempa Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Kantor DJBC Wilayah Sumatera Bagian Barat).

MOTO HIDUP

"Jangan takut untuk mencoba hal baru, karena kegagalan adalah bagian dari kesuksesan."

"Satu-satunya cara untuk melakukan pekerjaan hebat adalah dengan mencintai apa yang Anda lakukan."

(Steve Jobs)

" Siapa pun yang tidak pernah melakukan kesalahan tidak pernah mencoba hal baru."

(Albert Einstein)

" Hidup itu mudah, jika kamu senang tersenyumlah. Jika kamu sedih, tertawalah."

(Patrick Star)

PERSEMBAHAN

Puji dan syukur tercurahkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas segala Rahmat dan Karunia-Nya.

Akhirnya saya dapat menyelesaikan Skripsi saya yang semoga menjadikan saya insan yang berguna dan bermanfaat.

Saya persembahkan karya ini :

Kepada orang tua yang sangat saya cintai. Kepada ayah saya yang Bernama Bapak Albertus Prawoko dan ibu saya yang Bernama Ibu Agnes Emi yang selalu memberikan ketenangan, kenyamanan, motivasi, doa terbaik, dan menyisihkan finansialnya, sehingga saya bisa menyelesaikan masa studi saya, kalian sangat berarti bagi saya.

Kepada kakak saya Hilda Wigati Diprapaska yang telah memberikan semangat dan semoga kita semua menjadi anak yang membanggakan kedua orang tua.

Kepada teman-teman dan sahabat yang selama ini telah mendukung dan menjadi tempat berbagi keluh kesah dan solusi.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat dan anugrah-Nya yang telah diberikan kepada penulis dengan segala rasa cinta dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini yang berjudul **“Evaluasi Kekuatan Struktur Gedung Bertingkat Akibat Pengaruh Beban Gempa Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum”**.

Selesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih ditujukan kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat, Rahmat dan karunia serta mukzizat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi.
2. Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan doa, bimbingan, kepercayaan, dan semangat baik moral maupun materi dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM. selaku Rektor Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
5. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
6. Bapak Suyadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
7. Bapak Bayzoni, S.T., M.T. selaku Pembimbing Utama yang telah memberikan saran, kritik dan ilmu pengetahuannya dalam penelitian ini.
8. Ibu Hasti Riakara Husni, S.T., M.T. selaku Pembimbing kedua yang telah memberikan saran, kritik dan ilmu pengetahuannya dalam penelitian ini.

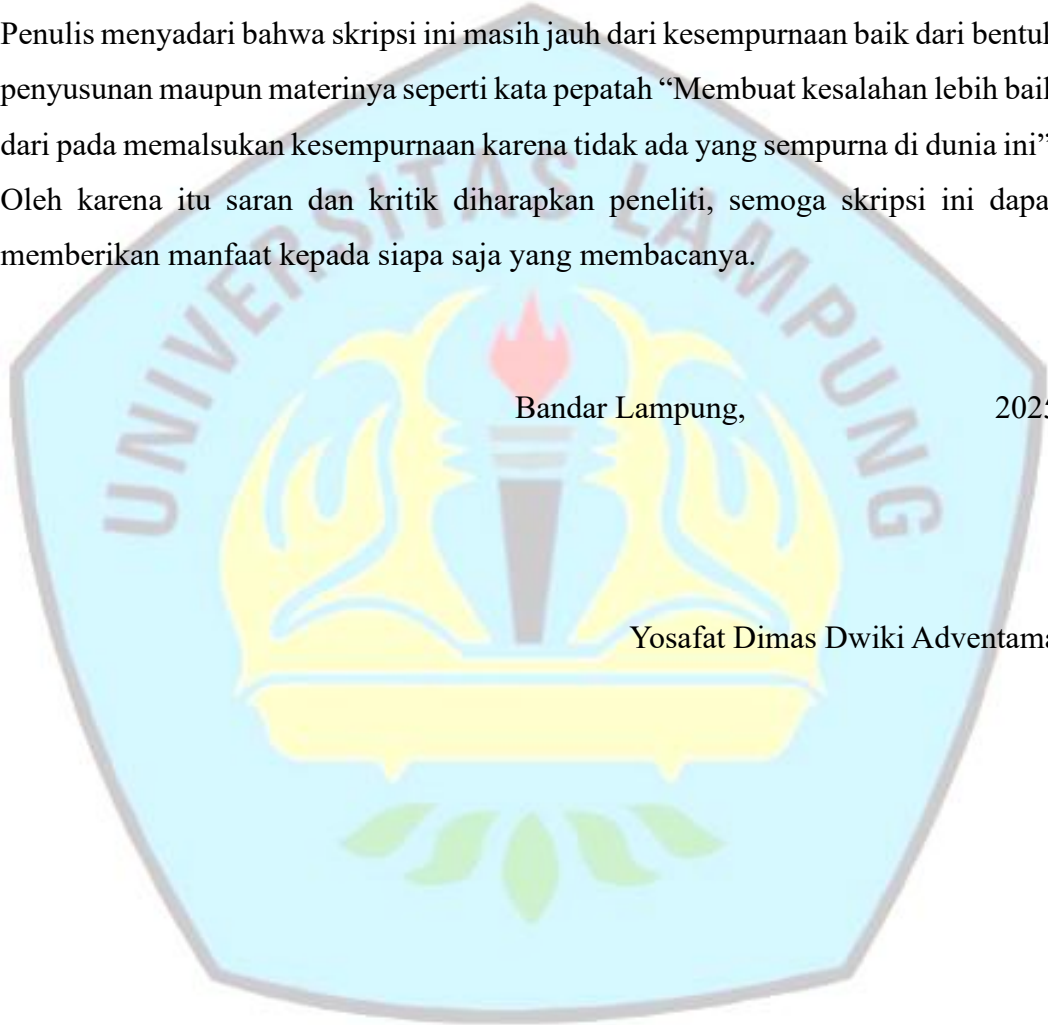
9. Bapak Dr. Mohd. Isneini, S.T., M.T., selaku Penguji yang telah memberikan saran, kritik dan ilmu pengetahuannya dalam penelitian ini.
10. Bapak dan Ibu Dosen serta semua staf Teknik Sipil, Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu dan bantuannya selama menjalani perkuliahan.
11. Terimakasih juga untuk teman-teman satu Angkatan 2018 Teknik Sipil Universitas Lampung yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan baik dari bentuk penyusunan maupun materinya seperti kata pepatah “Membuat kesalahan lebih baik dari pada memalsukan kesempurnaan karena tidak ada yang sempurna di dunia ini”. Oleh karena itu saran dan kritik diharapkan peneliti, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada siapa saja yang membacanya.

Bandar Lampung,

2025

Yosafat Dimas Dwiki Adventama



DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tinjauan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Uraian Umum	5
2.2. Elemen Struktur	6
2.2.1. Pelat.....	6
2.2.2. Balok	6
2.2.3. Kolom.....	7
2.3. Sistem Struktur	7
2.4. Pembebanan Struktur	8
2.4.1. Beban Hidup	8
2.4.2. Beban Mati.....	8
2.4.3. Beban Gempa	9
2.4.4. Beban Kombinasi.....	9
2.5. Analisis Dinamik	10
2.6. Ketentuan Struktur Terhadap Pengaruh Gempa	11
2.6.1. Gempa Rencana	11
2.6.2. Kategori Resiko Struktur Bangunan	11

2.6.3.	Faktor Keutamaan Gempa	13
2.6.4.	Klasifikasi Situs	14
2.6.5.	Wilayah Gempa.....	15
2.6.6.	Koefisien Situs	16
2.6.7.	Parameter Percepatan Spektral Desain	17
2.6.8.	Spektrum Respon Desain	17
2.6.9.	Kategori Desain Seismik.....	17
2.7.	Kontrol Dinamis Struktur	18
2.8.	Faktor Reduksi Kekuatan.....	22
2.9.	Evaluasi Kekuatan Struktur	24
2.9.1.	Dasar-Dasar dalam Perhitungan.....	24
2.9.2.	Evaluasi Struktur Pelat.....	25
2.9.3.	Evaluasi Struktur Balok	25
2.9.4.	Evaluasi Struktur Kolom.....	27
2.10.	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	29
2.10.1.	Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	29
2.10.2.	Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	31

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1.	Pendekatan Penelitian	32
3.2.	Objek Penelitian.....	32
3.3.	Data Penelitian	33
3.3.1.	Luas Bangunan	36
3.3.2.	Elevasi Bangunan	36
3.3.3.	Struktur Balok	36
3.3.4.	Struktur Kolom	37
3.3.5.	Struktur Pelat.....	37
3.3.6.	Data Tanah	38
3.4.	Prosedur Penelitian	39
3.4.1.	Studi Literatur	39
3.4.2.	Pengumpulan Data	39
3.4.3.	Analisis Data	40

3.5.	Diagram Alir Penelitian	42
------	-------------------------------	----

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.	Data Struktur Gedung	45
4.1.1.	Spesifikasi Material	45
4.1.2.	Spesifikasi Elemen Struktur	45
4.2.	Pemodelan Struktur.....	47
4.3.	Pembebanan Struktur.....	48
4.3.1.	Beban Mati.....	48
4.3.2.	Beban Hidup	48
4.3.3.	Beban Gempa.....	49
4.4.	Kombinasi Pembebanan	53
4.5.	Analisis Struktur	54
4.6.	Pemeriksaan Respon Dinamis Struktur	58
4.6.1.	Pemeriksaan Rasio Partisipasi Massa	58
4.6.2.	Pemeriksaan Periode Fundamental	59
4.6.3.	Pemeriksaan Gaya Geser Dasar	60
4.6.4.	Pemeriksaan Simpangan Antar Tingkat.....	62
4.7.	Evaluasi Kekuatan Struktur Balok.....	64
4.7.1.	Pemeriksaan Kuat Rancang Struktur Balok.....	64
4.7.2.	Evaluasi Kapasitas Lentur Balok	64
4.7.3.	Evaluasi Kapasitas Geser Balok	74
4.7.4.	Evaluasi Tulangan Akibat Torsi	81
4.8.	Evaluasi Kekuatan Struktur Kolom	83
4.8.1.	Pemeriksaan Kapasitas Beban Aksial pada Kolom	83
4.8.2.	Pemeriksaan Penulangan Kolom	84
4.8.2.1 .	Pemeriksaan Tulangan Longitudinal Kolom	84
4.8.2.2 .	Periksa Tulangan Transversal Kolom	108
4.9	Evaluasi Kekuatan Struktur Pelat.....	109
4.9.1	Pembebanan pada Struktur Pelat.....	109
4.9.2	Pemeriksaan Jenis Struktur Pelat	110
4.9.3	Pemeriksaan Ketebalan Struktur Pelat.....	110

4.9.4	Pemeriksaan Kapasitas Lentur pada Struktur Pelat	112
-------	--	-----

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.	Kesimpulan	118
5.2.	Saran	119

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Parameter spektral percepatan gempa untuk periode 1 detik (S1)	15
2.2. Parameter spektral percepatan gempa untuk periode pendek detik (Ss)	15
2.3. Respon Spektrum Desain.....	17
2.4. Penentuan Simpangan Antar Tingkat	21
2.5. Distribusi tegangan dan regangan tarik netto pada komponen non prategang	23
2.6. Diagram Interaksi Kolom	27
3.1. Objek Penelitian.....	32
3.2. <i>Site Plan</i>	33
3.3. Tampak Depan Gedung	34
3.4. Tampak Belakang Gedung	34
3.5. Tampak Samping Kanan Gedung	35
3.6. Tampak Samping Kiri Gedung	35
3.7. Diagram Alir Penelitian	43
4.1. Penulangan Balok B3	46
4.2. Penulangan Kolom K1	46
4.3. Penulangan Pelat S1	47
4.4. Hasil Pembacaan Nilai N-SPT	49
4.5. Faktor R, C _d , dan Ω untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik.....	52
4.6. Simpangan Antar Tingkat Arah X.....	63
4.7. Simpangan Antar Tingkat Arah Y	64
4.8. Perbandingan Kuat Perlu dan Kuat Rancang pada Balok B1	72
4.9. Perbandingan Kuat Perlu dan Kuat Rancang pada Balok B2.....	72
4.10. Perbandingan Kuat Perlu dan Kuat Rancang pada Balok B3.....	73

4.11. Perbandingan Kuat Perlu dan Kuat Rancang pada Balok A1A.....	73
4.12. Perbandingan Kuat Perlu dan Kuat Rancang pada Balok A2A.....	74
4.13. Perbandingan Kekuatan Geser pada Balok B1	79
4.14. Perbandingan Kekuatan Geser pada Balok B2	79
4.15. Perbandingan Kekuatan Geser pada Balok B3	80
4.16. Perbandingan Kekuatan Geser pada Balok A1A.....	80
4.17. Perbandingan Kekuatan Geser pada Balok A2A.....	81
4.18. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi Pmaks Tanpa Beban Gempa.....	86
4.19. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi Pmin Tanpa Beban Gempa	86
4.20. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi Mux maks Tanpa Beban Gempa.....	87
4.21. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi Mux min Tanpa Beban Gempa.....	87
4.22. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi Muy maks Tanpa Beban Gempa.....	88
4.23. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi Muy min Tanpa Beban Gempa.....	88
4.24. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi Pmaks Dengan Beban Gempa.	89
4.25. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi Pmin Dengan Beban Gempa.)	89
4.26. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi Mux maks Dengan Beban Gempa.	90
4.27. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi Mux min Dengan Beban Gempa.	90
4.28. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi Muy maks Dengan Beban Gempa.	91
4.29. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi Muy min Dengan Beban Gempa.	91
4.30. Diagram Interaksi Kolom K2 pada Kondisi Pmaks Tanpa Beban Gempa.....	93
4.31. Diagram Interaksi Kolom K2 pada Kondisi Pmin Tanpa Beban Gempa.	94
4.32. Diagram Interaksi Kolom K2 pada Kondisi Mux maks Tanpa Beban Gempa.....	94

4.33. Diagram Interaksi Kolom K2 pada Kondisi Mux min Tanpa Beban Gempa.	95
4.34. Diagram Interaksi Kolom K2 pada Kondisi Muy maks Tanpa Beban Gempa.	95
4.35. Diagram Interaksi Kolom K2 pada Kondisi Muy min Tanpa Beban Gempa.	96
4.36. Diagram Interaksi Kolom K2 pada Kondisi Pmaks Dengan Beban Gempa.	96
4.37. Diagram Interaksi Kolom K2 pada Kondisi Pmin Dengan Beban Gempa.	97
4.38. Diagram Interaksi Kolom K2 pada Kondisi Mux maks Dengan Beban Gempa.	97
4.39. Diagram Interaksi Kolom K2 pada Kondisi Mux min Dengan Beban Gempa.	98
4.40. Diagram Interaksi Kolom K2 pada Kondisi Muy maks Dengan Beban Gempa.	98
4.41. Diagram Interaksi Kolom K2 pada Kondisi Muy min Dengan Beban Gempa.	99
4.42. Diagram Interaksi Kolom K3 pada Kondisi Pmaks Tanpa Beban Gempa.	101
4.43. Diagram Interaksi Kolom K3 pada Kondisi Pmin Tanpa Beban Gempa.	101
4.44. Diagram Interaksi Kolom K3 pada Kondisi Mux maks Tanpa Beban Gempa.	102
4.45. Diagram Interaksi Kolom K3 pada Kondisi Mux min Tanpa Beban Gempa.	102
4.46. Diagram Interaksi Kolom K3 pada Kondisi Muy maks Tanpa Beban Gempa.	103
4.47. Diagram Interaksi Kolom K3 pada Kondisi Muy min Tanpa Beban Gempa.	103
4.48. Diagram Interaksi Kolom K3 pada Kondisi Pmaks Dengan Beban Gempa.	104
4.49. Diagram Interaksi Kolom K3 pada Kondisi Pmin Dengan Beban Gempa.	104
4.50. Diagram Interaksi Kolom K3 pada Kondisi Mux maks Dengan Beban Gempa.	105
4.51. Diagram Interaksi Kolom K3 pada Kondisi Mux min Dengan Beban Gempa.	105
4.52. Diagram Interaksi Kolom K3 pada Kondisi	

Muy maks Dengan Beban Gempa.	106
4.53. Diagram Interaksi Kolom K3 pada Kondisi	
Muy min Dengan Beban Gempa.	106

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban	12
2.2. Faktor Keutamaan Gempa.....	13
2.3. Klasifikasi Situs.....	14
2.4. Koefisien Situs (Fa).....	16
2.5. Koefisien Situs (Fv)	16
2.6. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode Pendek (SDS).....	18
2.7. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode 1 Detik (SD1)	18
2.8. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	19
2.9. Batasan Simpangan Antar Lantai	22
2.10. Faktor Reduksi Kekuatan	22
2.11. Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	23
2.12. Nilai β_1 untuk Distribusi Tegangan Beton Ekuivalen	24
2.13. Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah dengan Balok Diantara Tumpuan pada Semua Sisinya.....	25
3.1. Data Elevasi Bangunan	32
3.2. Penulangan Balok.....	37
3.3. Penulangan Kolom	37
3.4. Penulangan Pelat	37
3.5. Nilai N-SPT.....	38
3.6. Data Elevasi Bangunan	32
3.7. Penulangan Balok.....	37
3.8. Penulangan Kolom	37
3.9. Penulangan Pelat	37
4.1. Spesifikasi Penulangan pada Balok.....	45

4.2.	Spesifikasi Penulangan pada Kolom	46
4.3.	Spesifikasi Penulangan Pelat.....	47
4.4.	Pemodelan Struktur.	47
4.5.	Kurva Respon Spektrum.	52
4.6.	Gaya Dalam Balok A1A	55
4.7.	Gaya Dalam Balok A2A	55
4.8.	Gaya Dalam Balok B1	55
4.9.	Gaya Dalam Balok B2.....	56
4.10.	Gaya Dalam Balok B3.....	56
4.11.	Gaya Dalam Kolom K1	57
4.12.	Gaya Dalam Kolom K2	57
4.13.	Gaya Dalam Kolom K3	57
4.14.	Rasio Partisipasi Massa	58
4.15.	Nilai Koefisien Respon Seismik	60
4.16.	Massa dan Berat Bangunan	61
4.17.	Gaya Geser Dasar (V_t) Awal.....	61
4.18.	Simpangan Antar Tingkat Arah X	63
4.19.	Simpangan Antar Tingkat Arah Y	63
4.20.	Kuat Lentur Nominal Tumpuan Negatif	68
4.21.	Kuat Lentur Nominal Tumpuan Positif.....	68
4.22.	Kuat Lentur Nominal Lapangan Negatif.....	68
4.23.	Kuat Lentur Nominal Lapangan Positif	69
4.24.	Pemeriksaan Kuat Rancang Tulangan Lentur Tanpa Pengaruh Beban Gempa	70
4.25.	Pemeriksaan Kuat Rancang Tulangan Lentur dengan Pengaruh Beban Gempa	71
4.26.	Kuat Geser Nominal Daerah Tumpuan	77
4.27.	Kuat Geser Nominal Daerah Lapangan	77
4.28.	Pemeriksaan Kapasitas Geser Tanpa Beban Gempa	78
4.29.	Pemeriksaan Kapasitas Geser Dengan Beban Gempa	78
4.30.	Parameter Geometri Penampang	82
4.31.	Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Torsi Tanpa Beban Gempa.....	82
4.32.	Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Torsi dengan Beban Gempa	82

4.33.	Pemeriksaan Kapasitas Beban Aksial Kolom Tanpa Beban Gempa	84
4.34.	Pemeriksaan Kapasitas Beban Aksial Kolom dengan Beban Gempa	84
4.35.	Gaya Dalam Kolom K1 Tanpa Beban Gempa	85
4.36.	Gaya Dalam Kolom K1 dengan Beban Gempa	85
4.37.	Kuat Lentur Nominal Kolom K1 Tanpa Beban Gempa	85
4.38.	Kuat Lentur Nominal Kolom K1 dengan Beban Gempa	85
4.39.	Gaya Dalam Kolom K2 Tanpa Beban Gempa	92
4.40.	Gaya Dalam Kolom K2 dengan Beban Gempa	92
4.41.	Kuat Lentur Nominal Kolom K2 Tanpa Beban Gempa	92
4.42.	Kuat Lentur Nominal Kolom K2 dengan Beban Gempa	93
4.43.	Gaya Dalam Kolom K3 Tanpa Beban Gempa	99
4.44.	Gaya Dalam Kolom K3 dengan Beban Gempa	100
4.45.	Kuat Lentur Nominal Kolom K3 Tanpa Beban Gempa	100
4.46.	Kuat Lentur Nominal Kolom K3 dengan Beban Gempa	100
4.47.	Gaya Dalam Kolom K3 Tanpa Beban Gempa	99
4.48.	Gaya Dalam Kolom K3 dengan Beban Gempa	100
4.49.	Pemeriksaan Kuat Rancang Tulangan Lentur pada Kolom Tanpa Pengaruh Beban Gempa	107
4.50.	Pemeriksaan Kuat Rancang Tulangan Lentur pada Kolom Akibat Pengaruh Beban Gempa	107
4.51.	Pemeriksaan Kuat Geser Kolom Tanpa Beban Gempa	109
4.52.	Pemeriksaan Kuat Geser Kolom dengan Beban Gempa	109
4.53.	Pemeriksaan Ketebalan Pelat Minimum	111
4.54.	Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Lentur	116
4.55.	Pemeriksaan Kuat Nominal Pelat Arah X dan Arah Y	116

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gempa bumi adalah getaran atau getar-getar yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa bumi biasanya disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi). Frekuensi suatu wilayah mengacu pada pada jenis dan ukuran gempa bumi yang dialami selama periode waktu.

Indonesia merupakan daerah dengan tingkat terjadi gempa yang cukup tinggi. Itu dikarenakan letak geografis Indonesia yang dilalui oleh jalur pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik dan Lempeng Eurasia.

Dalam beberapa tahun ini di Indonesia telah tercatat beberapa aktifitas gempa besar, yaitu gempa Banten tahun 2019 (6,9 SR), gempa Simulue - Aceh tahun 2020 (6,1 SR), gempa Maluku Utara tahun 2020 (6,8 SR), gempa Enggano – Bengkulu tahun 2021 (5,2 SR), gempa Maluku Utara tahun 2022 (5,8 SR), gempa Pangandaran – Jawa Barat (4,6 SR), dll.

Dengan terjadinya gempa di Indonesia, cukup banyak menyebabkan kerusakan pada infrastruktur-infrastruktur yang sudah dibangun, khususnya infrastruktur gedung yang bertingkat tinggi. Dalam hal ini gempa yang menyebabkan getaran tidak dapat ditahan oleh gedung tersebut. Oleh karena itu, pengaruh getaran dari gempa ini harus ditinjau dalam struktur perencanaan gedung untuk meminimalisir kerusakan terhadap infrastruktur gedung. Untuk hal ini, perencanaan dan evaluasi perencanaan struktur gedung harus memenuhi kriteria persyaratan gedung tahan gempa, sehingga gedung aman untuk menahan terjadinya gempa.

Evaluasi kinerja gedung didefinisikan suatu proses untuk mendapatkan informasi mengenai ketahanan gedung untuk gempa. Evaluasi kinerja bermanfaat untuk menganalisis perilaku gempa terhadap struktur gedung dan dapat mengetahui sejauh mana tingkat gempa akan berpengaruh pada struktur gedung, sehingga dapat meminimalisir resiko terjadinya sebuah kegagalan dalam pembangunan struktur gempa akibat gempa

Secara umum analisis gempa terbagi menjadi dua, yaitu analisis gempa statik ekuivalen dan analisis gempa dinamik. Pada struktur gedung yang memiliki tingkat tinggi maupun gedung yang tidak beraturan memerlukan tingkat ketelitian yang tinggi dan lebih cocok menggunakan analisis dinamik. Analisis gempa dinamik terdapat analisis respon spektrum (*response spektrum*) dan analisis riwayat waktu (*time history*).

Dalam penelitian ini menggunakan analisis gempa dinamik metode analisis respon spektrum. Respons spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T , lawan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Analisis dinamik respon spektrum memberikan pembagian gaya geser tingkat yang lebih teliti di sepanjang tinggi gedung dibandingkan dengan analisis statik ekuivalen. Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan analisis kinerja struktur dengan menggunakan analisis dinamik respon spektrum.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana hasil evaluasi kekuatan gedung bertingkat terhadap pengaruh pembebanan seismik dan tanpa pengaruh pembebanan seismik dapat dibandingkan dengan metode analisis dinamik respon spektrum.

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka perlu dibatasi permasalahan yang dikaji agar penelitian lebih efisien, terarah, dan memiliki

tolak ukur dalam pencapaian target analisis. Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bangunan yang ditinjau merupakan bangunan bertingkat 4 yang merupakan gedung kantor Direktorat Jenderal Bea dan Cukai (DJBC).
2. Struktur yang dipakai adalah struktur beton bertulang.
3. Analisis yang dilakukan pada bangunan hanya bagian struktur atas.
4. Dimensi struktur dan tulangan menyesuaikan dengan desain perancang.
5. Pembebanan struktur bangunan mencakup beban hidup, beban mati dan beban gempa.
6. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan analisis struktur.
7. Analisis struktur terhadap pengaruh beban gempa menggunakan analisis dinamik dengan metode analisis respon spektrum.
8. Peraturan gempa menggunakan SNI 1726-2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
9. Peraturan analisis kapasitas struktur menggunakan SNI 2847-2019 mengenai Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.
10. Peraturan pembebanan dari SNI 1727-2020 mengenai Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan hasil dari analisis struktur gedung kantor Direktorat Jenderal Bea dan Cukai (DJBC) antara pengaruh beban gempa dengan tanpa pengaruh beban gempa pada balok, pelat dan kolom.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian adalah sebagai berikut ini :

1. Mengetahui perbandingan ketahanan struktur Gedung (balok, pelat dan kolom) antara akibat pengaruh beban gempa dan tanpa pengaruh beban gempa.
2. Menambah pemahaman mengenai pemahaman penilaian struktur gedung bertingkat akibat pengaruh dari beban gempa dengan menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum.
3. Menambah pengetahuan khususnya dalam perencanaan struktur gedung bertingkat tahan gempa.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Uraian Umum

Menurut Bakornas PB, (2007), gempa bumi merupakan salah satu dari berbagai macam bencana alam yang ada di Indonesia yang bilamana penanganan maupun mitigasi yang dilakukan tidak baik akan menimbulkan ancaman korban jiwa maupun korban materi. Berbagai komponen yang terancam apabila terjadi gempa bumi diantaranya:

1. Perkampungan padat dengan konstruksi yang lemah dan padat penghuni,
2. Bangunan dengan desain teknis yang buruk, bangunan tanah, bangunan tembok tanpa perkuatan,
3. Bangunan dengan atap yang berat
4. Bangunan tua dengan kekuatan lateral dan kualitas yang rendah
5. Bangunan tinggi yang dibangun diatas tanah lepas/tidak kompak
6. Bangunan di atas lereng yang lemah/tidak stabil

Bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang mampu mempertahankan strukturnya agar tidak mengalami keruntuhan pada saat terjadi gempa. Bangunan tahan gempa sangat diperlukan di Indonesia karena letak Indonesia yang merupakan wilayah rawan gempa. Bangunan tahan gempa didesain dengan tujuan untuk menghindari kegagalan struktur dan timbulnya korban jiwa ketika terjadi gempa bumi.

Semakin tinggi bangunan semakin rawan bangunan tersebut dalam menahan gaya lateral, terutama gaya gempa. Gaya lateral ini dapat menyebabkan simpangan horisontal. Jika nilai simpangan ini melebihi batas aman, tentu saja bangunan dapat runtuh. Oleh karena itu pada daerah rawan gempa seperti Indonesia perlu dilakukan perencanaan menyeluruh terhadap desain bangunan tahan gempa. Perhitungan analisis dengan metode ragam

spektrum respons struktur bisa menggunakan software SAP 2000 (Novi Prismastanto, 2019).

2.2. Elemen Struktur

Struktur bangunan gedung terdiri dari beberapa elemen yang berfungsi untuk memikul beban yang bekerja. Elemen struktur tersebut terbagi menjadi 2, yaitu : *upper structure* (struktur atas) dan *lower structure* (struktur bawah). *Upper structure* (struktur atas) adalah bagian dari struktur bangunan yang berada di atas muka tanah yang terdiri dari kolom, balok, dan pelat. Sedangkan *lower structure* (struktur bawah) adalah bagian dari struktur bangunan yang berada di bawah muka tanah yang pada umumnya yaitu pondasi dan basemen. Elemen-elemen tersebut berkerja sama dalam mendistribusikan beban dari struktur atas menuju ke struktur bawah.

2.2.1. Pelat

Pelat merupakan suatu elemen struktur yang mempunyai ketebalan relatif kecil jika dibandingkan dengan lebar dan panjangnya. Di dalam konstruksi beton, pelat digunakan untuk mendapatkan bidang atau permukaan yang rata. Pada umumnya bidang atau permukaan atas dan bawah suatu pelat adalah sejajar atau hampir sejajar. Adapun fungsi dari pelat adalah memikul beban mati dan beban hidup kemudian disalurkan pada balok-balok yang bertumpu pada kolom-kolom

2.2.2. Balok

Balok merupakan elemen struktural yang menyalurkan beban-beban dari pelat lantai ke kolom sebagai penyangga vertikal. Balok mempunyai karakteristik untuk menahan lentur. Dengan karakteristik tersebut balok merupakan elemen yang dapat diandalkan untuk menahan gaya geser serta momen lentur yang terjadi.

2.2.3. Kolom

Struktur kolom merupakan elemen yang sangat penting pada konstruksi, kolom adalah struktur yang menahan gaya aksial dan momen lentur yang berfungsi sebagai penerus beban bangunan dari balok menyalurkan kedalam tanah melalui pondasi bangunan. Kegagalan struktur kolom sangat berakibat fatal dalam sebuah bangunan yang dapat mengakibatkan runtuhnya struktur lain yang saling berhubungan.

2.3. Sistem Struktur

Berikut ini sistem struktur utama yang ditetapkan dalam peraturan perencanaan gempa Indonesia berdasarkan SNI 1726-2019 :

1. Sistem dinding penumpu, yaitu sistem struktur yang tidak mempunyai rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sehingga sebagian besar atau seluruh dari beban gravitasi dipikul oleh dinding-dinding penumpu. Adapun tahanan terhadap beban gempa dipikul oleh dinding-dinding geser atau rangka bresing.
2. Sistem rangka gedung, yaitu sistem struktur yang mempunyai rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan tahanan terhadap beban gempa dipikul oleh dinding-dinding geser atau rangka bresing.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM), yaitu sistem struktur yang mempunyai rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap dan mampu menahan beban gempa.
4. Sistem ganda, yaitu sistem struktur yang mengkombinasikan dinding geser dengan sistem rangka pemikul momen atau rangka *bresing* dengan sistem rangka pemikul momen sebagai tahanan terhadap beban gempa. Adapun pemikul beban gravitasi dengan rangka ruang lengkap.

5. Sistem rangka ruang, yaitu sistem struktur yang terdiri dari elemen-elemen struktur rangka (selain dinding penumpu) yang saling terhubung, yang mampu menahan beban gravitasi dan beban gempa.
6. Sistem kolom kantilever, yaitu sistem struktur dengan tahanan terhadap beban gempa yang keseluruhan dipikul oleh kolom-kolom yang berperan sebagai kantilever yang terjepit dibagian dasar bangunan.

2.4. Pembebanan Struktur

Pada perencanaan bangunan bertingkat, komponen struktur direncanakan cukup kuat untuk memikul semua beban kerjanya. Pengertian beban itu sendiri adalah beban-beban baik secara langsung maupun tidak langsung yang mempengaruhi struktur bangunan tersebut. Berdasarkan SNI 1726-2019 bangunan dikatakan aman apabila mampu menahan beban-beban seperti beban hidup, beban mati, beban gempa, dan beban kombinasi.

2.4.1. Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang bersifat sementara dan tidak termasuk beban konstruksi dan lingkungan. Adapun besaran atau nilai beban hidup telah ditetapkan berdasarkan SNI 1727-2020.

2.4.2. Beban Mati

Beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang dan komponen arsitektural. Beban mati memiliki besaran dan arah yang konstan tidak dipengaruhi oleh waktu. Beban mati dibedakan menjadi 2, yaitu :

- a. Beban mati akibat berat sendiri (*Dead Load*)

Berat sendiri adalah berat atau beban yang bersifat permanen yang timbul akibat elemen-elemen struktural yang terdapat pada suatu konstruksi seperti pelat, balok, dan kolom.

b. Beban mati tambahan (*Super Dead Load*)

Beban mati tambahan adalah berat atau beban yang bersifat permanen yang timbul akibat elemen-elemen struktural tambahan yang terdapat pada suatu konstruksi seperti keramik, dinding bata, dan plafond.

2.4.3. Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang berkerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah dengan selang waktu yang relatif singkat dan bersifat sementara, namun dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan.

2.4.4. Beban Kombinasi

Beban yang terjadi pada struktur dapat terjadi secara bersamaan. Oleh karena itu, perlunya kombinasi pembebanan yang tepat untuk mengetahui besarnya beban yang akan terjadi. Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 1727-2020.

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,0E + 1,0L$
4. $0,9D + 1,0E$

Dikarenakan beban gempa berkerja pada struktur, berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.4.2, maka E harus dihitung sesuai ketentuan sebagai berikut:

Untuk penggunaan kombinasi 3, maka beban gempa E harus ditentukan dengan persamaan :

$$E = E_h + E_v \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk penggunaan dalam kombinasi 4, maka beban gempa E harus dintentukan dengan persamaan :

$$E = E_h - E_v \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$$E_h = \rho \times QE \dots\dots\dots (2.3)$$

$$E_v = 0,2SDS \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

- E = Pengaruh beban seismik
- Eh = Pengaruh beban seismik horizontal
- Ev = Pengaruh beban seismic vertical
- P = Faktor redundansi
- QE = Pengaruh gaya seismic horizontal dari V
- SDS = Parameter percepatan respons spectral desain pada periode pendek
- D = Pengaruh beban mati

2.5. Analisis Dinamik

Analisis struktur terhadap beban gempa terbagi menjadi dua macam, yaitu :

1. Analisis gempa statik ekuivalen

Analisis statik ekuivalen 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.

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 :

- a. Analisis respon spektrum yang total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar.
- b. 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.

2.6. Ketentuan Struktur Terhadap Pengaruh Gempa

Dalam evaluasi ketahanan struktur bangunan terhadap pengaruh gempa, maka perlu disesuaikan dengan ketentuan yang terdapat pada SNI 1726-2019.

2.6.1. Gempa Rencana

Dalam perencanaan dan evaluasi mengenai struktur bangunan khususnya di wilayah rawan gempa, ada beberapa kriteria yang bisa digunakan dalam perhitungan analisis struktur tahan gempa. Menurut SNI 1726-2019 Pasal 4.1.1, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

2.6.2. Kategori Risiko Struktur Bangunan

Menurut SNI 1726-2019 Tabel 3 pembentukan kategori risiko pengaruh gempa pada struktur bangunan berdasarkan jenis atau fungsi pemanfaatan bangunan tersebut. Kategori risiko pengaruh gempa pada struktur bangunan gedung dan non gedung disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk, antara lain :	I

Tabel 2.1. (Lanjutan)

• Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan	
Rumah jaga dan struktur kecil lainnya.	
Semua gedung dan juga struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :	
• Perumahan • Rumah took dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantor • Gedung apartemen/rumah susun • Pusat perbelanjaan/mall • Fasilitas manufaktur • Pabrik.	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :	
• Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas penitipan anak • Penjara • Bangunan jompo	III
Gedung dan non gedung, tidak termasuk ke dalam 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, tetapi tidak Dibatasi untuk :	
• Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi	
Gedung dan non gedung yang tidak termasuk ke 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 dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang	III

Tabel 2.1. (Lanjutan)

berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.

Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas 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 pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat

IV

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

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.6.3. Faktor Keutamaan Gempa

Terdapat kategori risiko struktur gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa I_e . Nilai faktor keutamaan gempa disajikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.6.4. Klasifikasi Situs

Menurut SNI 1726-2019 menjelaskan bahwa terdapat tata cara klasifikasi situs, dan mengatur standar desain seismik berupa faktor amplifikasi pada gedung. Dalam merumuskan standar desain gempa bumi untuk gedung atau menentukan perbesaran puncak percepatan seismik dari batuan dasar ke tanah pada suatu lokasi tertentu, lokasi tersebut harus ditentukan berdasarkan lapisan tanah terdalam yaitu 30 meter. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Klasifikasi situs disajikan dalam Tabel 2.3.

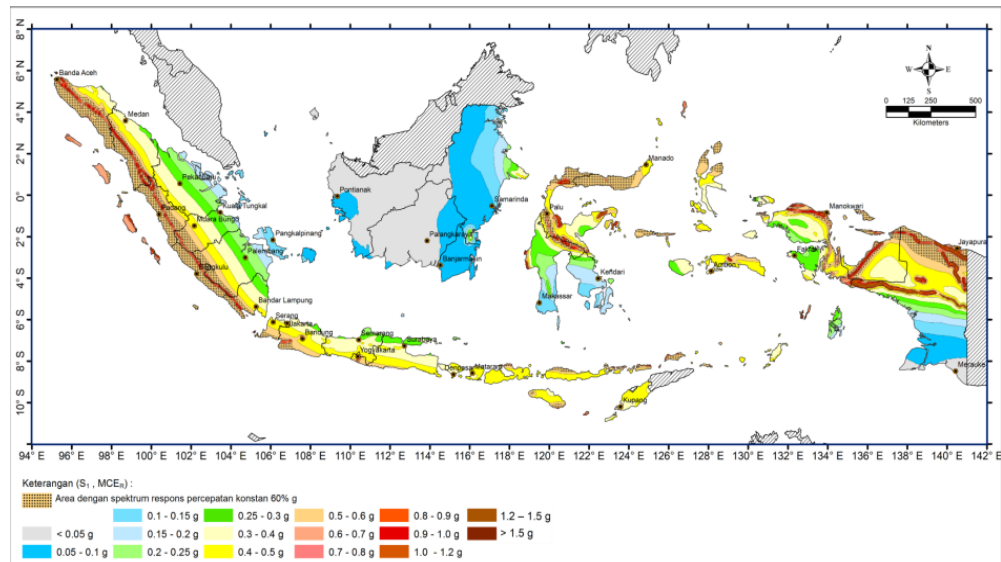
Tabel 2.3. Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/s)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (KPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750-1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350-750	>50	>100
SD (tanah sedang)	175-350	15-50	50-100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:			
1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ KPa			
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ KPa		

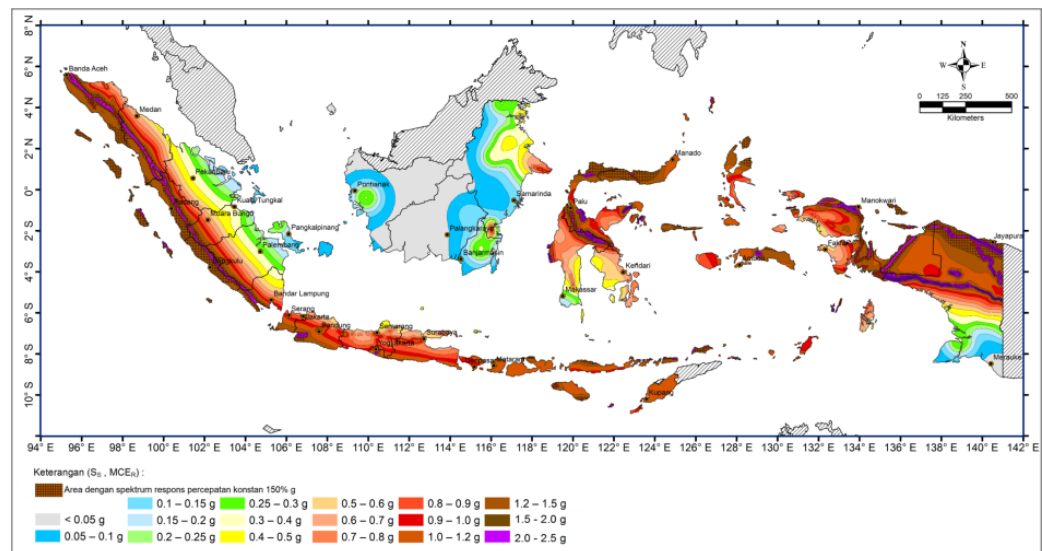
(Sumber: SNI 1726-2019)

2.6.5. Wilayah Gempa

Faktor yang sangat mempengaruhi tingkat kecil atau besarnya beban gempa yang bekerja adalah faktor wilayah gempa. Maka dari itu, besar kecilnya beban gempa tergantung dimana struktur bangunan akan didirikan. Peta wilayah gempa disajikan dalam Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



Gambar 2.1. Parameter spektral percepatan gempa untuk periode 1 detik (S_1).
(Sumber: SNI 1726-2019)



Gambar 2.2. Parameter spektral percepatan gempa untuk periode pendek detik (S_s).

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.6.6. Koefisien Situs

Menurut SNI 1726-2019 Pasal 6.2, parameter respon spektrum percepatan periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan efek klasifikasi situs ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (2.5)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

S_s : Parameter respon spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek.

S_1 : Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk 1,0 detik.

Untuk nilai koefisien situs F_a dan F_v disajikan dalam Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

Tabel 2.4. 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					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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	1,3	1,3	1,3	1,3
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	S_s					

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.5. Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 1$ detik, S_1					
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$	$S_s \geq 0,6$
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	S_s					

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.6.7. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (SDs) dan pada periode 1 detik (SD1) harus ditentukan melalui persamaan yang terdapat pada SNI 1726-2019, berikut persamaan pada SNI 1726-2019:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2.8)$$

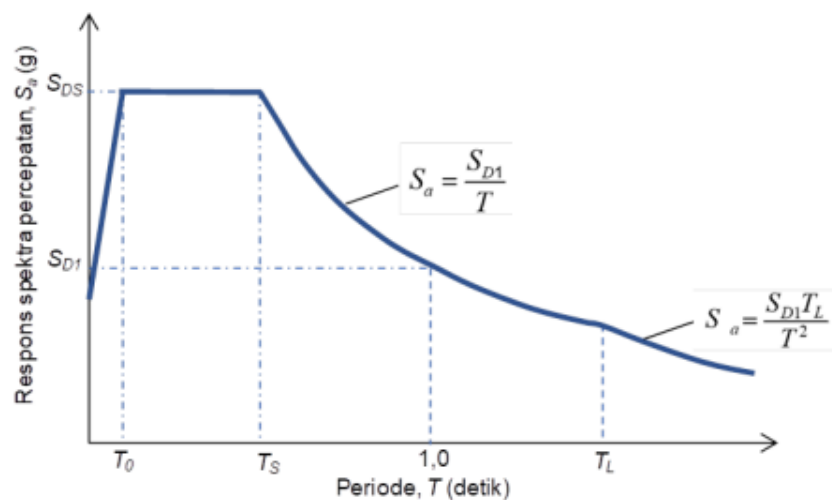
Keterangan :

SDS : Parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek

SD1 : Parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik

2.6.8. Spektrum Respon Desain

Adapun grafik respon spektrum merujuk yang berdasarkan SNI 1726-2019 pada Gambar 2.5.



Gambar 2.3. Respon Spektrum Desain

2.6.9. Kategori Desain Seismik

Struktur bangunan harus ditetapkan memiliki kategori desain seismik yang terdapat pada SNI 1726-2019 Pasal 6.5. Untuk penetapan kategori dapat dilihat pada Tabel 2.6 dan Tabel 2.7 sebagai berikut:

Tabel 2.6. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode Pendek (S_{DS})

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.7. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode 1 Detik (S_{DI})

Nilai S_{DI}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DI} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DI} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DI}$	D	D

(Sumber; SNI 1726-2019)

2.7. Kontrol Dinamis Struktur

Hasil dari perhitungan analisis struktur harus diperiksa terhadap suatu batasan-batasan tertentu agar sesuai dengan peraturan pada SNI 1726-2019 untuk menentukan kelayakan struktur tersebut kuat atau tidaknya akibat adanya pengaruh beban gempa, adapun hal-hal yang harus diperiksa berikut ini:

1. Kontrol Periode Fundamental Gedung

Berdasarkan peraturan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.2.1, dalam menentukan periode fundamental pendekatan dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$T_a = C_t h_n^x \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

T_a : Periode fundamental pendekatan (detik)

h_n : Ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur.

Untuk nilai koefisien C_t dan x dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C	X
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismic yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka defleksi jika dikenai gaya seismic		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber: SNI 1726-2019)

2. Kontrol Rasio Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.1, untuk menentukan ragam getar alami, analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi 100% dari massa struktur. Maka untuk mencapai ketentuan ini, ragam satu badan kaku (*single rigid body*) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik.

3. Kontrol Gaya Geser Dasar

Berdasarkan SNI 1726-2019, gaya geser dasar seismic ditentukan dengan persamaan berikut :

$$V = C_s \times W \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

V : Gaya geser dasar

C_s : Koefisien respon seismic

W : Berat seismic efektif

Apabila hasil dari perhitungan periode fundamental lebih dari nilai periode maksimum, maka periode maksimum harus digunakan sebagai pengganti dari T dalam arah tersebut. Kombinasi respon untuk geser dasar ragam (V_i) lebih kecil dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka dari itu gaya harus dikalikan dengan

V/V_t . Untuk menentukan nilai C_s dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.11)$$

Hasil dari nilai C_s tidak diperkenankan untuk melebihi dari persamaan berikut :

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{T}\right)} \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk $T \geq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} \times T_L}{T.T\left(\frac{R}{T}\right)} \dots\dots\dots(2.13)$$

C_s tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

Untuk struktur yang memiliki lokasi di daerah dengan nilai $S_1 \geq 0,6$ g, maka untuk nilai C_s tidak diperkenankan kurang dari persamaan berikut ini:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{T}\right)} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

S_{DS} : Parameter percepatan respon spectrum desain dalam rentang periode pendek

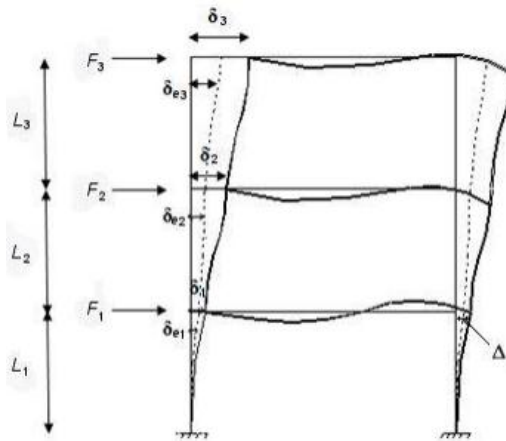
R : Koefisien modifikasi respon

I_e : Faktor keutamaan gempa

C_s : Koefisien respon seismik

4. Kontrol Simpangan Antar Lantai

Kontrol simpangan dilakukan untuk mengetahui kinerja batas layan dan batas ultimit struktur gedung yaitu supaya menjaga keamanan struktur dan kenyamanan penghuni, mencegah kerusakan non-struktur, dan meminimalisir keretakan yang akan terjadi pada beton. Dalam analisis simpangan antar tingkat harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Penentuan simpangan antar lantai dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.4. Penentuan Simpangan Antar Tingkat
(Sumber; SNI 1726-2019)

Adapun penjelasan dari gambar 2.3. sebagai berikut :

F_1, F_2, F_3 = Gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ = Perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ = $C_d \times \delta_e / I_e$(2.15)
= Perpindahan yang diperbesar

Δ_1 = $\delta_1 \leq \Delta_o$(2.16)

Δ_2 = $(\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_e \leq \Delta_o$(2.17)

Δ_3 = $(\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_e \leq \Delta_o$(2.18)

Keterangan :

Δ_1 = Simpangan antar tingkat

Δ_i / L_i = Rasio simpangan antar tingkat

Δ_i = Perpindahan total

Adapun nilai dari simpangan ini dihitung dengan aplikasi program bantu analisis struktur, untuk batasan simpangan antar tingkat dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Setelah itu simpangan dapat dinyatakan dengan menggunakan rumus yang telah diatur pada SNI 1726-2019 Pasal 7.12.3, adapun rumusnya sebagai berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{max}}{I_e} \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan :

δ_x = Simpangan di tingkat x

$\delta_{\max}$ = Perpindahan elastic maksimum pada lokasi kritis

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral

Tabel 2.9. Batasan Simpangan Antar Lantai

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

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.8. Faktor Reduksi Kekuatan

Berdasarkan SNI 2847-2019, untuk menghitung besarnya kuat rencana pada penampang dapat dilakukan dengan cara mengalikan kuat nominal dan faktor reduksi kekuatan. Adapun nilai faktor reduksi kekuatan dan faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial yang dapat dilihat pada Tabel 2.10 dan Tabel 2.11.

Tabel 2.10. Faktor Reduksi Kekuatan

Gaya atau elemen struktur		ϕ	Pengecualian
a)	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90	Di dekat ujung komponen pratarik (<i>pretension</i>) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan 21.2.3

Tabel 2.10. (Lanjutan)

b)	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada 21.2.4
c)	Torsi	0,75	-

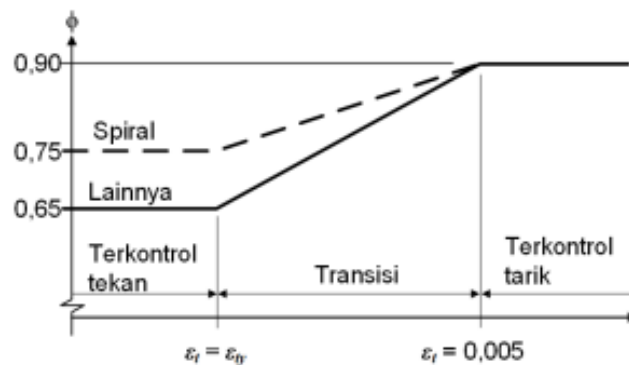
(Sumber: SNI 2847-2019)

Tabel 2.11. Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

No	Regangan tarik netto	Klasifikasi	ϕ	
			Jenis tulangan transversal	
			Spiral	Tulangan lain
1	$\varepsilon_t \leq \varepsilon_{ty}$	Tekanan terkontrol	0,75	0,65
2	$\varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < 0,005$	Transisi	$0,75 + 0,15 \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_{ty}}{0,05 - \varepsilon_{ty}}$	$0,65 + 0,25 \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_{ty}}{0,05 - \varepsilon_{ty}}$
3	$\varepsilon_t \geq 0,005$	Tegangan terkontrol	0,90	0,90

(Sumber: SNI 2847-2019)

Nilai kekuatan nominal elemen struktur yang mengalami momen dan gaya aksial ditentukan oleh kondisi dimana regangan dalam serat tekan terjauh sama dengan 0,003. Regangan tarik netto (ε_t) merupakan regangan tarik dalam tulangan tarik terjauh pada kekuatan nominal. Regangan tarik netto dalam tulangan tarik terjauh ditentukan dari distribusi linier regangan pada kekuatan nominal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Distribusi tegangan dan regangan tarik netto pada komponen non prategang.

(Sumber: SNI 2847-2019)

2.9. Evaluasi Kekuatan Struktur

Evaluasi kekuatan struktur sangat diperlukan untuk mengetahui kelayakan bangunan terhadap beban-beban yang berkerja pada suatu struktur tersebut.

2.9.1. Dasar-Dasar dalam Perhitungan

Terdapat beberapa asumsi desain yang digunakan dalam perhitungan momen aksial dan lentur yang diatur dalam SNI 2847-2019, yaitu :

1. Kekuatan lentur dan aksial elemen struktur harus memenuhi persyaratan kesetimbangan dan kompatibilitas regangan.
2. Asumsi desain untuk beton :
 - a. Regangan maksimum untuk serat tekan terjauh pada beton diasumsikan sama dengan 0,003.
 - b. Tegangan beton $0,85f_c'$ diasumsikan terdistribusi rata terhadap zona tekan ekuivalen yang dibatasi ujung penampang dan garis yang paralel terhadap sumbu netral, yang terletak pada jarak a dari serat tekan terjauh, sesuai dengan persamaan berikut :

$$a = \beta_1 \times c \dots \dots \dots (2.20)$$
 - c. Nilai β_1 ditentukan berdasarkan mutu beton yang digunakan. Adapun nilai β_1 dapat dilihat dalam Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Nilai β_1 untuk Distribusi Tegangan Beton Ekuivalen

No	f_c' (MPa)	β_1
1	$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85
2	$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05 (f_c' - 28)}{7}$
3	$f_c' \geq 55$	0,65

(Sumber: SNI 2847-2019)

3. Tegangan pada tulangan yang nilainya lebih kecil daripada kuat leleh f_y harus diambil sebesar E_s dikalikan regangan baja, sedangkan untuk regangan yang nilainya lebih besar dari regangan leleh yang

menyebabkan f_y , maka tegangan harus dianggap tidak terpengaruh dengan regangan dan nilainya diambil sama dengan f_y .

4. Modulus elastisitas baja diambil sebesar 200000 MPa.

2.9.2. Evaluasi Struktur Pelat

Dalam perencanaan struktur pelat, tingkat ketebalan struktur pelat lantai merupakan salah satu aspek yang penting. Ketebalan minimum untuk pelat dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13. Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah dengan Balok Diantara Tumpuan pada Semua Sisinya

αf_m	h minimum (mm)	
$\alpha f_m \leq 2,0$	8.3.1.1 berlaku	a
$0,2 < \alpha f_m \leq 2,0$ Terbesar dari:	$\frac{Ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha f_m - 2)}$	b
	125	c
$\alpha f_m > 0,2$ Terbesar dari:	$\frac{Ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$	d
	90	e

(Sumber: SNI 2847-2019)

Evaluasi perencanaan pada elemen struktur pelat bertujuan untuk mengetahui momen lentur yang berkerja pada pelat, serta untuk mengevaluasi kapasitas tulangan pelat yang telah terpasang.

2.9.3. Evaluasi Struktur Balok

Balok beton merupakan bagian dari struktur yang berfungsi sebagai penyalur momen menuju struktur kolom. Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan dalam membawa gaya dalam berupa momen lentur dan gaya geser.

Desain penulangan pada balok menggunakan konfigurasi tulangan rangkap sehingga metode perhitungan kapasitas lentur akan dianalisis sesuai

metode tulangan rangkap, dan untuk evaluasi kapasitas balok terhadap geser akan dianalisis sesuai dengan kondisi penampang pada persyaratan mengenai desain tulangan geser.

1. Analisis Kapasitas Balok Terhadap Lentur

Kapasitas nominal penampang balok dihitung dengan prinsip keseimbangan gaya yaitu:

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \dots \dots \dots (2.21)$$

Untuk balok persegi kapasitas momen nominal penampang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$M_{n1} = 0,85 \times f_c' \times a \times b \dots \dots \dots (2.22)$$

$$M_{n2} = A_s' \times f_y \times (d - d') \dots \dots \dots (2.23)$$

Sehingga kapasitas nominal penampang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$M_n = 0,85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times f_y \times (d - d') \dots \dots \dots (2.24)$$

Untuk menjamin keamanan struktur ditinjau dari aspek kekuatan, maka dipersyaratkan kapasitas momen nominal harus lebih besar dari kombinasi momen luar yang berkerja (momen ultimit).

2. Analisis Kapasitas Balok Terhadap Geser

Kekuatan geser nominal pada penampang yang bertulangan geser merupakan hasil penjumlahan dari kekuatan geser beton dan kekuatan geser sengkang, dengan persamaan berikut:

$$V_n = V_c + V_s \dots \dots \dots (2.25)$$

Nilai V_c untuk komponen non prategang tanpa gaya aksial dihitung dengan persamaan:

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \dots \dots \dots (2.26)$$

Nilai V_s dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_s = (V_s \times s) / (f_{yt} \times d) \dots \dots \dots (2.27)$$

Untuk komponen yang terkena beban gempa, analisis geser pada balok dilakukan berdasarkan hasil peninjauan analisa struktur terhadap gaya-gaya maksimum yang dihasilkan di setiap ujung komponen struktur, sehingga reaksi gaya geser akibat sendi plastis di ujung balok dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{sway} = (M_{pr1} \times M_{pr2})/l_n \dots \dots \dots (2.28)$$

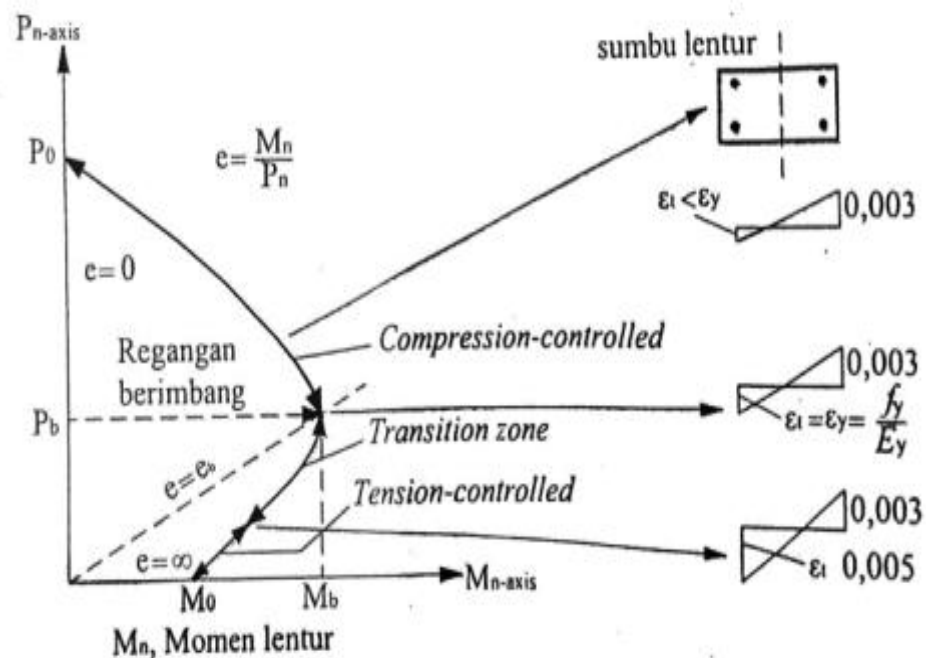
3. Tulangan Torsi

Evaluasi kekuatan torsi dilakukan untuk menjamin kekuatan torsi desain harus sama dengan atau lebih dari momen torsi T_u akibat beban terfaktor. Penggunaan tulangan torsi akan dibutuhkan apabila memenuhi persyaratan berikut:

$$T_u \geq \phi 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} ((A_{cp} \times A_{cp})/P_{cp}) \dots \dots \dots (2.29)$$

2.9.4. Evaluasi Struktur Kolom

Untuk menentukan kapasitas kolom metode yang digunakan adalah dengan diagram interaksi yang memberikan beban runtuh dan momen runtuh dari suatu penampang kolom, untuk setiap nilai eksentrisitas nol sampai tak hingga. Eksentrisitas yang kecil akan menghasilkan keruntuhan yang ditentukan oleh keruntuhan tekan beton, sedangkan eksentrisitas yang besar menghasilkan keruntuhan yang ditentukan oleh luluhnya tulangan tarik. Bagian-bagian diagram interaksi disajikan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Diagram Interaksi Kolom. (Sumber: Muin, 2008)

Dalam diagram interaksi memiliki tiga titik acuan utama yaitu kondisi tekan murni, kondisi *balance*, dan kondisi lentur murni. Berikut penjelasannya :

1. Kondisi Tekan Murni

Kondisi tekan murni adalah kondisi dimana beban aksial maksimum yang dapat ditopang oleh struktur kolom tanpa adanya beban momen yang bekerja pada waktu yang sama. Nilai kekuatan aksial maksimum dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14. Kekuatan Aksial Maksimum

No	Komponen	Tulangan Transversal	Pn max
1	Non Prategang	Senggang persegi	0,80 Po
2		Senggang spiral	0,85 Po
3	Prategang	Senggang persegi	0,80 Po
4		Senggang spiral	0,85 Po
5	Kolom komposit dan kolom beton	Semua	0,85 Po

(Sumber: SNI 2847-2019)

Adapun nilai Po dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$P_o = 0,85f_c'(A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st} \dots \dots \dots (2.30)$$

1. Kondisi *Balance*

Kondisi *balance* adalah kondisi dimana kapasitas momen nominal mencapai maksimum yang dapat ditahan suatu kolom dengan beban aksial yang bekerja pada waktu yang sama. Kondisi *balance* diperhitungkan saat diagram tegangan dan regangan berkerja pada garis netral penampang kolom.

2. Keruntuhan Tekan

Pada keruntuhan tekan, beton pada bagian tekan akan terjadi runtuh terlebih dahulu dan baja tulangan tarik belum leleh. Apabila gaya tekan lebih besar dari gaya tekan pada kondisi seimbang dan nilai eksentrisitas lebih kecil dari eksentrisitas kondisi seimbang, maka keruntuhan tekan dapat terjadi. Dalam kondisi ini, sebagian besar

penampang beton akan berada pada kondisi tekan. Sumbu netral berada dekat dengan tulangan tarik, maka luas daerah tekan beton semakin luas dan jarak sumbu netral dari serat tekan beton akan melebihi jarak pada kondisi seimbang ($c > c_b$).

3. Keruntuhan Tarik

Keruntuhan kolom diawali dengan lelehnya baja tulangan tarik. Keruntuhan tarik dapat terjadi apabila kolom mendapat beban tekan eksentris dengan eksentrisitas yang besar. Untuk hal ini, kuat tekan nominal penampang harus lebih kecil dari kuat nominal kondisi seimbang dan eksentrisitas lebih besar dari eksentrisitas pada kondisi seimbang.

4. Kondisi Lentur Murni

Kondisi lentur murni merupakan kondisi beban momen maksimum yang dapat ditahan oleh penampang kolom, tanpa adanya beban aksial yang bekerja pada waktu yang sama. Dalam kondisi ini, tulangan tekan dapat diabaikan sehingga persamaannya menjadi $C = T$, sehingga kapasitas tekan aksial kolom sebesar 0.

2.10. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Struktur rangka pemikul momen khusus adalah suatu sistem struktur yang didesain mampu untuk menahan beban gempa. Berikut syarat-syarat struktur balok dan kolom dengan sistem rangka pemikul momen khusus berdasarkan SNI 2847-2019.

2.10.1. Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Adapun beberapa persyaratan untuk balok sistem rangka pemikul momen khusus, antara lain:

1. Persyaratan Umum

Komponen lentur yang merupakan bagian dari SRPMK harus memenuhi kriteria yang ditetapkan dalam SNI 2847-2019 yaitu:

2.9.4.1. Gaya tekan aksial terfaktor (P_u) tidak boleh lebih dari $A_g \times f_c' / 10$.

2.9.4.2. Panjang bentang bersih l_n , harus lebih besar daripada 4 kali tinggi efektif ($l_n \geq 4d$).

2.9.4.3. Lebar komponen, b_w tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari $0,3h$ dan 250 mm.

2.9.4.4. Lebar penampang, b_w tidak boleh melebihi lebar kolom pendukung ditambah nilai terkecil dari lebar kolom atau $\frac{3}{4}$ kali dimensi kolom dalam arah sejajar komponen lentur.

2. Persyaratan Tulangan Lentur

a. Syarat rasio minimal luasan tulangan lentur pada sisi atas dan sisi bawah kolom harus memenuhi persamaan sesuai SNI 2847-2019 Pasal 9.6.1.2 berikut:

- $A_s \geq \sqrt{f_c'} / 4f_y \times b \times d$
- $A_s \geq 1,4 / 4f_y \times b \times d$

b. Kuat lentur positif komponen struktur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat lentur negatifnya.

c. Syarat rasio maksimum tulangan lentur adalah sebesar 0,025.

d. Kuat lentur negative maupun positif pada penampang di sepanjang bentang balok tidak boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ kuat lentur pada kedua muka kolom tersebut.

3. Persyaratan Tulangan Transversal

a. Memenuhi SNI 2847-2019 Pasal 21.6.4.3, spasi tulangan transversal harus memenuhi syarat-syarat jarak minimal sebagai berikut:

- $d/4$
- $6d_b$
- 150 mm

b. Tulangan sengkang sistem rangka pemikul momen khusus harus didesain untuk memikul gaya geser rencana (V_e), yang ditimbulkan oleh kuat lentur maksimum dengan arah yang berlawanan pada kedua ujung muka tumpuan, pada saat yang

bersamaan, selain itu, komponen struktur itu juga diharuskan untuk menahan gaya gravitasi terfaktor yang bekerja di sepanjang komponen lentur.

- c. Kuat geser yang dipikul oleh beton (V_c) dapat diambil sama dengan nol apabila gaya geser yang ditimbulkan oleh gaya gempa lebih besar daripada 50% dari kuat geser perlu pada sepanjang bentang, serta apabila terdapat gaya aksial terfaktor akibat gaya gempa besarnya kurang dari $A_g \times f_c' / 20$.

2.10.2. Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Adapun persyaratan untuk struktur kolom sistem rangka pemikul momen khusus sebagai berikut:

1. Persyaratan Dimensi

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.2.1, dimensi kolom terkecil harus lebih besar dari 300 mm, serta rasio dimensi terpendek dengan yang terpanjang harus lebih besar dari 0,4.

2. Persyaratan Tulangan Lentur

- a. Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4, luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 1% A_g dan tidak boleh lebih dari 6% A_g .
- b. Berdasarkan SNI 2847-2019 18.7.3, kekuatan lentur minimum kolom harus memenuhi syarat: $\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$.

3. Persyaratan Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.5.3, spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari sebagai berikut:

- a. $\frac{1}{4}$ dimensi terkecil penampang kolom
- b. 6 diameter tulangan utama terkecil
- c. $S_o = 100 + ((350 - h_x) / 3)$, nilai S_o harus kurang dari 150 mm dan lebih dari 100 mm.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pendekatan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah membandingkan hasil evaluasi kekuatan struktur bangunan bertingkat akibat pengaruh beban gempa dan tanpa pengaruh beban gempa menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum. Untuk itu, pendekatan penelitian yang digunakan oleh penulis adalah pendekatan kuantitatif, karena dalam penarikan kesimpulan dirumuskan berdasarkan hasil analisis berupa data-data numerik.

3.2. Objek Penelitian

Objek dari penelitian ini adalah Gedung Kantor DJBC (Direktorat Jenderal Bea dan Cukai) Wilayah Sumatera Bagian Barat yang berada di Jl. Gatot Subroto No.56, Sukaraja, Kec. Bumi Waras, Kota Bandar Lampung. Lokasi objek dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1. Objek Penelitian. (Sumber: Google Maps, 2023)

Dengan batas wilayah pada Gedung Kantor DJBC (Direktorat Jenderal Bea dan Cukai) adalah:

Bagian Utara : Jl. Gatot Subroto

Bagian Selatan : Lahan Kosong

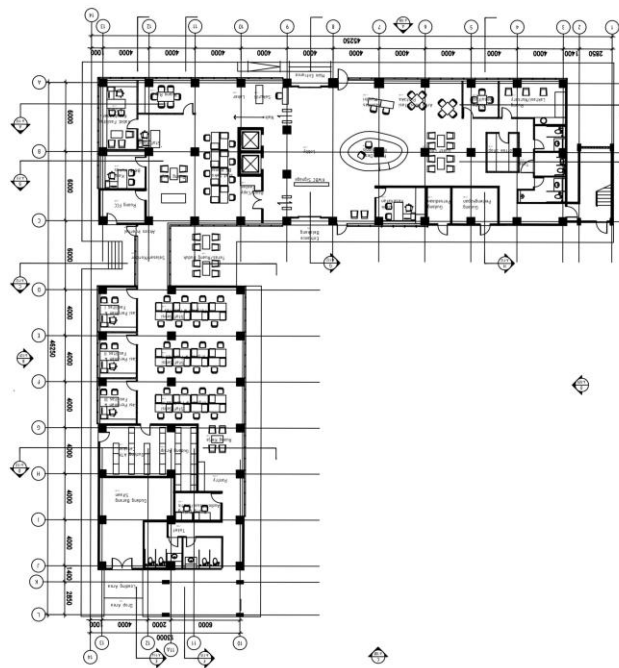
Bagian Timur : Gg. Jati Baru

Bagian Barat : Rumah Dinas Bea Cukai

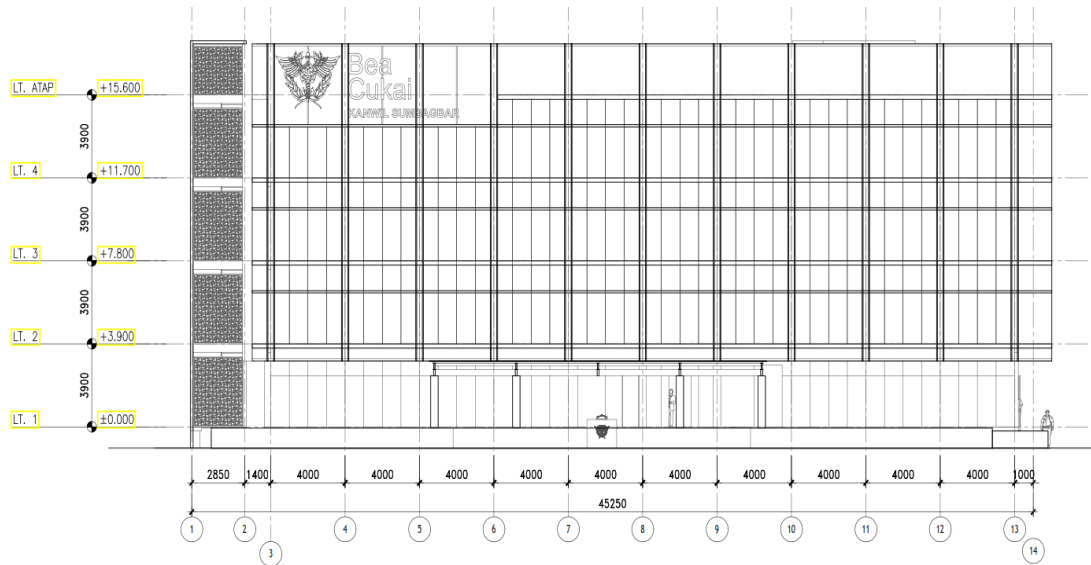
3.3. Data Penelitian

Adapun data yang didapatkan dari pembangunan Gedung Kantor DJBC Wilayah Sumatera Bagian Barat untuk keperluan penelitian. Data yang didapat adalah data tanah dan gambar rencana Gedung Kantor DJBC Wilayah Sumatera Bagian Barat. Data ini digunakan untuk pemodelan struktur yang selanjutnya dianalisis menggunakan bantuan program analisis struktur.

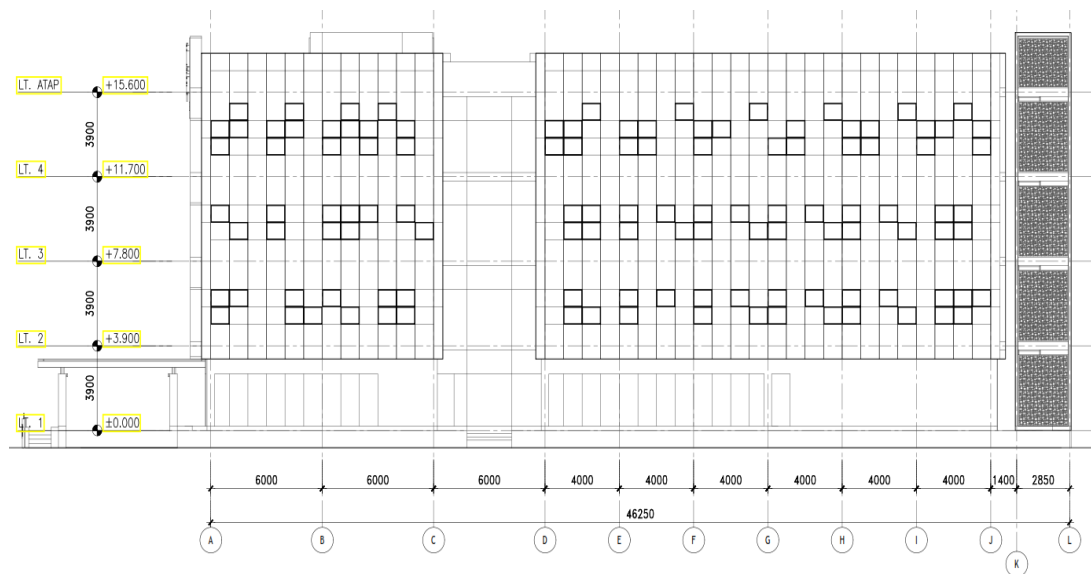
Adapun gambar *site plan*, gambar tampak depan, gambar tampak samping kanan, gambar tampak samping kiri, dan gambar tampak belakang gedung yang termasuk dalam data penelitian disajikan pada Gambar 3.2, Gambar 3.3, Gambar 3.4, Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.



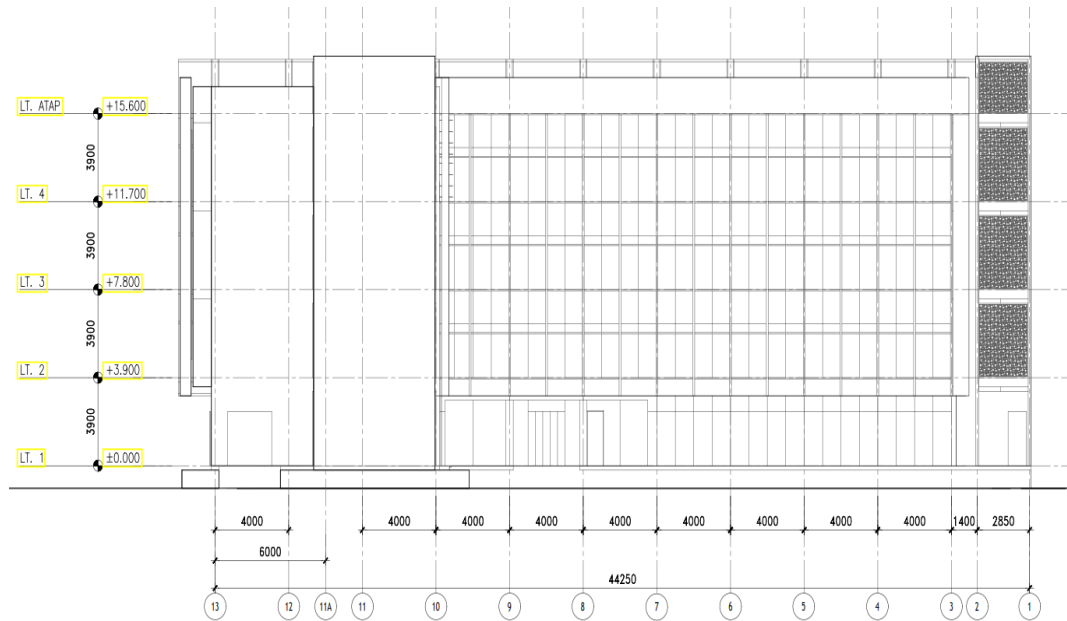
Gambar 3.2. *Site Plan*.



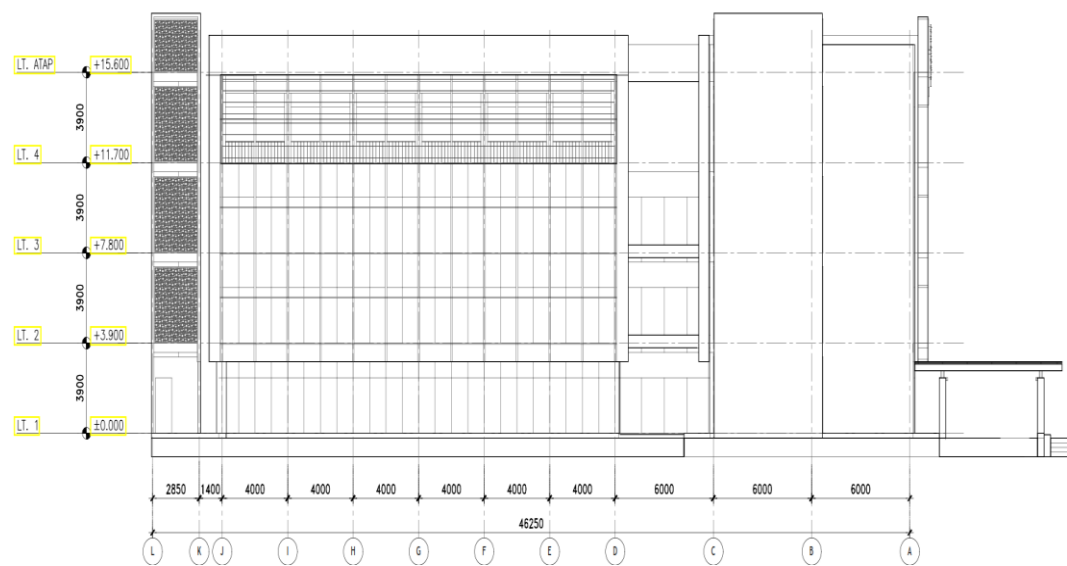
Gambar 3.3. Tampak Depan Gedung.



Gambar 3.4. Tampak Belakang Gedung.



Gambar 3.5. Tampak Samping Kanan Gedung.



Gambar 3.6. Tampak Samping Kiri Gedung.

Adapun data-data yang menunjang penelitian pada Gedung Kantor DJBC Wilayah Sumatera Bagian Barat seperti luas bangunan, elevasi bangunan, struktur balok, struktur kolom, struktur pelat, dan data tanah.

3.3.1. Luas Bangunan

Luas bangunan pada Gedung Kantor DJBC $\pm 4140 \text{ m}^2$ dan luas lahan $\pm 6485 \text{ m}^2$. Bangunan tersusun 4 lantai dengan luasan per lantai sebagai berikut:

1. Luas lantai 1 = 828 m^2
2. Luas lantai 2 = 828 m^2
3. Luas lantai 3 = 828 m^2
4. Luas lantai 4 = 828 m^2
5. Luas atap = 828 m^2

3.3.2. Elevasi Bangunan

Data elevasi bangunan dan tinggi bangunan pada Gedung Kantor DJBC Wilayah Sumatera Bagian Barat disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data Elevasi Bangunan

No.	Lantai	Elevasi Tiap Lantai (m)	Tinggi bangunan (m)
1.	Lantai 1	+0,0	0,0
2.	Lantai 2	+3,9	3,9
3.	Lantai 3	+7,8	3,9
4.	Lantai 4	+11,7	3,9
5.	Lantai Atap	+15,6	3,9

3.3.3. Struktur Balok

Struktur balok yang digunakan pada pembangunan Gedung Kantor DJBC Wilayah Sumatera Bagian Barat adalah beton bertulangan dengan mutu beton K-400. Adapun rincian dari penulangan disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Penulangan Balok

Tipe Balok	Dimensi (mm)	Letak	Tulangan Lentur		Tulangan Geser	
			Tump	Lap	Tump	Lap
B1	350x550	Atas	11D19	6D19	D16-100	D16-200
		Bawah	6D19	11D19		
B2	250x450	Atas	5D19	4D19	D16-100	D16-200
		Bawah	4D19	7D19		
B3	400x700	Atas	16D22	6D22	1,5D16-100	1,5D16-200
		Bawah	6D22	11D22		
A1A	200x400	Atas	7D16	4D16	1,5D16-100	1,5D16-200
		Bawah	4D16	7D16		
A2A	300x700	Atas	7D19	4D19	D10-100	D10-200
		Bawah	4D19	7D19		

3.3.4. Struktur Kolom

Gedung Kantor DJBC Wilayah Sumatera Bagian Barat menggunakan 3 jenis kolom, yaitu kolom persegi dan kolom persegi panjang. Material yang digunakan adalah beton bertulangan dengan mutu beton K-400 dan tulangan yang dipakai ulir dan polos. Adapun rincian dalam penulangan pada kolom dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Penulangan Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi (mm)	Tulangan memanjang	Tumpuan	Lapangan
1.	K1	700x700	24D22	D13-100	D13-200
2.	K2	300x600	14D22	D13-100	D13-200
2.	K3	800x800	24D22	D13-100	D13-200

3.3.5. Struktur Pelat

Adapun penulangan pelat pada Gedung Kantor DJBC Wilayah Sumatera Bagian Barat dapat dilihat pada Tabel 3.4.

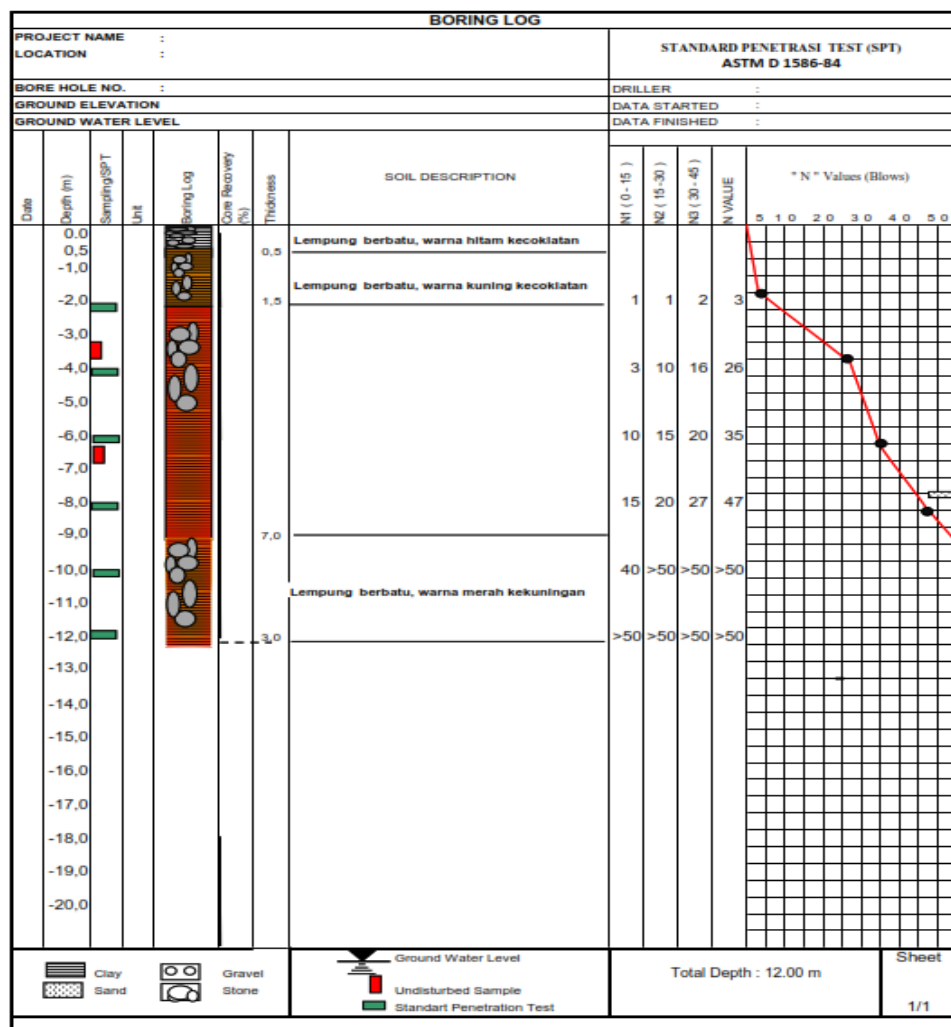
Tabel 3.4. Penulangan Pelat

No.	Tipe Pelat	Tebal (mm)	Tulangan Arah X	Tulangan Arah Y
1.	S1	130 mm	D8-150	D8-150
2.	S2	150 mm	D10-150	D10-150

3.3.6. Data Tanah

Data tanah yang diperlukan dalam penelitian ini berupa nilai N-SPT dari hasil pengujian bor log pada lokasi penelitian. Nilai N-SPT digunakan untuk menentukan jenis tanah pada lokasi yang akan dianalisa untuk desain respon spektra. Setiap daerah memiliki situs atau jenis tanah yang berbeda-beda, oleh sebab itu pengklasifikasian situs merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Klasifikasi situs digunakan untuk menentukan kategori desain seismik dan parameter respon spektral percepatan gempa terpetakan. Nilai N-SPT dapat dilihat pada Tabel 3.5

Tabel 3.5. Nilai N-SPT



3.4. Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode analisis dinamik respon spektrum. Analisis dilakukan dengan bantuan program analisis struktur. Berikut tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini .

3.4.1. Studi Literatur

Literatur yang digunakan dalam melakukan penelitian ini didapatkan dari beberapa jurnal dan SNI, seperti berikut ini :

1. SNI 1726-2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
2. SNI 2847-2020 mengenai Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.
3. SNI 1727-2020 mengenai Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
4. Beberapa jurnal dan sumber literatur mengenai analisis kekuatan struktur dengan menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum.

3.4.2. Pengumpulan Data

Adapun data dan informasi mengenai Gedung Kantor DJBC Wilayah Sumatera Bagian Barat ini berupa pengumpulan data primer dan data sekunder. Data yang diperoleh seperti:

1. As Built Drawing

Data ini dibutuhkan untuk pemodelan struktur 3D yang selanjutnya dianalisis dengan bantuan analisis struktur. Dalam melakukan pemodelan struktur 3D harus berdasarkan gambar rencana sehingga meminimalisir kurang tepatnya perhitungan dalam analisis struktur.

2. Data Tanah

Data tanah ini digunakan untuk menentukan kelas situs pada saat analisis struktur terhadap beban gempa. Setiap daerah memiliki situs tanah yang berbeda-beda, maka dari itu pengklasifikasian situs perlu dilakukan agar dalam perencanaan bangunan tahan gempa.

3.4.3. Analisis Data

Analisis data dan informasi yang dilakukan dalam penelitian metode analisis dinamik respon spektrum pada Gedung Kantor DJBC Wilayah Sumatera Bagian Barat dibutuhkan tahapan-tahapan untuk memudahkan pada saat melakukan analisis data. Adapun tahapan-tahapan yang perlu dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Pemodelan Struktur

Pada struktur dimodelkan dalam bentuk 3D dengan memasukkan elemen struktur berupa balok, kolom, dan pelat. Tahapan awal yang dilakukan adalah mendefinisikan material dan dimensi struktur yang digunakan. Setelah semua data material dan dimensi struktur sudah didefinisikan, langkah selanjutnya adalah menggambar letak-letak balok, kolom, dan pelat sesuai dengan shop drawing yang telah diberikan.

2. Perhitungan Pembebanan

Dalam merencanakan struktur bangunan membutuhkan asumsi dan pendekatan beban yang bekerja pada struktur bangunan. Dalam perhitungan pembebanan yang bekerja pada struktur bangunan terdapat beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

Perhitungan beban mati akibat berat sendiri pada program analisis struktur dimasukkan dalam *load case dead*, sedangkan beban mati tambahan dimasukkan dalam *load case super dead*. Beban mati akibat berat sendiri telah dihitung oleh program secara otomatis berdasarkan input data material dan dimensi struktur yang digunakan,

sedangkan untuk beban mati tambahan ditambahkan secara manual sesuai dengan nilai peraturan pembebanan yang digunakan.

Perhitungan beban hidup yang ditambahkan dalam program analisis struktur dinotasikan dalam *load case live* dengan *self weight multiplier* 0. Beban hidup ditambahkan secara manual pada assign shell load dan besarnya beban hidup yang ditambahkan diperoleh berdasarkan peraturan yang digunakan.

3. Analisis Respon Spektrum

Analisis ketahanan struktur terhadap pengaruh beban gempa dilakukan dengan analisis dinamik respon spektrum untuk mendapatkan kurva respon spektrum sesuai dengan wilayah yang ditinjau dengan menggunakan bantuan program analisis struktur komersial

Langkah awal yang dilakukan adalah menentukan data parameter respon seismik struktur berdasarkan lokasi bangunan, fungsi bangunan, jenis tanah, dan tipe struktur. Dalam parameter respon seismik yang perlu ditentukan adalah kategori resiko struktur, nilai percepatan gempa MCER, percepatan spektral, kategori desain struktur, koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω), dan faktor pembesaran defleksi (C_d). Setelah itu data tersebut dimasukkan ke dalam program analisis struktur.

Selanjutnya dalam melakukan pemodelan beban gempa respon spektrum pada program analisis struktur, tahap awal yang perlu dilakukan adalah mendefinisikan *function respon spectrum*, *define load pattern* untuk beban gempa, respon spektrum gempa arah x (U1) dan arah y (U2) pada *load case* data, dan *mass source*.

4. Analisis Struktur

Analisis struktur memiliki tujuan untuk memperkirakan gaya dalam dan deformasi dari sistem struktur dan untuk memastikan terpenuhinya persyaratan kekuatan, kemampuan layan (*serviceability*), dan *stabilitas*. Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan program analisis struktur komersial. Data yang didapat

dari program analisis struktur komersial yaitu story respons akibat pengaruh beban gempa dan gaya-gaya dalam yang terdapat pada struktur. Data-data tersebut yang akan digunakan dalam perhitungan evaluasi kekuatan struktur.

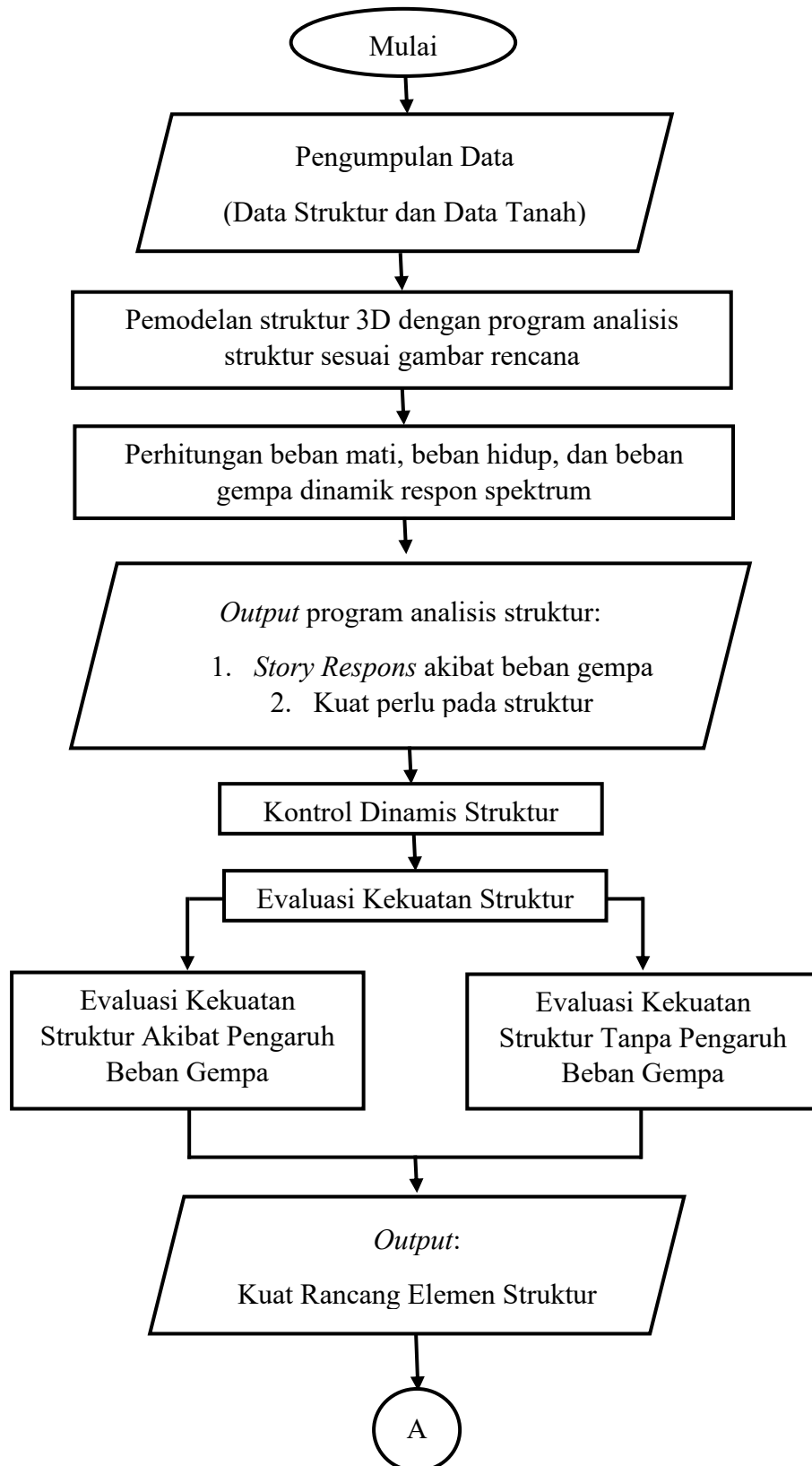
5. Evaluasi Kekuatan Struktur

Evaluasi kekuatan struktur dihitung untuk mengetahui tingkat kelayakan struktur terhadap pengaruh beban gempa. Dalam evaluasi kekuatan struktur syarat yang harus terpenuhi adalah kekuatan kapasitas elemen struktur dan stabilitas. Adapun kekuatan kapasitas elemen struktur yaitu kuat kapasitas penampang atau elemen struktur berupa pelat, balok, dan kolom harus melebihi kuat perlu yang dibutuhkan. Evaluasi kuat kapasitas pada struktur pelat dilakukan dengan membedakan jenis pelat satu arah dengan pelat dua arah. Untuk evaluasi pada struktur balok dilakukan peninjauan pada tulangan lentur, tulangan geser, dan tulangan torsi. Sedangkan, untuk evaluasi pada struktur kolom untuk menentukan kapasitas kolom dibutuhkan diagram interaksi menggunakan software *Structure Point Column (SP Column)*.

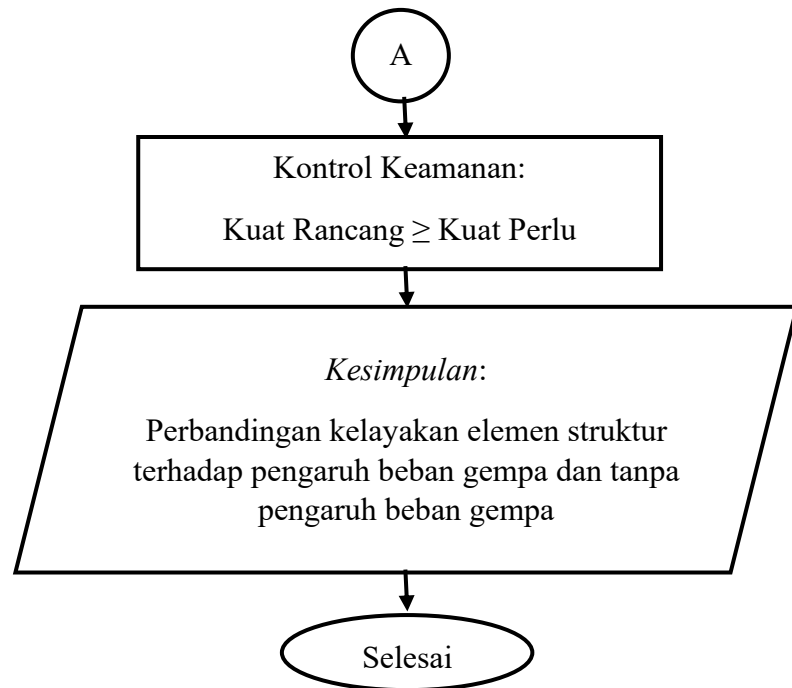
Syarat yang kedua dalam evaluasi kekuatan struktur adalah kestabilan atau kelayakan elemen struktur dalam menerima pengaruh gaya yang berkerja. Suatu struktur harus memiliki nilai lendutan, retak dan simpangan yang masih berada dalam batas aman. Dalam menerima beban dinamis akibat beban gempa stabilitas struktur ditinjau berdasarkan simpangan antar lantai, periode getar fundamental struktur, dan syarat-syarat sesuai batas dalam SNI 1726-2019.

3.5. Diagram Alir Penelitian

Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan penulis dalam melakukan penelitian ini, dapat dilihat pada *flowchart* yang disajikan dalam Gambar 3.5.



Gambar 3.7. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.7. (Lanjutan)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan beban gempa menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum, maka diperoleh hasil pemeriksaan dinamis pada struktur sebagai berikut:
 - a. Rasio partisipasi massa ragam terkombinasi arah X dan arah Y untuk bisa mencapai partisipasi massa 96% yaitu pada *mode* 50.
 - b. Periode fundamental yang diperoleh yaitu 0,773 detik untuk arah X dan 0,773 detik untuk arah Y.
 - c. Gaya geser dasar akibat beban dinamik yang didapatkan sudah lebih besar dari gaya dasar akibat beban statik, sehingga sudah memenuhi persyaratan SNI 1726-2019.
 - d. Berdasarkan SNI 1726-2019 nilai simpangan antar tingkat pada arah X maupun arah Y sudah memenuhi batas izin, sehingga respon dinamis struktur terhadap simpangan antar tingkat memenuhi syarat kelayakan gedung tahan gempa.
2. Berdasarkan perbandingan hasil evaluasi kekuatan pada elemen struktur akibat adanya pengaruh beban gempa dengan akibat tanpa adanya pengaruh gempa, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:
 - a. Hasil evaluasi pada struktur balok, pada kondisi tanpa pengaruh beban gempa dan kondisi pengaruh beban gempa, semua tipe balok mampu menahan momen lentur, gaya geser, dan torsi.
 - b. Pada struktur kolom, berdasarkan diagram interaksi P-M pada kolom, akibat tanpa adanya pengaruh beban gempa pada setiap

kolom, titik beban terfaktor berada di dalam lingkup kuat rencana, sehingga dapat dikategorikan aman. Sedangkan akibat adanya pengaruh beban gempa pada tipe kolom K1 dan K2, pada beberapa kondisi titik beban terfaktor berada di luar lingkup kuat rencana dan persentase kuat perlu yang diperoleh mencapai 107,71% - 126,67% dari kuat yang direncanakan, sehingga dapat dikategorikan tidak cukup aman.

- c. Pada struktur pelat, berdasarkan hasil evaluasi semua tipe pelat diketahui bahwa persentase kuat perlu yang diperoleh 5,97% - 55,42% mencapai kuat yang direncanakan, sehingga semua tipe pelat aman untuk digunakan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa saran antara lain yaitu:

1. Menambahkan hasil evaluasi struktur menggunakan metode analisis dinamik riwayat waktu sebagai pembanding.
2. Perlunya evaluasi lanjutan mengenai pola keruntuhan struktur akibat terjadinya kegagalan elemen struktur bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2023. Data Gempa Bumi. [online] Available at : <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/data-gempabumi.bmkg> [Accessed 2023].
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Banguna Gedung dan Penjelasan. (SNI 2847-2019)*. Jakarta : BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. (SNI 1726-2019)*. Jakarta : BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung. (SNI 1727-2020)*. Jakarta : BSN.
- Bakornas PB. 2007. *Pengenalan Karakteristik Bencana dan Upaya Mitigasinya di Indonesia*. Jakarta : Direktorat Mitigasi.
- Desain Spektra Indonesia, 2022. *Kurva Respon Spektrum dalam <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>* [Accessed 2023].
- Google Inc, 2022. Google Maps: *Peta Lokasi Gedung Kantor DJBC (Direktorat Jenderal Bea dan Cukai)* dalam <http://maps.google.com/>. [Accessed 2023].

Muin, R.B. 2008. *Struktur Beton Bertulang II*. http://pksm.mercubuana.ac.id/new/elearning/files_modul/110253-905777166916.pdf, tanggal 16 April 2023.

Prismastanto, Novi. 2019. *Metode Analisis Ragam Spektrum Respons Pada Struktur Gedung Bertingkat (Studi Kasus Hotel Tosan, Solo Baru)*. Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (MoDuluS), Vol.1, No 1.

Siddiq, S. 2008. *Bangunan Tahan Gempa Berbasis Standar Nasional Indonesia*. Jurnal Standardisasi, 8(2).