

KINERJA STRUKTUR

GEDUNG OFFICE 36 LANTAI

ANALISIS TIME HISTORY
DAN PUSHOVER

Buku ini membawa pembaca dalam perjalanan mendalam ke dunia analisis struktural gedung yang kompleks melalui studi kasus pada gedung perkantoran berlantai 36. Penulis secara cermat membahas analisis kinerja struktur menggunakan dua metode kunci, yaitu Time History Analysis dan Pushover Analysis.

Dengan penuh ketelitian, buku ini menguraikan konsep dasar, dan membahas implikasi praktisnya. Pembaca akan dipandu untuk memahami perbedaan pendekatan antara Time History Analysis, yang memperhitungkan respons struktur terhadap beban dinamis seiring waktu, dan Pushover Analysis, yang mengevaluasi kinerja struktur terhadap beban lateral secara berangsur.

Selain membahas teori-teori yang mendasari kedua metode tersebut, buku ini juga memberikan wawasan mendalam tentang penerapan praktisnya. Melalui studi kasus gedung office 36 lantai, pembaca akan mendapatkan pemahaman yang kuat tentang bagaimana menerapkan dan menganalisis hasil dari kedua metode tersebut.

Buku ini tidak hanya ditujukan untuk para ahli struktural dan insinyur, tetapi juga berguna bagi mahasiswa teknik sipil dan profesional dalam industri konstruksi. Dengan penekanan pada keterbacaan dan aplikasi praktis, buku ini memberikan kontribusi berharga untuk memahami dan meningkatkan kinerja struktural gedung modern.

KINERJA STRUKTUR

GEDUNG OFFICE 36 LANTAI

ANALISIS TIME HISTORY
DAN PUSHOVER

KINERJA STRUKTUR GEDUNG OFFICE 36 LANTAI

Yonas Prima Arga Rumbyarso ST MT MM

**KINERJA STRUKTUR
GEDUNG OFFICE 36 LANTAI:**
Analisis Time History dan Pushover

Sanksi Pelanggaran Pasal 113 Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

1. **Setiap Orang** yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

KINERJA STRUKTUR
GEDUNG OFFICE 36 LANTAI:
*Analisis *Time History* dan *Pushover**

Yonas Prima Arga Rumbyarso S.T., M.T., M.M.



KINERJA STRUKTUR GEDUNG OFFICE 36 LANTAI:
Analisis Time History dan Pushover

Diterbitkan pertama kali oleh Penerbit Amerta Media
Hak cipta dilindungi oleh undang-undang *All Rights Reserved*
Hak penerbitan pada Penerbit Amerta Media
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian
atau seluruh isi buku ini
tanpa seizin tertulis dari Penerbit

Anggota IKAPI
No 192JTE/2020

Cetakan Pertama: Januari 2024
15,5 cm x 23 cm

ISBN: 978-623-419-553-8

Penulis:

Yonas Prima Arga Rumbiarso S.T., M.T., M.M.

Editor:

Alfiatin

Desain Cover:

Dwi Prasetyo

Tata Letak:

Ladifa Nanda

Diterbitkan Oleh:

Penerbit Amerta Media

Jl. Raya Sidakangen, RT 001 RW 003, Kel, Kebanggan, Kec. Sumbang,
Purwokerto, Banyumas 53183, Jawa Tengah. Telp. 081-356-3333-24

Email: mediaamerta@gmail.com

Website: amertamedia.co.id

Whatsapp : 081-356-3333-24

Prakata

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa sehingga buku dengan judul “**Kinerja Struktur Gedung Office 36 Lantai: Analisis Time History dan Pushover**” selesai disusun dan diterbitkan. Rasa syukur dan terima kasih bahwa beberapa kendala, kesulitan dan hambatan yang dijumpai dalam penulisan buku ini telah dapat diatasi dengan baik, selain itu penulis banyak memperoleh bantuan, nasihat, saran, kerja sama dan dukungan serta bimbingan baik moril maupun materiil dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini dengan penuh kerendahan hati penulis dengan senang hati mengucapkan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya serta setinggi-tingginya kepada yang terhormat:

1. Kedua orangtuaku tercinta, almarhum Ayah: Yohanes Babtista Soenaryo Adipranoto Sar.Mud dan almarhumah Ibu: Monica Srie Sumiyati S.Pd atas jasa-jasanya, kesabaran, do’a, dan tidak pernah lelah dalam mendidik serta memberikan cinta yang tulus dan ikhlas kepada penulis semenjak kecil.
2. Kedua Adikku, Ferdinandus Widi Sasongko dan Thomas Aquino Pamungkas Tunggul Adikusumo, A.Md.
3. Program Studi Magister Hukum Fakultas Hukum Universitas Krisnadwipayana Jakarta.
4. Angkatan XII Program Studi Doktor Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia, Persatuan Insinyur Indonesia, Ikatan Quantity Surveyor Indonesia, Asosiasi Dosen Indonesia.
6. Semua pihak yang telah membantu baik langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan buku monograf ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu. Semangat, doa, dan dukungan yang kalian berikan sungguh berarti.

Apabila para pembaca menjumpai kebenaran dalam buku ajar ini, maka hal tersebut tak lain karena berkat Tuhan Yang Maha Esa. Sebaliknya meskipun telah diupayakan dengan bersungguh-sungguh agar tidak ada kesalahan, baik sengaja maupun tidak disengaja, apabila pembaca menjumpai kekurangan dan kekeliruan baik aspek kualitas maupun aspek kuantitas dari materi yang disajikan, itu tak lain karena penulis adalah manusia biasa yang tak akan pernah luput dari kesalahan dan kekhilafan. Semoga dengan terbitnya buku monograf ini, akan memberikan manfaat yang sebesar-besarnya dan dapat berguna bagi kemajuan pendidikan Teknik Sipil di Indonesia serta pihak lain yang membutuhkan demi menuju kebangkitan daya saing bangsa dalam menghadapi kompetisi global. Akhir kata semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas segala kebaikan dengan berkat yang melimpah dan damai sejahtera selalu serta kebaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan buku ini.

Jakarta, 01 Januari 2024

(Yonas Prima Arga Rumbyarso, S.T., M.T., M.M)

Daftar Isi

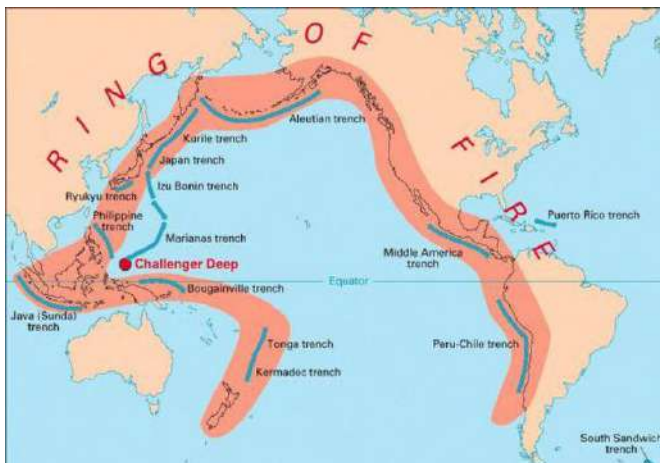
HALAMAN JUDUL	i
TENTANG BUKU	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II KONSEP DASAR MEKANISME GEMPA	11
A. Patahan/Sesar	12
B. Siklus Gempa	13
BAB III <i>GROUND MOTION</i> (TINGKAT GUNCANGAN TANAH)	17
BAB IV KINERJA STRUKTUR GEDUNG TAHAN GEMPA 29	
A. Prinsip Perencanaan Struktur Bangunan.....	29
B. Ketentuan Umum Bangunan Gedung Tahan Gempa.....	30
BAB V STRUKTUR DAN BEBAN GEMPA	51
A. Pembebanan Struktur	52
B. Analisis Dinamik Riwayat Waktu (<i>Time History Analysis</i>)	54
C. Analisis Statik Beban Dorong (<i>Pushover</i>)	55
D. Tingkat/Level Kinerja Struktur Gedung	55
BAB VI PEMODELAN STRUKTUR GEDUNG	59
A. Asumsi Pemodelan	64
B. Langkah Pemodelan.....	65
C. Membuat Pemodelan Struktur	70
D. Pembebanan Struktur	74
E. Beban Gempa Berdasarkan Respons Spektrum	75
F. Rekapitulasi Berat Struktur dan Massa Bangunan	76

BAB VII GEMPA DINAMIK RESPONS SPEKTRUM.....	79
A. Perhitungan Respons Spektrum.....	79
B. Periode Fundamental	79
C. Kontrol Gaya Geser Dasar	82
D. Kontrol Simpangan (<i>Displacement</i>)	84
E. Pengaruh P-Delta	87
F. Ragam Pola Getar	88
G. Modal Participating Mass Ratio (MPMR).....	92
BAB VIII TIME HISTORY ANALYSIS	93
A. Penskalaan <i>Ground Motion</i>	93
B. Percepatan Puncak Muka Tanah.....	111
C. Koefisien Situs	111
D. Penskalaan Percepatan Puncak Permukaan Tanah	112
E. Faktor Skala	112
F. Gaya Geser (<i>Base Shear Reaction</i>)	113
G. <i>Displacement</i>	114
H. <i>Drift Story</i>	120
I. Evaluasi Kinerja Struktur <i>Nonlinear Time History</i>	131
J. <i>Displacement dan Sendi Plastis</i>	137
BAB IX KINERJA STATIK NONLINEAR PUSHOVER	143
A. Menentukan Target Perpindahan.....	144
B. Analisis Kinerja Statik <i>Nonlinear Pushover</i> Berdasarkan ATC-40.....	145
C. Evaluasi Kinerja Struktur Arah X	145
D. Evaluasi Kinerja Struktur Arah Y	146
E. Analisis Kinerja Statik Nonlinear Pushover Berdasarkan FEMA-356.....	146
F. <i>Sendi Plastis Analysis Pushover</i>	148
BAB X LEVEL KINERJA DENGAN NONLINEAR TIME HISTORY DAN PUSHOVER.....	149
BAB XI PENUTUP	157
DAFTAR PUSTAKA	159
PROFIL PENULIS	161

BAB I

Pendahuluan

Indonesia merupakan sebuah negara maritim di mana luas lautan lebih besar dibandingkan dengan luas daratan. Terletak di kawasan Asia Tenggara dan melintasi garis khatulistiwa, secara geografis Indonesia terletak di antara dua benua, yaitu Asia dan Australia, serta diapit oleh dua samudera besar, yaitu Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Selain geografis, Indonesia terletak secara astronomis di 6°LU (Lintang Utara) - 11°LS (Lintang Selatan) dan 95°BT (Bujur Timur) - 141°BT (Bujur Timur). Luas wilayah Indonesia dari sumber belajar Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, disebutkan luas Indonesia seluruhnya $5.193.250 \text{ km}^2$.

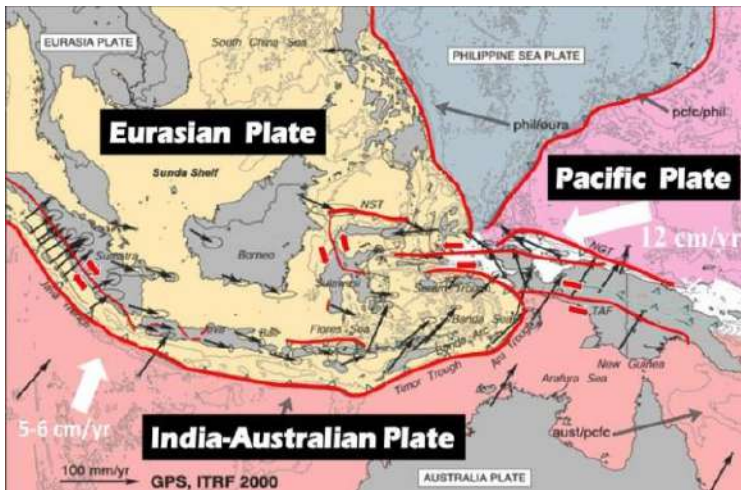


Sumber: Kompas.com, 2023.

Gambar 1.1
Cincin Api Pasifik Yang Melingkari Indonesia

Rinciannya luas daratan Indonesia adalah 1.919.440 km². Sedangkan luas lautan sekitar 3.273.810 km². Dalam situs Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi disebutkan, Rujukan Nasional Data Kewilayahan Republik Indonesia menyebutkan luas wilayah Indonesia baik itu darat dan perairan adalah 8.300.000 km². Posisi letak Indonesia ini dikenal dengan wilayah *Ring of Fire* (Cincin Api Pasifik) terbentang sejauh 40.000 km yang menyebabkan sangat sering terjadi potensi gempa bumi di wilayah Indonesia serta letusan-letusan gunung berapi di wilayah cekungan Samudera Pasifik. Indonesia merupakan negara yang sangat rentan terhadap bencana gempa bumi, hal ini disebabkan oleh 2 faktor yang saling berkaitan berikut ini:

1. Pada saat ini posisi geologis Indonesia berada atau terletak pada pertemuan 3 lempeng litosferik besar, yaitu:
 - a. Lempeng Eurasia;
 - b. Lempeng Pasifik;
 - c. Lempeng Indo-Australia.



Sumber: Bock *et al*, 2003.

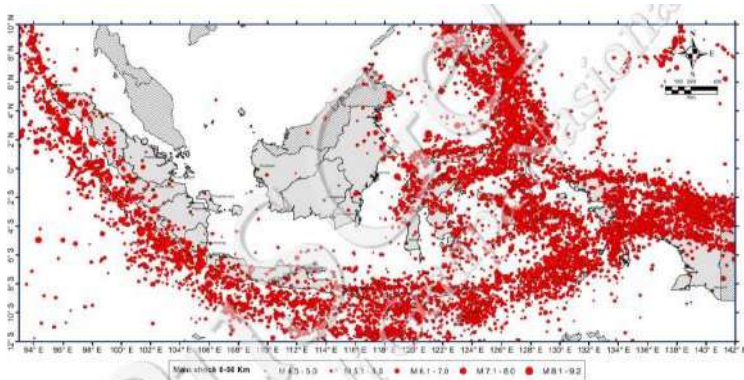
Gambar 1.2
Tektonik Aktif Wilayah Indonesia

Di mana gaya interaksi antar-lempeng tersebut senantiasa menekan dan menggeser berbagai patahan yang tersebar di seluruh bagian Indonesia, baik di daratan maupun di dasar lautan, yang telah ada semenjak lama akibat faktor berikutnya.

Gambar 1.2 di atas ini menjelaskan tentang tektonik aktif wilayah Indonesia, dimana panah menunjukkan relatif pergerakan berdasarkan *Global Positioning System* (GPS).

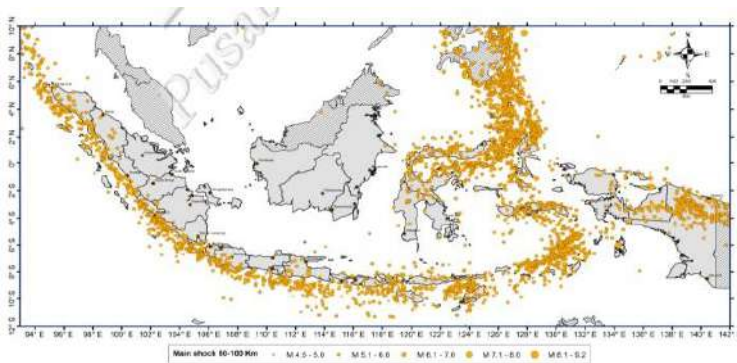
2. Pada masa lampau selama puluhan juta tahun, Indonesia dibangun atas gabungan berbagai lempeng benua mikro dan busur gunung api, yang digerakkan oleh proses tektonik yang kompleks hingga berada di tempatnya saat ini.

Proses tumbukan puluhan lempeng tersebut menyebabkan terbentuknya berbagai jenis patahan yang tersebar di berbagai tempat, senantiasa menerima dan menimbun gaya tektonik dari interaksi lempeng-lempeng litosfer saat ini.



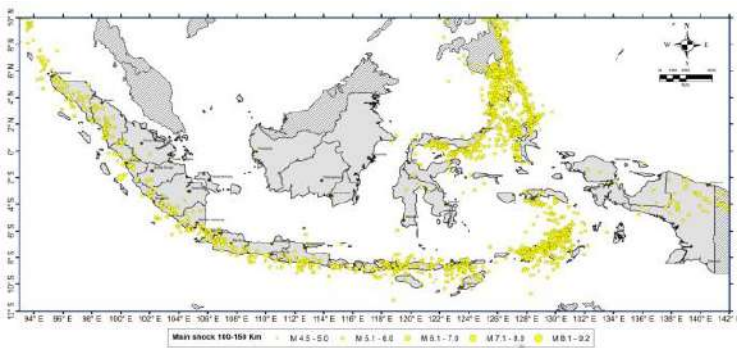
Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017.

Gambar 1.3
Peta Episenter Gempa Pada Kedalaman 0-50 km Pada Periode Tahun 1900-2016.



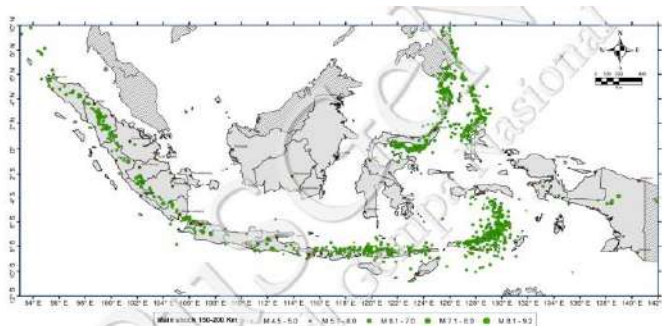
Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017.

Gambar 1.4
Peta Episenter Gempa Pada Kedalaman 50-100 km Pada Periode Tahun 1900-2016



Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017.

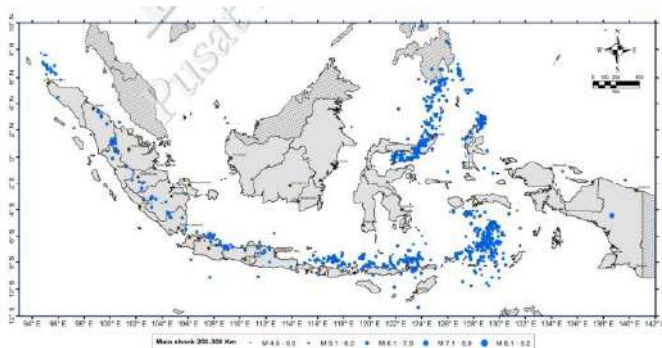
Gambar 1.5
Peta Episenter Gempa Pada Kedalaman 100-150 km Pada Periode Tahun 1900-2016.



Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017.

Gambar 1.6

Peta Episenter Gempa Pada Kedalaman 150-200 km Pada Periode Tahun 1900-2016.



Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017.

Gambar 1.7

Peta Episenter Gempa Pada Kedalaman 200-300 km Pada Periode Tahun 1900-2016.

Mitigasi bencana sangat erat hubungannya dengan Teknik Sipil, keterkaitan ini terjadi karena ilmu Teknik Sipil yang amat luas cakupannya. Kementerian Riset dan Teknologi Republik Indonesia menyebutkan bahwa Indonesia merupakan negara kepulauan yang dilewati oleh sistem - sistem lempeng kerak bumi yang aktif sehingga merupakan sebuah daerah yang memiliki potensi sering terjadinya bencana gempa bumi. Gempa bumi adalah guncangan yang dirasakan di permukaan bumi akibat:

1. Pergerakan antar lempeng-lempeng di lapisan bagian luar bumi;
2. Letusan gunung berapi;

3. Ledakan yang dibuat oleh manusia.

Sebagian gempa bumi tersebut terjadi dengan intensitas rendah hingga tinggi. Karena gempa adalah sesuatu yang tidak ditolak atau dicegah, maka perlu dipersiapkan adalah antisipasi jika gempa terjadi. Hal pertama adalah soal struktur bangunan, DKI Jakarta atau Daerah Khusus Ibukota Jakarta adalah Ibukota Negara Kesatuan Republik Indonesia yang merupakan kota dengan jumlah penduduk 10,56 juta jiwa (2020). Terdiri atas daratan seluas 664,01 km² dan lautan seluas 6.977,5 km². DKI Jakarta menjadi pusat kegiatan bisnis, politik, ekonomi dan kebudayaan di Indonesia. Selain itu DKI Jakarta menjadi pusat lembaga pemerintahan sekaligus pusat-pusat perkantoran nasional dan multinasional. Dengan berbagai keunggulannya, DKI Jakarta tidak lepas dari 9 ancaman bencana yang berpotensi dapat terjadi setiap saat. Ancaman tersebut antara lain:

1. Gempa;
2. Bencana banjir;
3. Kebakaran gedung dan permukiman;
4. Konflik sosial;
5. Pandemi, endemi dan wabah penyakit;
6. Kegagalan teknologi;
7. Cuaca ekstrim;
8. Gelombang ekstrim dan abrasi;
9. Gerakan tanah.

Menurut para pakar, Jakarta berpotensi diguncang gempa besar dari *megathrust*, bahkan hingga lebih dari 8 Skala Richter yang berasal dari zona kegempaan atau *seismic gap* yang ada di sekitar Jakarta. 2 gempa terakhir yang mengguncang Jakarta terjadi pada Januari 2018 lalu sempat membuat panik warga karena guncangan hebat. Gempa berkekuatan 6,1 SR tersebut berpusat di Samudera Hindia, 61 km dari Lebak, Banten. Sumber gempa besar yang mengancam Jakarta berasal dari patahan lempeng yang ada di Selat Sunda. Yakni antara lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia, posisinya tepat di bawah pulau Jawa dan Sumatera. Sekitar 300 km dari Jakarta. Secara umum, seluruh wilayah Indonesia berada di atas lempeng tektonik yang mempunyai potensi

menghasilkan gempa. Peristiwa gempa yang terjadi tersebut menyebabkan kerugian materiil serta korban jiwa akibat tertimpa reruntuhan bangunan. Dalam konteks ruang lingkup Teknik Sipil, kondisi diatas sangat berpengaruh besar dalam perencanaan disain struktur bangunan yang berada di Indonesia khususnya di wilayah DKI Jakarta yang memiliki kemajuan pesat serta aktivitas masyarakat semakin bertambah. Maka dari itu diperlukan sarana dan prasarana infrastruktur pendukung yang memiliki tujuan untuk memenuhi kebutuhan akan fasilitas umum demi kelancaran tercapainya laju pertumbuhan ekonomi. Setiap tahunnya pembangunan infrastruktur akan terus meningkat, salah satu contohnya ialah gedung perkantoran yang didisain dengan standar perencanaan baku serta kategori risiko yang tinggi sebagai tempat untuk melaksanakan aktivitas perekonomian. Banyak standar yang digunakan sebagai acuan pekerjaan konstruksi gedung, salah satunya yaitu Standar Nasional Indonesia yang didukung oleh standar pendukung lainnya. Berdasarkan SNI-1726:2019 tentang Tata Cara Ketahanan Gempa yang dikhususkan untuk struktur bangunan gedung beraturan dan tidak beraturan. Berdasarkan banyaknya kejadian bencana gempa bumi yang terjadi di Indonesia yang memiliki dampak besar sudah seharusnya para ahli yang bergerak di bidang Teknik Sipil harus menciptakan suatu pemikiran dan sistem yang baru mengenai perancangan sebuah struktur yang lebih kuat agar mampu bereaksi dengan baik saat terjadinya gempa bumi baik skala kecil, sedang maupun besar. Hal tersebut tentunya tidak hanya bertujuan untuk menciptakan struktur bangunan yang lebih kuat dan tahan terhadap gempa, tetapi juga bertujuan untuk menciptakan struktur gedung yang memiliki keamanan dan kehandalan dalam menahan gempa. Sebuah struktur bangunan harus dirancang menjadi bangunan tahan gempa yang direncanakan sesuai dengan peraturan gempa yang ada. Untuk memperhitungkan gaya lateral (gaya pada bangunan yang bersifat horisontal dengan arah yang tidak menentu) akibat gempa terhadap struktur bangunan biasanya dihitung dengan 2 metode analisis, yaitu:

1. Analisis statik;
2. Analisis dinamik.

Menurut Widodo, perbedaan utama dalam konsep statik dan dinamik yaitu pada karakteristik bangunan yang akan diperhitungkan di dalam analisis. Untuk konsep dinamik lebih memperhitungkan massa, kekakuan dan redaman, sedangkan untuk konsep statik hanya memperhitungkan massa saja (Faizah, 2015). Perkembangan konsep analisis perilaku struktur terhadap gempa berawal pada tahun 1930-an dimana saat itu perilaku struktur hanya dianalisis sampai pada kemampuan elastik saja dengan penjelasan dikarenakan pada saat itu perilaku inelastik dari suatu struktur belum dapat dianalisis. Untuk metode analisis struktur terhadap beban gempa yang berdasarkan konsep elastik ini dapat dikatakan mudah untuk dilakukan, tetapi metode ini akan menghasilkan struktur yang direncanakan untuk berperilaku elastik terhadap gempa yang kuat.

Metode analisis struktur terhadap beban gempa dapat dilakukan dengan menggunakan metode dinamik dan statik, antara lain yakni analisis riwayat waktu (*Time History Analysis*) dan analisis beban dorong (*Pushover Analysis*). Metode *Time History Analysis* sendiri merupakan metode analisis dinamis dengan menggunakan catatan rekaman gempa sedangkan untuk metode *Pushover Analysis* merupakan analisis statik yang dimana beban gempa dijadikan beban dorong. Dengan menggunakan kedua metode tersebut akan didapatkan hasil yang sama berupa kurva level kinerja struktur yang mengacu pada pedoman yang dikhususkan untuk menentukan level kinerja pada struktur yaitu ATC-40 dan FEMA-356. Metode analisis *Time History* dan *Pushover* ini merupakan metode lanjutan dari analisis respons spektra. Respons spektra sendiri merupakan analisis suatu struktur bangunan gedung yang masih berperilaku linear, sedangkan untuk analisis *Time History* dan *Pushover* tersebut merupakan analisis yang berlaku untuk struktur bangunan yang sudah berperilaku non-linear. Menurut Agus dan Syafri, untuk struktur tahan gempa, *displacement* merupakan hal yang paling mendasar. Pada umumnya, kerusakan struktur diakibatkan oleh besarnya *displacement* yang terjadi. Struktur harusnya memiliki sifat daktilitas (kemampuan struktur atau komponennya untuk melakukan deformasi inelastik bolak-balik berulang di luar batas titik leleh pertama, sambil mempertahankan sejumlah besar kemampuan daya dukung bebannya) yang ditujukan untuk mengakomodasikan besarnya *displacement* yang

terjadi. Dengan semakin kaku sebuah struktur, maka semakin besar gaya yang dihasilkan untuk melawan gaya gempa yang terjadi.

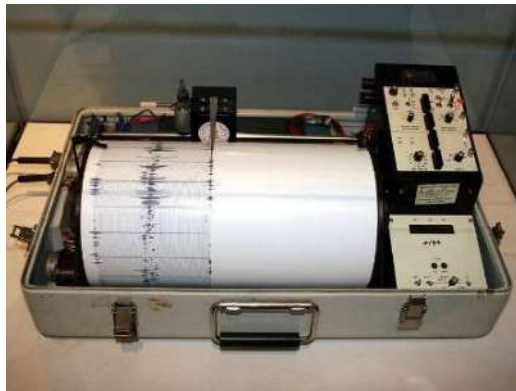
Struktur bangunan dikatakan stabil jika elemen-elemen yang ada di dalam strukturnya juga tetap stabil khususnya pada struktur kolom. Kapasitas struktur kolom tetap stabil jika tidak mendapatkan pengaruh dari efek P-delta. P-delta sendiri merupakan gejala yang terjadi pada struktur bangunan gedung yang fleksibel dimana simpangan lateral akibat beban gempa menimbulkan beban tambahan yang terjadi oleh beban gravitasi (Istiono dan Ramadhan Yusuf, 2020).

BAB II

Konsep Dasar Mekanisme Gempa

Gempa bumi merupakan sebuah bencana alam yang tidak dapat dihindari yang berwujud sebagai sebuah gerakan yang terjadi secara tiba-tiba serta menciptakan gelombang ke segala arah, dapat terjadi pada lokasi tertentu dan sifatnya tidak berkelanjutan.

Dengan kata lain gempa bumi adalah suatu peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi yang terjadi di dalam bumi secara tiba-tiba dan ditandai dengan patahnyalapisan batuan pada kerak bumi.



Sumber: Tribunnews.com, 2022.

Gambar 2.1
Alat Seismograf

Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi) secara tiba-tiba karena adanya sumber gaya (*force*) yang merupakan sebuah penyebabnya, baik dari alam maupun dari

bantuan manusia (*artificial earthquakes*).

Berdasarkan hasil penelitian dari peneliti kebumihan menyimpulkan bahwa hampir 95% lebih gempa bumi alamiah yang cukup besar dapat terjadi di daerah yang merupakan batas pertemuan antar lempeng yang menyusun kerak bumi dan di daerah sesar (*fault*).

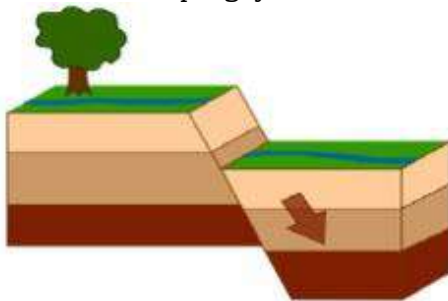
Gempa bumi di dunia terjadi setiap harinyatetapi frekuensi gempa bumi di suatu wilayah mengacu pada jenis dan ukuran gempa bumi yang dialami selama periode waktu. Gempa bumi diukur dengan menggunakan alat Seismograf.

A. Patahan/Sesar

Sesar merupakan tempat terjadinya gempa bumi, dengan kata lain sesar adalah patahan atau bidang rekahan yang disertai adanya pergeseran relatif terhadap blok batuan lainnya. Bidang sesar sangat bervariasi ukurannya, mulai dari beberapa sentimeter hingga puluhan kilometer. Bidang ini terbentuk akibat pergerakan lempeng dan menghasilkan gaya pada batuan. Anderson pada tahun 1951 membagi jenis sesar berdasarkan *principle stress*. *Principle stress* adalah gaya yang bekerja tegak lurus bidang sehingga *shear stress* pada bidang tersebut adalah 0 (nol). Klasifikasi Anderson membagi jenis sesar menjadi 3 (tiga) macam, yang adalah sebagai berikut:

1. Sesar normal (*normal fault*)

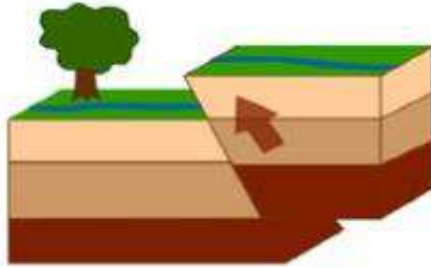
Jenis sesar yang pertama adalah sesar normal. Sesar ini mengalami pergeseran yang dipengaruhi gaya gravitasi. Sesar ini terjadi gaya tekan mencapai gaya maksimum secara vertikal.



Sumber: Kompas.com, 2022.

Gambar 2.2
Normal Fault

2. Sesar naik (*reverse fault* atau *thrust fault*)

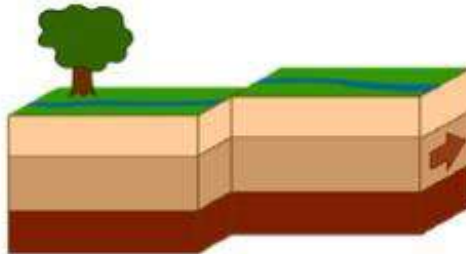


Sumber: Kompas.com, 2022.

Gambar 2.3
Reverse Fault* atau *Thrust Fault

Sesar jenis ini ditandai dengan salah satu blok batuan bergeser ke arah atas dan blok batuan lainnya bergeser ke arah bawah. Sesar ini biasanya membentuk sudut kemiringan yang lebih kecil dari 45° .

3. Sesar mendatar (*strike-slip fault*)



Sumber: Kompas.com, 2022.

Gambar 2.4
Strike-Slip Fault

Sesar mendatar adalah sesar yang arah pergerakannya sejajar. Sesar mendatar ini juga dibagi lagi ke dalam 2 (dua) jenis, yaitu:

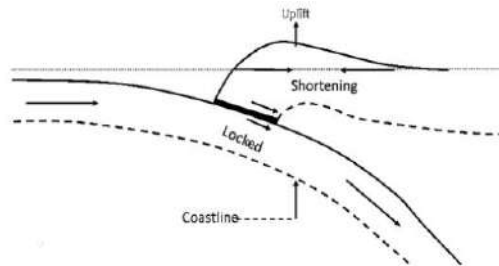
- 1) Sesar mendatar dextral.
Adalah sesar yang pergerakannya ke arah kanan.
- 2) Sesar mendatar sinistral.
Adalah sesar yang pergerakannya ke arah kiri.

B. Siklus Gempa

Gempa mempunyai sifat bertulang, suatu gempa yang terjadi pada waktu tertentu akan terulang lagi di masa yang akan datang dalam periode waktu tertentu. Karena sifatnya yang berulang ini,

gempa mempunyai suatu siklus yang disebut siklus gempa. Siklus gempa yaitu sebagai berikut:

1. *Interseismic*



Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017.

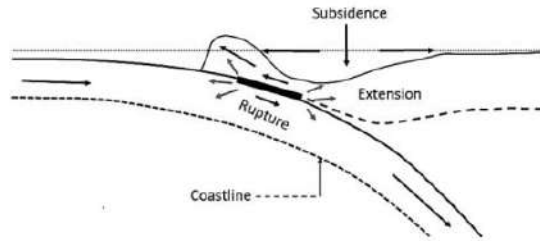
Gambar 2.5
Interseismic

ialah tahapan awal dari suatu siklus gempa. Pada tahap ini, energi dari dalam bumi menggerakkan lempeng kemudian terjadi akumulasi energi di beberapa bagian lempeng tempat biasanya terjadi gempa (batas antar lempeng atau sesar).

Untuk beberapa kasus subduksi antara 2 lempeng, pada saat fase *interseismic* seperti ilustrasi pada Gambar 2.5 diatas, di zona subduksi mengalami *locking* sehingga energi terkumpul di zona tersebut dan material lempeng yang tersubduksi mengalami *shortening*. Besarnya energi yang terkumpul di area *locking* semakin lama semakin meningkat hingga memasuki fase berikutnya.

2. *Coseismic*,

yaitu fase saat energi yang telah terkumpul dilepaskan dalam bentuk gempa, seperti yang terlihat pada Gambar 2.6 dibawah ini. Saat akumulasi energi melebihi kekuatan destruktif dari area *locking*, terjadi pelepasan energi dalam bentuk gempa. Material lempeng pada fase ini mengalami ekstensi.

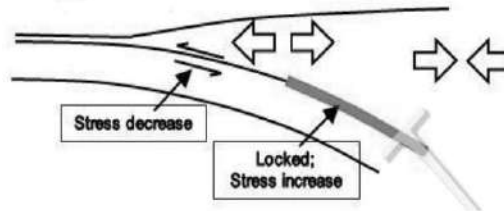


Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017.

Gambar 2.6
Coseismic

3. *Postseismic*

yaitu tahapan ketika sisa-sisa energi gempa terlepas secara perlahan dalam kurun waktu yang lama sampai kondisi kembali ke tahap keseimbangan awal yang baru seperti ilustrasi pada Gambar 2.7 dibawah ini.



Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017.

Gambar 2.7
Postseismic.

BAB III

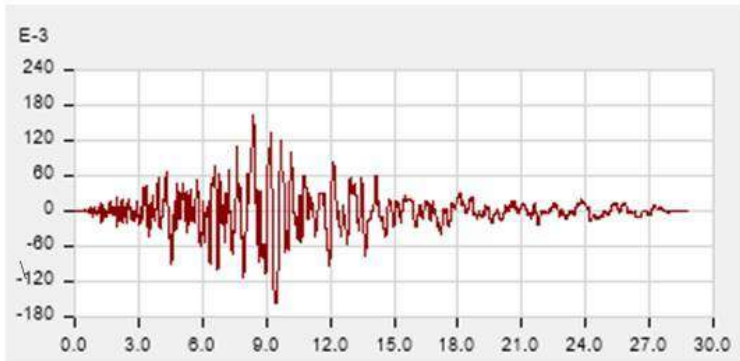
Ground Motion **(Tingkat Guncangan Tanah)**

Untuk menganalisis suatu gempa menggunakan metode *Time History Analysis* diperlukan rekaman gempa asli. Sesuai SNI 1726-2019 gerakan tanah yang diperlukan tidak kurang dari 11 pasang komponen rekaman kejadian gempa yang memiliki besaran, jarak patahan serta mekanisme sumber yang konsisten terhadap gempa desain dan gerakan tanah.

Seperti yang disebutkan sebelumnya, catatan gerak tanah yang digunakan untuk sejarah waktu secara langsung akan mempengaruhi perpindahan rasio *drift* yang akan dipertimbangkan untuk desain seismik atau evaluasi kinerja struktur (Kayhan *et al.*, 2018).

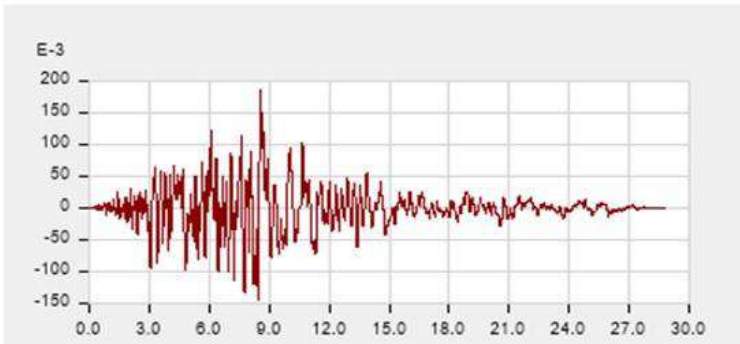
Berdasarkan SNI 1726-2019, setiap pasang gerakan tanah harus diskalakan sedemikian rupa sehingga pada rentang periode dari $0,8T$ sampai $1,2T$ dan nilai rata-rata spektrum SRSS (*Square-Root-of-Sum-of-Squares*) dari semua komponen horisontal tidak berada di bawah respons spektra percepatan yang digunakan dalam desain.

Berikut merupakan beberapa rekaman kejadian gempa yang diambil dari website <https://ngawest2.berkeley.edu> adalah data asli yang belum diskala terhadap gempa Jakarta.



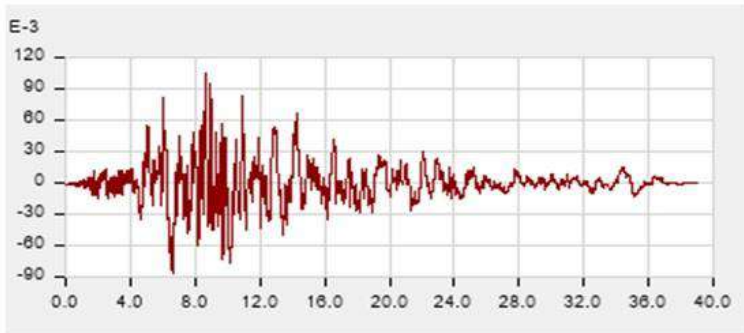
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.1
Ground Motion Northridge X



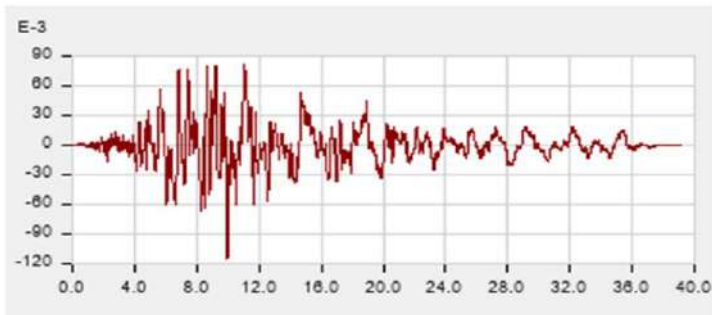
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.2
Ground Motion Northridge Y



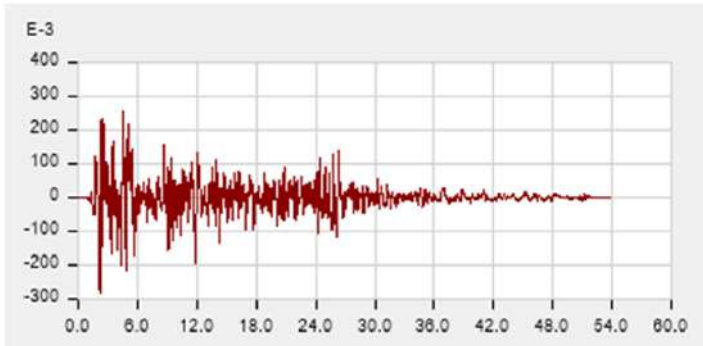
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.3
Ground Motion Loma X



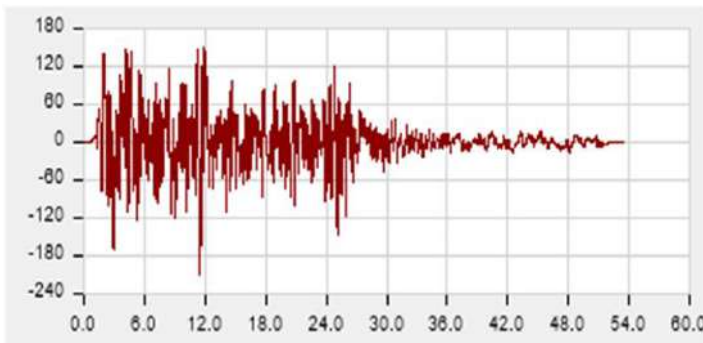
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.4
Ground Motion Loma Y



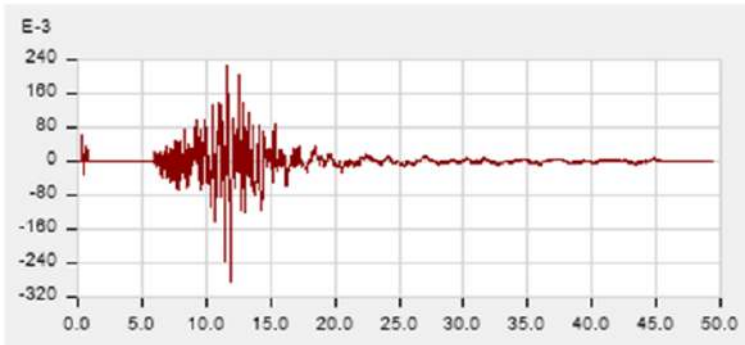
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.5
Ground Motion Imperial Valley X



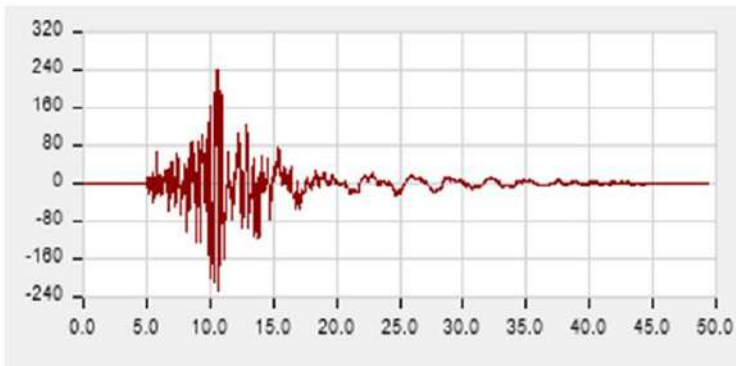
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.6
Ground Motion Imperial Valley Y



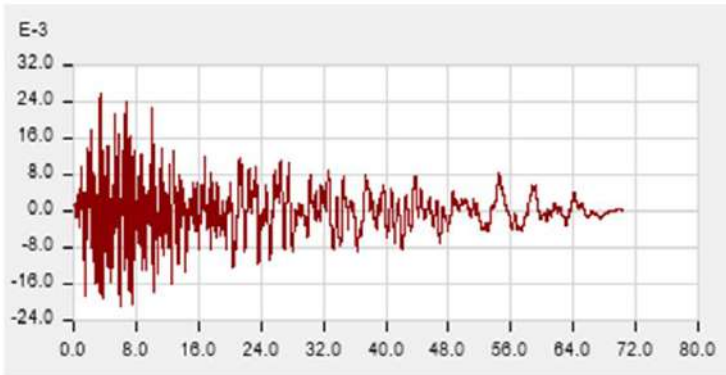
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.7
Ground Motion New Zealand X



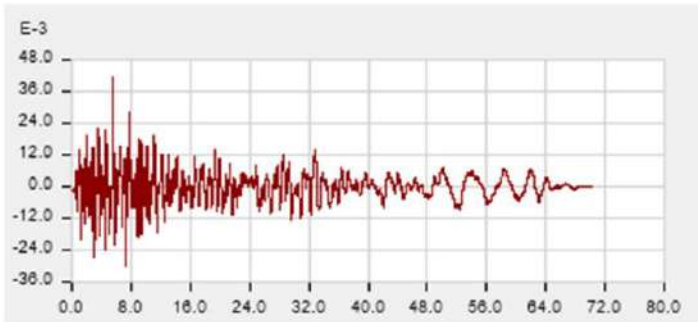
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.8
Ground Motion New Zealand Y



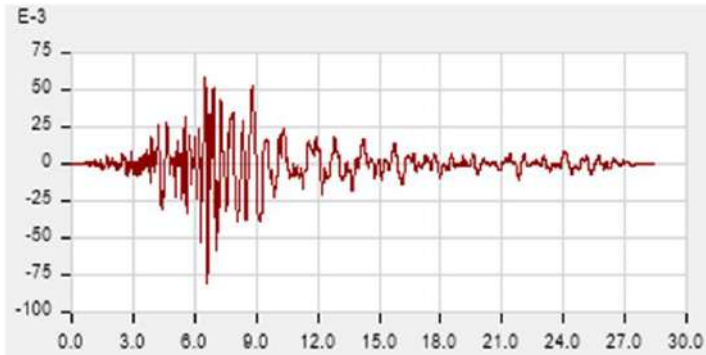
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.9
Ground Motion San Fernando X



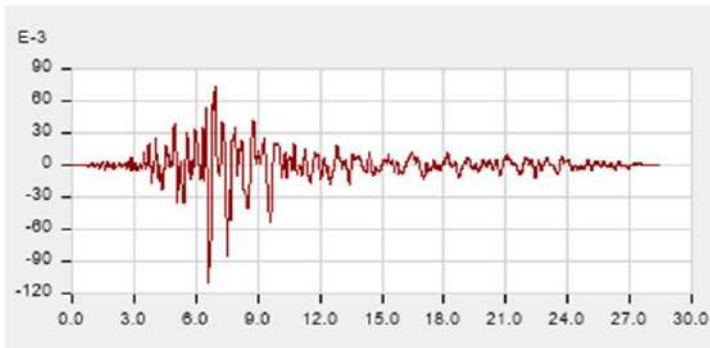
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.10
Ground Motion San Fernando Y



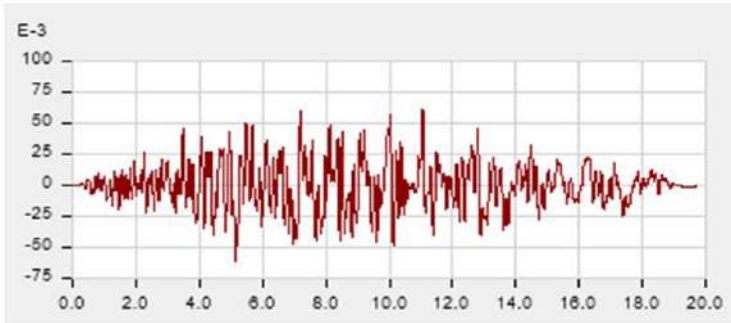
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.11
Ground Motion Morgan Hill X



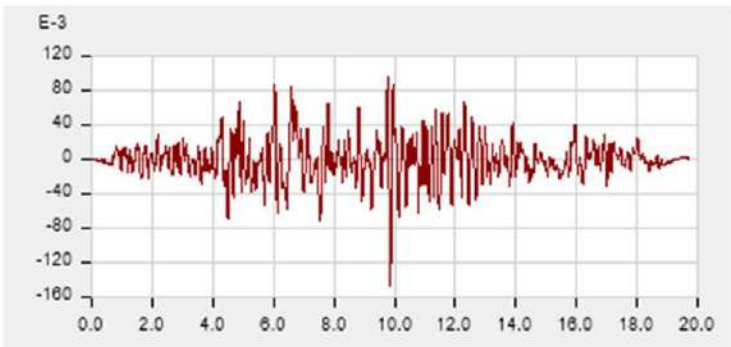
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.12
Ground Motion Morgan Hill Y



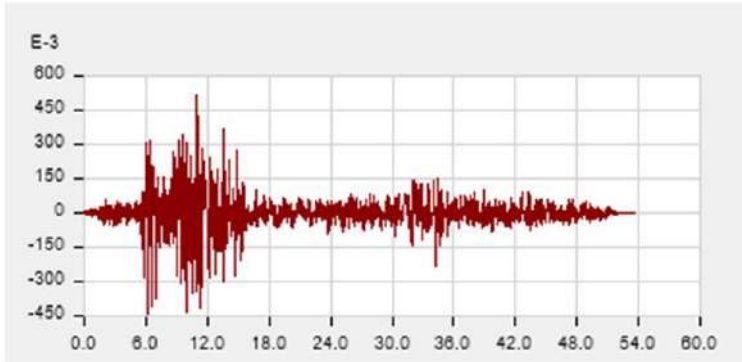
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.13
Ground Motion Trinidad X



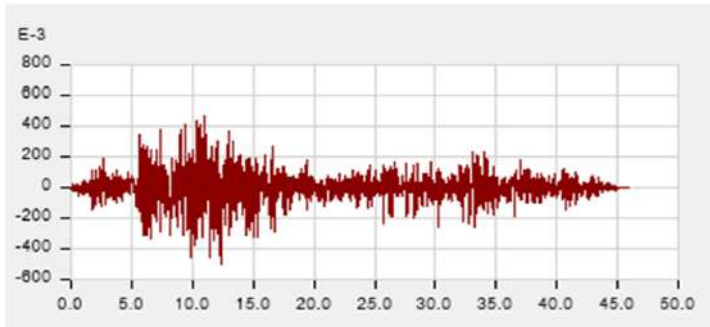
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.14
Ground Motion Trinidad Y



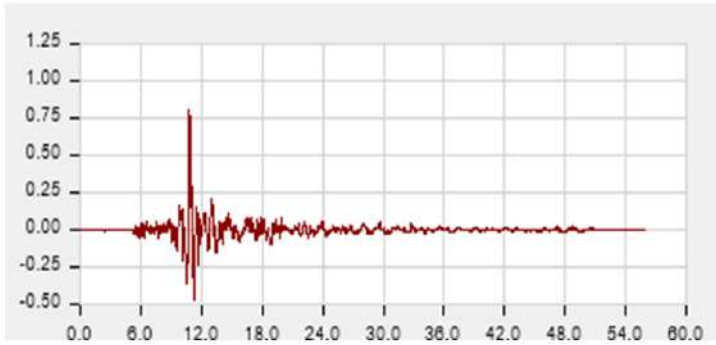
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.15
Ground Motion Manjil X



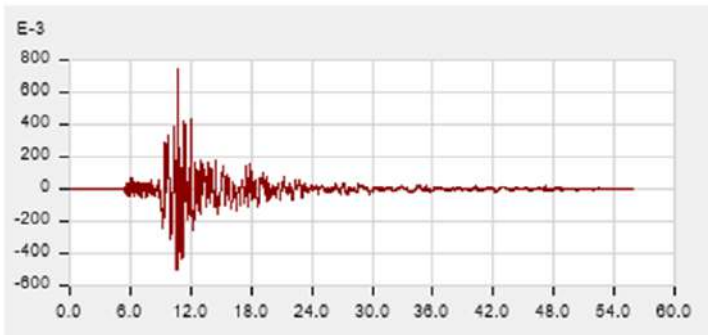
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.16
Ground Motion Manjil Y



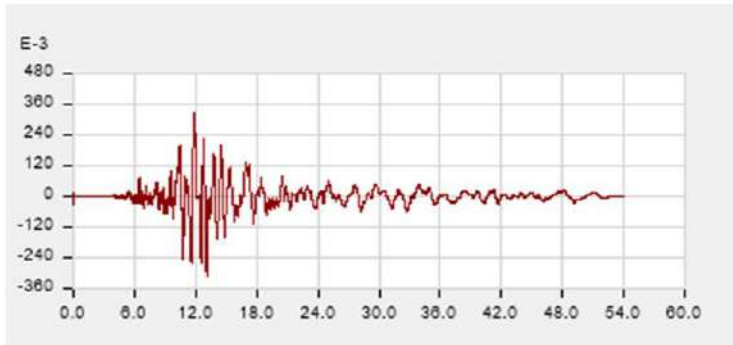
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.17
Ground Motion Duse X



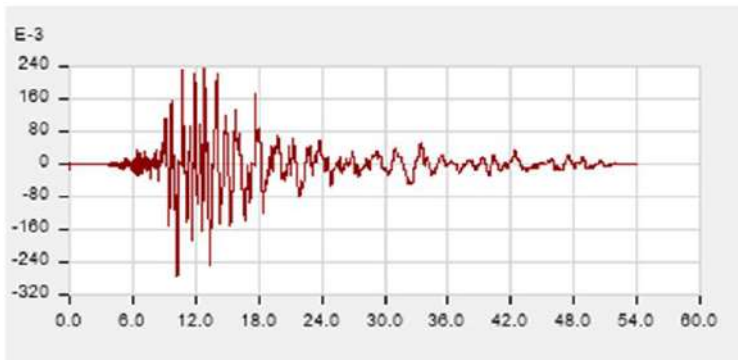
Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.18
Ground Motion Duse Y



Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.19
Ground Motion Kobe X

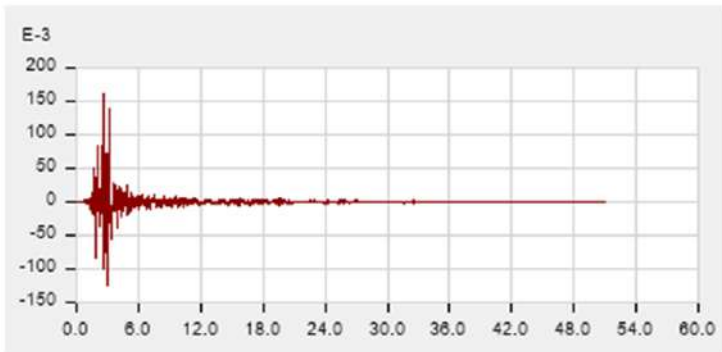


Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*

Gambar 3.20
Ground Motion Kobe Y



Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*
Gambar 3.21
Ground Motion Helena X



Sumber: *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*
Gambar 3.22
Ground Motion Helena Y

BAB IV

Kinerja Struktur Gedung Tahan Gempa

Performance based design merupakan suatu konsep yang menetapkan berbagai kinerja struktur untuk suatu perencanaan dan seismik struktur bangunan. Tingkat kinerja ini sangat diperlukan pada saat struktur bangunan dilanda oleh gempa bumi dengan tingkat intensitas tertentu. Konsep kinerja struktur tahan gempa ini merupakan pilihan awal yang harus disepakati Bersama oleh perencana struktur dengan pihak pemilik proyek/ pemberi tugas (*owner / bouwheer*). Hal tersebut dilakukan agar pemilik proyek / pemberi tugas dapat menentukan tujuan perencanaan dan risiko keselamatan, kesiapan pakai, kerugian yang mungkin akan terjadi akibat gempa yang akan datang.

A. Prinsip Perencanaan Struktur Bangunan

Struktur bangunan tahan gempa didefinisikan sebagai struktur yang tahan apabila terjadinya gempa bumi. Menurut Hoedajanto dan Imran, ada beberapa prinsip-prinsip dasar perlu diperhatikan dalam perencanaan, perancangan dan pelaksanaan struktur bangunan beton bertulang tahan gempa yaitu:

1. Sistem struktur yang digunakan haruslah sesuai dengan tingkat kerawanan daerah struktur bangunan tersebut;
2. Pendetailan penulangan, sambungan-sambungan, unsur-unsur bangunan harus terikat secara efektif menjadi satu kesatuan;
3. Material beton dan baja harus memenuhi syarat bangunan tahan gempa;
4. Unsur-unsur arsitektual yang memiliki massa besar harus terikat dengan kuat pada sistem portal utama;

5. Metode pelaksanaan dalam tahapan konstruksi harus dilaksanakan dengan baik dan harus sesuai dengan kaidah yang berlaku. Besarnya gaya gempa yang diterima pada struktur bangunan tersebut pada dasarnya dipengaruhi oleh karakteristik gempa yang terjadi, karakteristik tanah dimana bangunan tersebut dibangun dan karakteristik struktur bangunan tersebut. Karakteristik bangunan yang berpengaruh diantaranya adalah:
- a) Bentuk bangunan;
 - b) Massa bangunan;
 - c) Beban gravitasi yang bekerja;
 - d) Kekakuan dan lain-lain.

B. Ketentuan Umum Bangunan Gedung Tahan Gempa

Terdapat beberapa ketentuan umum yang digunakan untuk bangunan tahan gempa. Ketentuan tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

1. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Faktor keutamaan (I_e) ditentukan berdasarkan kategori risiko sesuai dengan Tabel 4.1 bahwa pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 4.2. Berikut merupakan kategori risiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa.

Tabel 4.1
Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung lainnya yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadinya kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan; ▪ Fasilitas sementara; ▪ Gudang penyimpanan; ▪ Rumah jaga dan struktur kecil lainnya. 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Perumahan; ▪ Rumah toko; ▪ Rumah kantor; ▪ Pasar; ▪ Gedung perkantoran; ▪ Gedung apartemen ▪ Rumah susun; ▪ Pusat perbelanjaan ▪ Mall; ▪ Bangunan industri; ▪ Fasilitas manufaktur; ▪ Pabrik. 	II
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bioskop; 	

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gedung pertemuan; ▪ Stadion; ▪ Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat; ▪ Fasilitas penitipan anak; ▪ Penjara; ▪ Bangunan untuk orang jompo. <p>Gedung dan struktur lainnya yang tidak termasuk 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pusat pembangkit listrik biasa; ▪ Fasilitas penanganan air; ▪ Fasilitas penanganan limbah; ▪ Pusat telekomunikasi. <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi</p>	<p>III</p>

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
<p>Gedung dan non gedung yang telah dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, IV tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 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, kantor polisi serta garasi kendaraan darurat; ▪ Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, 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 	IV

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material serta peralatan pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat.</p> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	

Sumber: SNI 1726:2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

Tabel 4.2
Faktor Keutamaan Gempa

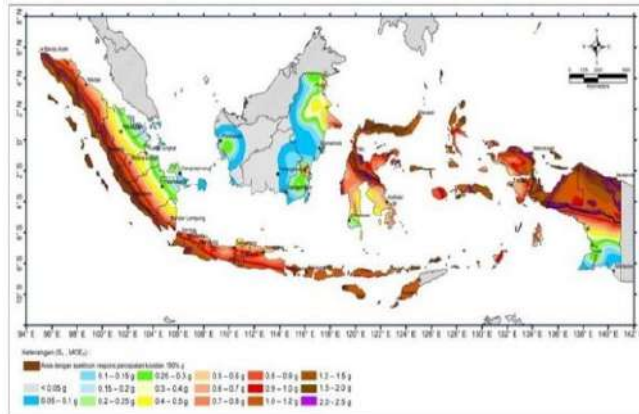
Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726:2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

2. Wilayah Gempa dan Spektrum Respons

a. Parameter percepatan batuan dasar terpetakan

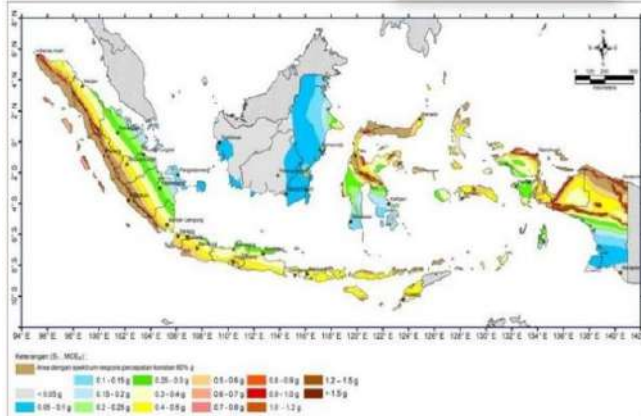
Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik seperti pada Gambar 2.30 dan Gambar 2.31 dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2% dalam 50 tahun) dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.



Sumber: SNI 1726:2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

Gambar 4.1

Parameter Gerak Tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2 detik (redaman kritis 5%).



Sumber: SNI 1726:2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

Gambar 4.2

Parameter Gerak Tanah S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 1 detik (redaman kritis 5%)

- b. Parameter kelas situs
 Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasikan sebagai situs:
- SA (batuan keras);
 - SB (batuan);
 - SC (tanah keras sangat padat dan batuan lunak);
 - SD (tanah sedang);
 - SE (tanah lunak);
 - SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik).
- c. Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R).

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik.

Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan menggunakan perumusan berikut:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \dots\dots\dots (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

- S_{MS} = Parameter respons percepatan pada periode pendek;
- S_{M1} = Parameter respons percepatan pada periode 1 detik;
- F_a = Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek;
- F_v = Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik;
- S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek;
- S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik.

Tabel 4.3
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_x					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s = 1,5$
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 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

Tabel 4.4
Koefisien Situs F_v

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

Sumber: SNI 1726: 2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

3. Definisi Kelas Situs

Tabel 4.5
Klasifikasi Situs

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	s_u
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	> 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	> 75	> 15	> 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadai air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser nilai $s_u < 25$ 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 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 indeksplastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

Sumber: SNI 1976: 2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

Dalam perumusan kategori desain seismik suatu bangunan yang berada di permukaan tanah, penentuan besaran percepatan suatu batuan dasar sampai ke permukaan tanah yang berdasarkan suatu situs harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Dalam SNI 1726-2019 Tabel 4.5 tentang klasifikasi situs untuk desain sesismik.

4. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui persamaan sebagai berikut:

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

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

Jika digunakan prosedur desain yang disederhanakan sesuai pasal 8, maka nilai S_{DS} harus ditentukan sesuai 0 dan nilai $= S_{D1}$ tidak perlu ditentukan.

5. Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari sepsifik situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons ini harus dikembangkan dengan mengacu pada gambar 2.3 dan mengikuti ketentuan dibawah ini:

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan berikut:

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

- 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 dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

- d. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2}$$

Keterangan:

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

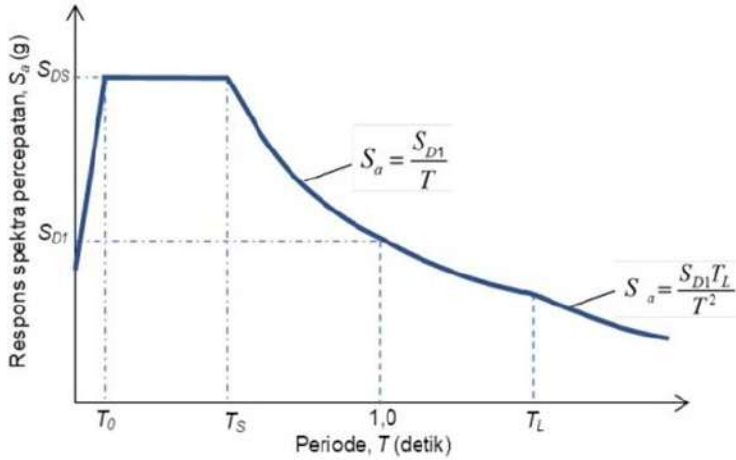
S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik ;

T = Periode getar fundamental struktur.

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

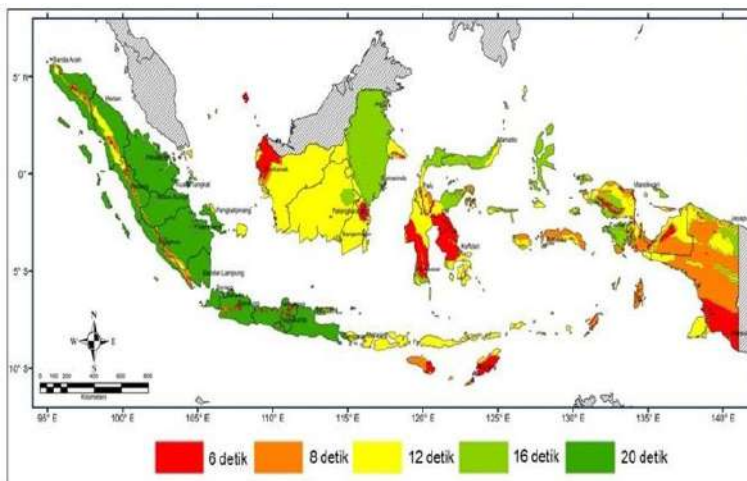
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

T_L = Peta transisi periode Panjang



Sumber: SNI 1726-2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”

Gambar 4.3
Respons Spektrum Desain



Sumber: SNI 1726: 2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

Gambar 4.4
Peta Transisi Periode Panjang, TL, Wilayah Indonesia

6. Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang ditetapkan berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya.

Dengan kategori risiko I, II atau III yang berlokasi dimana parameter respons spectral percepatan terpetakan pada periode 1 detik (S_1) lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E.

Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spectral percepatan terpetakan pada periode 1 detik (S_1), lebih besar atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori risiko F.

Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} .

Berikut merupakan tabel kategori desain seismik, dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.6
Kategori Desain Seismik Berdasarkan Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,167 < S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726: 2019 “ Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

Tabel 4.7
Kategori Desain Seismik Berdasarkan Periode 1 Detik

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 < S_{DS} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DS} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726: 2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

Tabel 4.8
Kategori Desain Gempa (KDG) dan Resiko Kegempaan

Kode	Tingkat Risiko Kegempaan		
	Rendah	Menengah	Tinggi
SNI 726-2019	KDG	KDG	KDG
	A,B	C	D,E,F

Sumber: SNI 1726: 2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

7. Persyaratan Tambahan Laporan Investigasi Geoteknik Untuk Kategori Desain Seismik D hingga F

Tabel 4.9
Koefisien Situs F_{PGA}

Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA = 0,5$	$PGA = \geq 0,6$
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					

Sumber: SNI 1726: 2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

Persyaratan tambahan untuk struktur dengan kategori desain seismik D, E, atau F harus mencakupi semua hal yang berlaku di bawah ini:

- a. Penentuan tekanan lateral tanah seismik dinamik pada dinding *basement* dan dinding penahan akibat gerak tanah gempa rencana.
- b. Potensi likuifaksi dan kehilangan kekuatan tanah yang dievaluasi terhadap percepatan tanah puncak pada situs, magnitude gempa dan karakteristik sumber yang konsisten dengan percepatan puncak gempa maksimum yang dipertimbangkan (MCE_G). Percepatan tanah harus ditentukan dengan mempertimbangkan pengaruh amplitasi yang secara spesifik, yang dijelaskan melalui persamaan berikut:

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA$$

Keterangan:

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

PGA = Percepatan tanah puncak terpetakan.

F_{PGA} = Koefisien situs.

8. Sistem Struktur

Tabel 4.10
Faktor untuk R, C, d, Ω , 0 Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan gaya-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat-lebih sistem, Ω	Faktor pembesaran defleksi, C_D
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan.			
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2,5	4
2. Rangka baja dengan bresing eksentris khusus	7	2,5	5,5
3. Dinding geser beton bertulang	7	2,5	5,5

Sistem penahan gaya-gaya seismik		Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat-lebih sistem, Ω	Faktor pembesaran defleksi, C_D
	khusus			
4.	Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5
5.	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2,5	4
6.	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2,5	5
7.	Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7,5	2,5	6
8.	Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2,5	6
9.	Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2,5	5
10.	Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	3	5
11.	Dinding geser batu bata bertulang biasa	4	3	4,5
12.	Rangka baja dengan bresing terkekang	8	2,5	5

Sistem penahan gaya-gaya seismik		Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat-lebih sistem, Ω	Faktor pembesaran defleksi, C_D
	terhadap tekuk			
13.	Dinding geser pelat baja khusus	8	2,5	6,5

Sumber: SNI 1726: 2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”

9. Periode Fundamental

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan T_a . Periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

Keterangan:

h_n adalah tinggi total bangunan (m), diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari:

Tabel 4.11
Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100% gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap lekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726: 2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”

Tabel 4.12
Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,15$	1,7

Sumber: SNI 1726: 2019 “ Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

10. Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar ditentukan sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = C_s \cdot xW$$

Keterangan:

C_s = Koefisien respons seismik yang ditentukan.

W = Berat seismik efektif (kN)

11. Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik (C_s) harus ditentukan sesuai dengan persamaan dibawah ini.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}}$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan diatas tidak perlu melebihi dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

Dan nilai C_s harus tidak kurang dari

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

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi dimana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g maka C_s harus tidak kurang dari

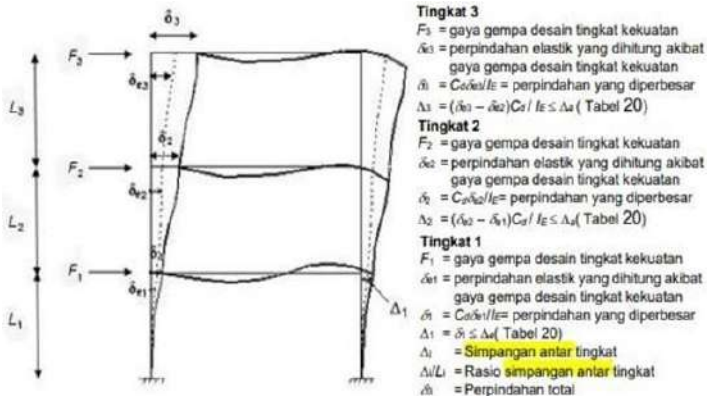
$$C_s = \frac{0,5.S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Keterangan:

- S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.
- S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik.
- R = Faktor modifikasi respons.
- I_e = Faktor keutamaan gempa.
- T = Periode fundamental struktur (detik)

Hubungan antara nilai maksimum S_s dalam penentuan C_s adalah ketika bangunan tersebut beraturan dengan ketinggian 5 tingkat atau kurang C_s diijinkan dihitung menggunakan nilai sebesar 1,5 untuk S_s .

12. Simpangan Antar Lantai



Sumber: SNI 1726: 2019 “ Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”

Gambar 4.5
Simpangan Antar Tingkat

Menurut SNI 1726: 2019, penentuan simpangan antar lantai (Δ), dihitung sebagai selisih dan perbedaan simpangan terbesar pada pusat massa diatas dan dibawah tingkat yang ditinjau, dari defleksi titik-titik diatas dan dibawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur. Simpangan pusat massa di tingkat yang ditinjau harus dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik-titik yang segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur dan harus ditentukan sesuai dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e}$$

Keterangan:

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = Simpangan di tingkat yang ditinjau

I_e = Faktor keutamaan gempa

Simpangan antar tingkat desain (Δ) ditentukan pada Tabel 4.13 dibawah ini, yang nilainya harus lebih kecil atau sama dengan simpangan antar tingkat izin (Δ_d).

Tabel 4.13
Simpangan Antar Tingkat Ijin

Struktur	Kategori resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasikan 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 “ Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

Keterangan:

h_{sx} = Tinggi tingkat dibawah tingkat.

Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi Δ_a / ρ untuk semua tingkat.

13. Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-Delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, serta simpangan yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d}$$

Keterangan:

P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (KN).

Δ = Simpangan antar tingkat desain (mm)

I_e = Faktor keutamaan gempa

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat

h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat x, (mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{\max} yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta_d} \leq 0,25$$

Dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x-1. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

BAB V

Struktur dan Beban Gempa

Pada saat terjadinya gempa bumi yang sangat besar, struktur bangunan sudah pasti mengalami klasifikasi di beberapa tempat. Hal tersebut membuat struktur bangunan tidak lagi berperilaku *linear* melainkan berperilaku non - *linear*. Maka dari itu diperlukannya metode analisis non - *linear* yang bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur saat mengalami gempa bumi. Metode analisa non - *linear* yang dapat digunakan untuk memperhitungkan beban gempa terhadap struktur adalah sebagai berikut:

1. Metode Analisis Statik

Analisis beban statik dapat diartikan sebagai analisis struktur yang menganggap bahwa pengaruh gempa pada struktur dianggap beban statik horisontal yang diperoleh hanya dengan memperhitungkan respons ragam getar yang pertama. Analisis statik terdiri dari analisis statik *linear* dan non-*linear*.

Analisis beban gempa statik ekuivalen dapat digunakan pada struktur gedung beraturan dan dapat digunakan pada spesifikasi gedung yang tidak tinggi. Analisis statik ekuivalen ini merupakan penyederhanaan dari beban dinamik menjadi beban statik. Beban statik tersebut berada pada *joint - joint* yang terdapat pada struktur bangunan. Pengkonversian beban dinamik menjadi beban statik tersebut dapat disimpulkan bahwa analisis beban statik ini hanya dapat dilakukan untuk struktur tertentu saja.

2. Metode Analisis Dinamik

Sebutan dinamik dapat didefinisikan sebagai perubahan waktu. Maka dari itu beban dinamik merupakan beban yang mempunyai magnitude arah atau tempat yang berubah dengan

waktu. Analisis dinamik tersebut dilakukan dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi 2 (dua), yaitu adalah sebagai berikut:

1) Analisis ragam respons spektra

Analisis ragam respons spektra ini merupakan analisis dinamik *linear* yang dimana menganalisis suatu struktur bangunan dengan menggunakan spektrum gempa yang digambarkan dalam bentuk kurva hubungan antara periode struktur dengan nilai percepatan bangunan tersebut.

2) Analisis dinamik riwayat waktu

Analisis riwayat waktu merupakan analisis dinamik non linear yang dimana suatu model bangunan struktur diberikan suatu catatan rekaman gempa dan respons struktur dihitung langkah demi langkah hingga menghasilkan seberapa tingkat kinerja pada struktur tersebut. Analisis dinamik *non-linear* ini biasanya digunakan pada gedung yang *high rise* dan dengan tingkat ketidakberaturan yang cukup tinggi.

A. Pembebanan Struktur

Pembebanan merupakan faktor penting untuk melakukan perancangan atau perencanaan suatu struktur bangunan. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa besar dan macam beban yang bekerja pada struktur bangunan tersebut sangat tergantung pada jenis struktur. Beban-beban yang bekerja pada struktur ditimbulkan secara langsung oleh gaya-gaya alamiah dan buatan manusia (*Schueller, 2001*). Menurut pedoman ANI 1727: 2020 beban bekerja pada suatu struktur bangunan yang dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori antara lain:

1. Beban mati (*Dead Load*)
2. Beban hidup (*Live Load*)
3. Beban angin (*Wind*)
4. Beban Gempa (*Earthquakes*)

Berikut ini merupakan penjelasan dari beberapa kategori beban tersebut:

a. Beban Lateral

Beban lateral terdiri atas:

1. Beban Gempa (*Earth Quake Load*)

Beban gempa didefinisikan sebagai beban yang bekerja pada suatu struktur akibat pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya getaran gempa. Besarnya simpangan horisontal (*drift*) bergantung pada kemampuan struktur dalam menahan gaya gempa yang terjadi.

2. Beban Angin (*Wind Load*)

Beban angin yang bekerja pada struktur disebabkan oleh tekanan udara. Beban angin lebih diperhitungkan untuk bangunan yang menggunakan struktur baja.

b. Beban Gravitasi

Beban gravitasi terdiri dari:

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati merupakan beban yang bekerja akibat gaya gravitasi yang tetap dan bekerja pada posisinya secara terus menerus dengan arah ke bumi tempat struktur didirikan. Menurut SNI 1723: 2013 Pasal 3.1 beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, atap, lantai, plafon, tangga dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layanan terpasang lain termasuk berat keran.

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung dan barang-barang yang dapat berpindah, mesin dan peralatan lain yang dapat digantikan selama umur gedung tersebut.

c. Kombinasi Beban Terfaktor

Struktur bangunan gedung harus dirancang dengan menggunakan kombinasi pembebanan agar struktur gedung menghasilkan kekuatan yang mampu menahan beban-beban terfaktor. Kombinasi pembebanan struktur gedung dengan metode *ultimate* telah diatur dalam SNI 1726-2019, yaitu:

1. 1,4 D

2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$

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

d. Kombinasi Pembebanan Dengan Pengaruh Beban Seismik

Apabila suatu struktur menerima pengaruh beban seismik, maka kombinasi-kombinasi beban berikut harus diperhitungkan bersama dengan kombinasi beban dasar di atas. Pengaruh beban seismik yang paling menentukan harus ditinjau, tetapi tidak perlu diperhitungkan secara dengan beban angin. Apabila Pengaruh beban seismik yang dimaksud adalah, $E = F (E_v, E_h)$ dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik yang harus digunakan:

1. $1,2 D + E_v + E_h + L$
2. $0,9 - E_v + E_h$

Apabila pengaruh beban seismik yang dimaksud $E = F (E_v, E_{mh})$ dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik untuk yang harus digunakan adalah:

1. $1,2 D + E_v + E_{mh} + L$
2. $0,9 - E_v + E_{mh}$

B. Analisis Dinamik Riwayat Waktu (*Time History Analysis*)

Beban gempa didefinisikan sebagai fungsi waktu, sehingga respons pada struktur juga tergantung dari waktu pembebanan, akibat dari gempa struktur bangunan akan berperilaku inelastik. Untuk mendapatkan respons dari struktur setiap waktu dengan memperhitungkan perilaku non - *linearnya*, maka harus dilakukannya analisis riwayat waktu inelastik non-*linear*. Analisis dinamik riwayat waktu merupakan suatu metode atau cara analisis yang digunakan untuk menentukan percepatan muka tanah wilayah yang ditinjau dengan beberapa catatan rekaman gempa yang diambil. Analisis riwayat waktu ini dapat berperilaku untuk struktur bangunan gedung linear ataupun non-*linear* terhadap gerakan tanah akibat gempa. Dengan adanya penjelasan diatas, dapat dikatakan bahwa analisis *Time History* ini menghasilkan

semua catatan rekaman gempa berdasarkan waktu ke waktu sehingga analisis riwayat waktu ini dapat dikatakan analisis yang lebih lengkap dengan tipe analisis lainnya. Untuk di Indonesia sendiri, pencatatan *Time History* belum begitu terlalu lengkap dan belum memiliki rekaman gempa yang tinggi, hingga biasanya kita akan mengacu pada catatan rekaman pada negara lain.

C. Analisis Statik Beban Dorong (*Pushover*)

Analisis *Pushover* adalah suatu analisis yang mengaplikasikan beban dorong secara berangsur-angsur hingga struktur bangunan tersebut runtuh sehingga kemudian dapat ditentukan level kinerja dari struktur bangunan tersebut. Pada analisis ini pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur hingga mencapai pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung. Beban statik tersebut akan menangkap di pusat massa pada masing-masing lantai dan kemudian beban dilanjutkan hingga terbentuk suatu mekanisme keruntuhan atau hingga mencapai target perpindahan yang diharapkan. Tujuan analisis *Pushover* ini adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta memperoleh Informasi bagian struktur mana saja yang mengalami kritis atau kerusakan. Selanjutnya akan dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan penanganan khusus untuk pendetailan atau kestabilannya.

D. Tingkat/Level Kinerja Struktur Gedung

Tingkat kinerja suatu struktur bangunan digambarkan sebagai kerusakan yang membatasi kondisi yang mungkin dapat dipertimbangkan baik untuk bangunan dan gerakan tanah tertentu. Tingkat kinerja suatu struktur bangunan dapat diketahui dengan menggunakan beberapa metode. Berikut metode untuk mengetahui tingkat / level kinerja suatu struktur gedung:

1. Level Kinerja Struktur Menggunakan Metode ATC-40
 Batasan simpangan berbagai kinerja struktur menurut ATC 40 (1996) dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut:

Tabel 5.1
Batasan Simpangan Berbagai Kinerja Menurut ATC-40

Batasan simpangan antar tingkat	Level Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupany</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Live Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan total maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,03 \frac{V_i}{P_i}$
Simpangan inelastis maksimum	0,005	0,005-0,015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

Sumber: Applied Technology Council (ATC 40, 1996).

Konsep *performance based design* merupakan suatu metode yang digunakan untuk evaluasi kinerja suatu struktur yang mengalami suatu gaya gempa pada level tertentu. Dari hal tersebut kita dapat menentukan sampai dimana level kerusakan yang diterima oleh struktur dengan mempertimbangkan kondisi inelastik struktur tersebut. Untuk memberikan kinerja seismik yang bagus, Struktur bangunan harus memiliki sistem penahan gaya lateral yang lengkap dan mampu membatasi perpindahan lateral akibat gempa pada level kerusakan yang berkelanjutan dan untuk tujuan kinerja yang diinginkan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kemampuan sistem penahan gaya lateral meliputi massa bangunan, kekakuan, redaman, dan kapasitas deformasi pada elemen, serta kekuatan dan karakter gerakan tanah (ATC-40,1996). Pada dokumen ATC 40 (1996) menetapkan deformasi lateral pada struktur yang harus diperiksa terhadap nilai simpangan total maksimum simpangan inelastis maksimum untuk mendapatkan tingkat kinerja dari struktur. Simpangan total maksimum dapat diartikan sebagai simpangan antar tingkat (*interstory drift*) pada perpindahan di titik kinerja. Sedangkan simpangan inelastis maksimum merupakan perbandingan antara simpangan total maksimum terhadap titik leleh efektif dari struktur. Penjelasan masing-masing level kinerja struktur berdasarkan ATC 40 dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah

ini:

Tabel 5.2
Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40

Level Kinerja	Probabilitas Gempa Rencana	Keterangan
<i>Operational</i>	50% / 50 Tahun	Tidak ada kerusakan struktural dan non struktural yang berarti bahwa kerusakannya sangat minimal dan bangunan dapat tetap berfungsi
<i>Immediate Occupancy (IO)</i>	20% / 50 Tahun	Tidak terjadi kerusakan pada struktural, komponen non struktural masih berada pada tempatnya dan bangunan tetap dapat berfungsi tanpa terganggu masalah perbaikan
<i>Life Safety (LS)</i>	10% / 50 Tahun	Struktur masih tetap stabil tetapi kerusakannya masih dapat di kontrol yang berarti, terjadi kerusakan struktural tetapi tidak terjadi keruntuhan, untuk komponen non struktural tidak berfungsi tetapi bangunan masih dapat digunakan setelah dilakukan perbaikan
<i>Collapse Prevention (CP)</i>	2% / 50 Tahun	Terjadi kerusakan pada komponen struktural dan non struktural, bangunan hampir runtuh, dan menyebabkan kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan sangat mungkin terjadi. Kerusakan struktural terjadi pada elemen-elemen yang sudah ditentukan untuk diperbolehkan terjadinya kerusakan

Sumber: Applied Technology Council (ATC 40, 1997).

Besarnya nilai simpangan total maksimum dan simpangan inelastik maksimum struktur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Simpangan total maksimum} = \frac{D_t}{H_{tot}}$$

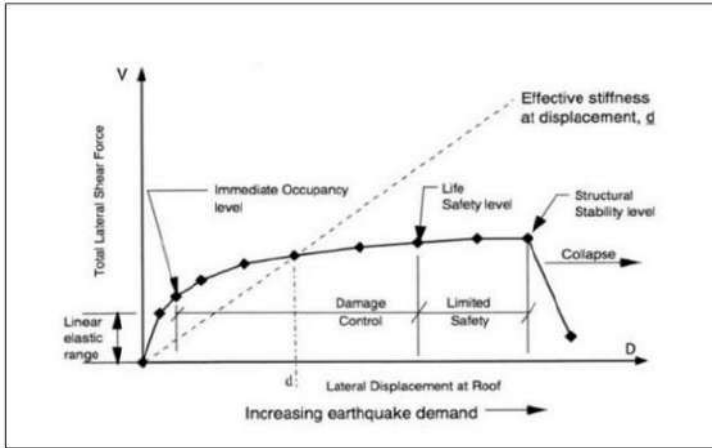
$$\text{Simpangan inelastik maksimum} = \frac{D_t - D_1}{H_{tot}}$$

Keterangan:

D_t = Perpindahan maksimum struktur (m)

D_1 = Perpindahan pada kondisi leleh pertama (m)

H_{tot} = Tinggi total struktur (m)



Sumber: SNI 1726: 2019 “ Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”

Gambar 5.1

Tipikal Kurva Kapasitas Pada Berbagai Tingkat Kinerja Struktur

2. Level Kinerja Struktur Menggunakan Metode FEMA 356

Tingkat level kinerja struktur gedung Menurut FEMA 356 sesuai pada Tabel 2.16 dibawah ini.

Tabel 5.3

Batasan Simpangan Untuk Berbagai Level Kinerja Struktur

Level Kinerja Struktur	Drift (%)	Keterangan
Immediate Occupany	1,0	<i>Transient</i>
	0,25	<i>Permanent</i>
Life Safety	2,0	<i>Transient</i>
	1,0	<i>Permanent</i>
Collapse Prevention	4,0	<i>Transit atau Permanent</i>

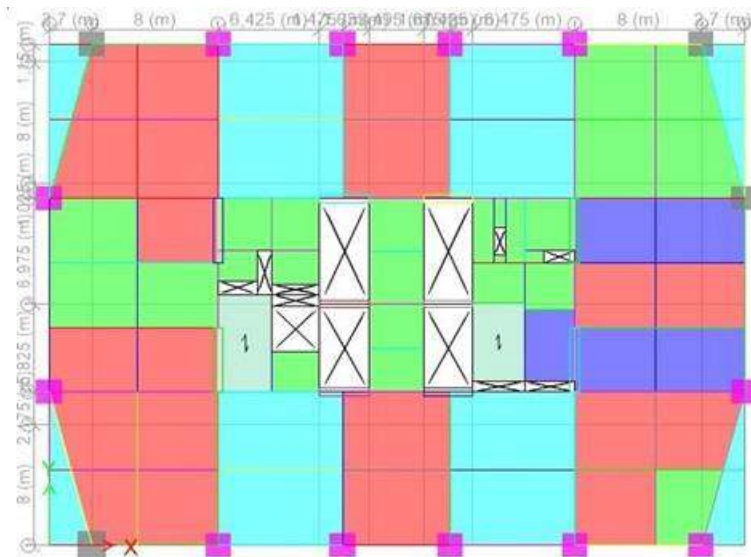
Sumber: Prestandard and Comentary for Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356, 2000).

BAB VI

Pemodelan Struktur Gedung

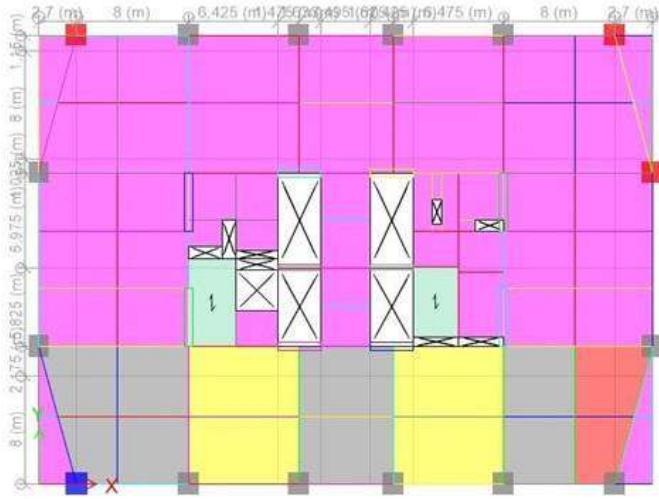
Pemodelan struktur gedung *Office Holland Village* Jakarta dilakukan secara 3 (tiga) dimensi dan telah sesuai dengan *shop drawing* yang ada, pemodelan dilakukan dengan bantuan program *software* ETABS V.18.1.1 yang merupakan pendekatan dari struktur yang nantinya hasil analisis yang didapatkan atau dihasilkan dapat mewakili kondisi struktur di lapangan.

Gambar pemodelan dapat dilihat pada gambar berikut:



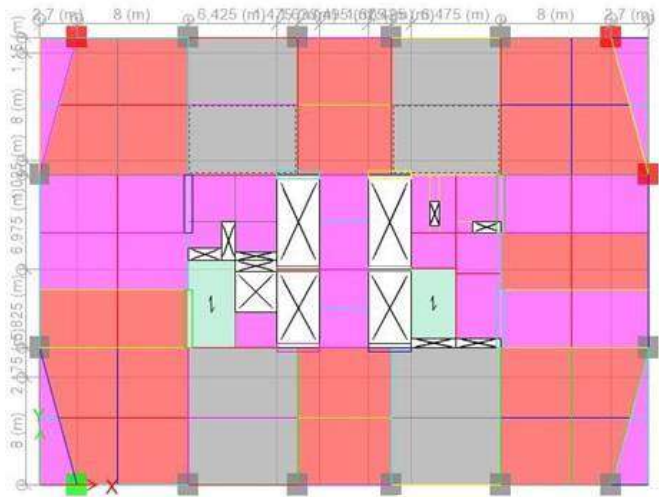
Sumber: Hasil Pemodelan ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.1
Denah Lantai Dasar s/d Lantai 9 (Similar Story)



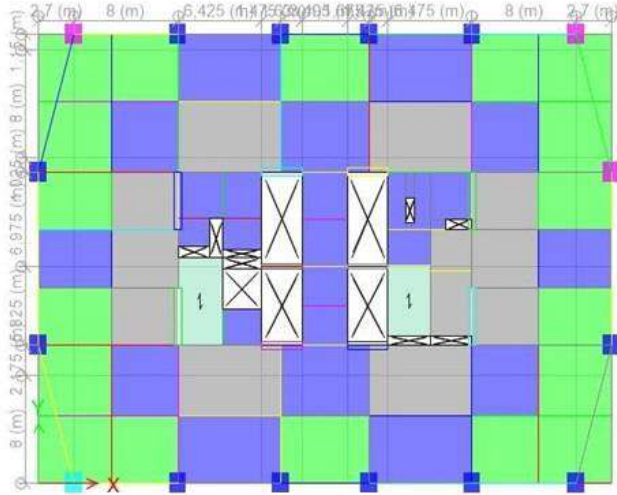
Sumber: Hasil Pemodelan ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.2
Denah Lantai 10 s/d Lantai 12 (*Similar Story*)



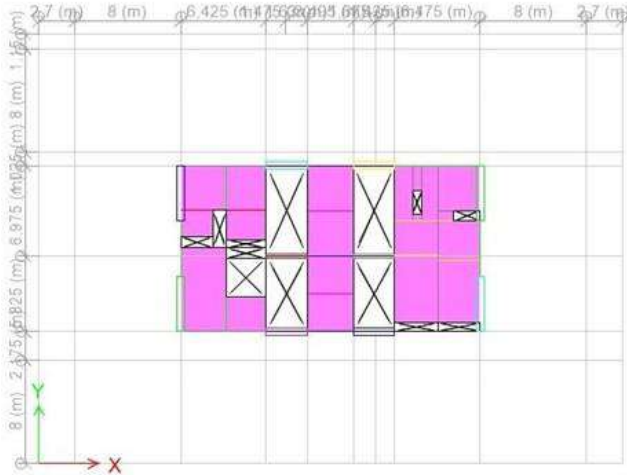
Sumber: Hasil Pemodelan ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.3
Denah Lantai 13 s/d Lantai 35 (*Similar Story*)



Sumber: Hasil Pemodelan ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.4
Denah Lantai 36 (MEP)



Sumber: Hasil Pemodelan ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.5
Denah Lantai Roof



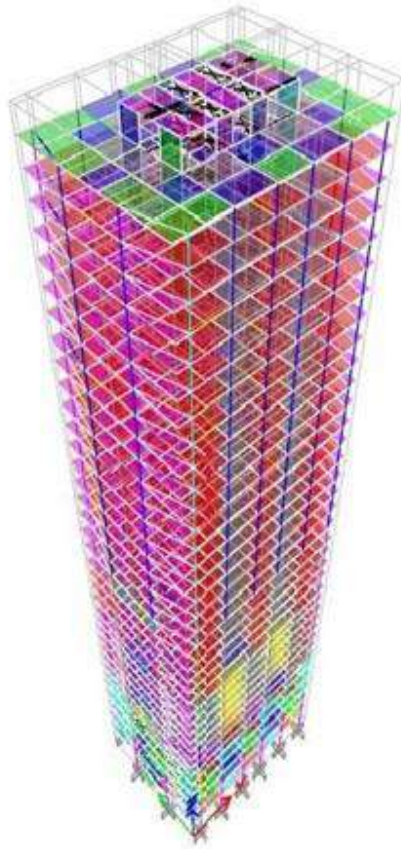
Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.6
Tampak Depan



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.7
Tampak Samping



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.8
Tampak Perspektif

A. Asumsi Pemodelan

Pemodelan struktur adalah pembuatan data numerik yang akan mewakili struktur asli yang digunakan sebagai *input* data komputer. Asumsi pemodelan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Pemodelan struktur dilakukan secara *frame* dan *frame* elemen yang meliputi kolom, balok dan pelat lantai serta *shearwall* yang utuh berdasarkan gambar kerja (*shop drawing*) dan dimodelkan

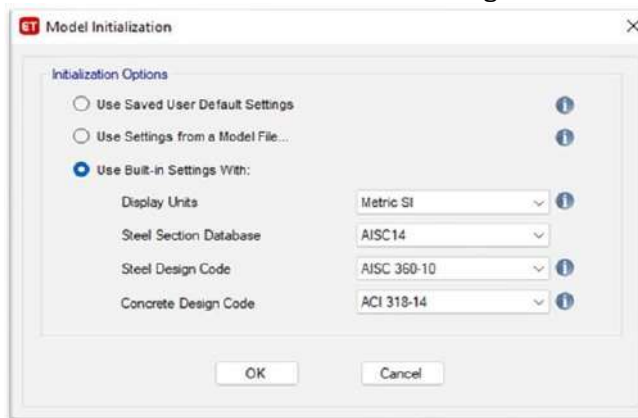
secara utuh untuk mendapatkan hasil analisis struktur yang lebih akurat dan sesuai dengan kondisi di lapangan.

- 2) Pada pemodelan ETABS V.18.1.1, pondasi dianggap jepit dikarenakan desain pondasi menggunakan *bore pile* (pondasi dalam), sehingga kedudukan pondasi diasumsikan tidak mengalami rotasi dan translasi.

B. Langkah Pemodelan

Langkah – langkah yang diperlukan didalam menganalisis suatu struktur bangunan dengan menggunakan bantuan *software* ETABS harus dilakukan pemodelan struktur tersebut dengan baik dan tepat.

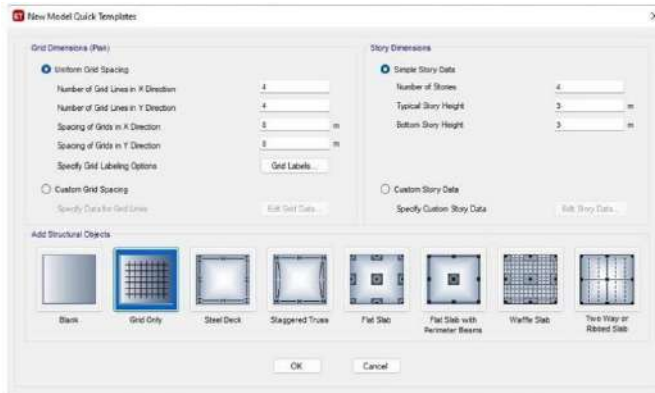
1. Tahap awal untuk pemodelan pada ETABS dilakukan dengan cara klik *File – New Model – Use Built-in settings with*



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.9
Model Initialization

2. Langkah berikutnya adalah memasukkan data teknis gedung yang meliputi:
 - a) Jumlah lantai (*number of stories*);
 - b) Ketinggian antar lantai;
 - c) Penentuan satuan (unit) yang digunakan.



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.10
Model Quick Template

Story	Height m	Elevation m	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height m	Story Color
Lt.13	3.5	51	Yes	None	No	0	Orange
Lt.12	3.5	47.5	Yes	None	No	0	Yellow
Lt.11	3.5	44	Yes	None	No	0	Cyan
Lt.10	3.5	40.5	Yes	None	No	0	Blue
Lt.9	3.5	37	Yes	None	No	0	Dark Blue
Lt.8	3.5	33.5	Yes	None	No	0	Red
Lt.7	3.5	30	Yes	None	No	0	Orange
Lt.6	5	26.5	Yes	None	No	0	Yellow
Lt.5	5	21.5	Yes	None	No	0	Cyan
Lt.4	5	16.5	Yes	None	No	0	Purple
Lt.3	5	11.5	No	Lt.4	No	0	Grey
Lt.2	6.5	6.5	No	Lt.4	No	0	Grey
Base		0					Grey

Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.11
Story Data Lantai Dasar – Lantai 13

Story	Height m	Elevation m	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height m	Story Color
L127	4.2	107.7	Yes	None	No	0	Cyan
L126	4.2	103.5	Yes	None	No	0	Magenta
L125	4.2	99.3	Yes	None	No	0	Purple
L124	4.2	95.1	Yes	None	No	0	Grey
L123	4.2	90.9	Yes	None	No	0	Red
L122	4.2	86.7	Yes	None	No	0	Orange
L121	4.2	82.5	Yes	None	No	0	Cyan
L120	4.2	78.3	Yes	None	No	0	Yellow
L119	4.5	74.1	Yes	None	No	0	Magenta
L118	3.7	69.6	Yes	None	No	0	Purple
L117	3.7	65.9	Yes	None	No	0	Grey
L116	3.7	62.2	Yes	None	No	0	Pink
L115	4.5	58.5	Yes	None	No	0	Blue
L114	3	54	Yes	None	No	0	Red

Note: Right Click on Grid for Options

OK Cancel

Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.12
Story Data Lantai 14 – Lantai 27

Story	Height m	Elevation m	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height m	Story Color
LT.MEP	4.2	150	No	None	No	0	Blue
LT.36	4.2	145.8	No	None	No	0	Green
LT.35	4.2	141.6	No	None	No	0	Cyan
LT.34	4.2	137.4	No	None	No	0	Red
LT.33	4.2	133.2	No	None	No	0	Magenta
LT.32	4.2	129	No	None	No	0	Yellow
LT.31	4.5	124.8	No	None	No	0	Grey
LT.30	4.2	120.3	No	None	No	0	Blue
LT.29	4.2	116.1	No	None	No	0	Green
LT.28	4.2	111.9	No	None	No	0	Cyan
LT.27	4.2	107.7	No	None	No	0	Red
LT.26	4.2	103.5	No	None	No	0	Magenta
LT.25	4.2	99.3	No	None	No	0	Yellow
LT.24	4.2	95.1	No	None	No	0	Grey

Note: Right Click on Grid for Options

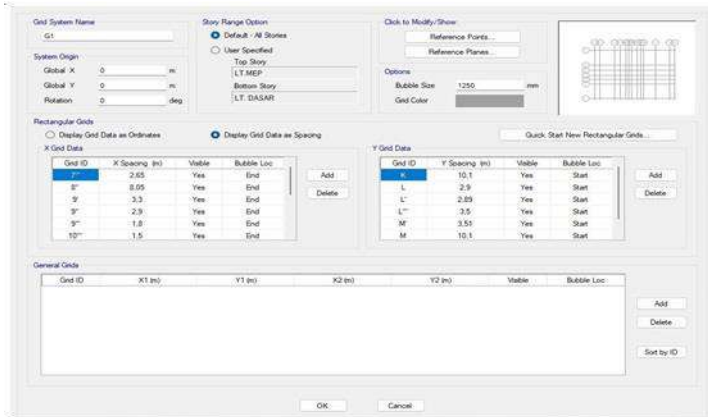
Refresh View

OK Cancel

Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.13
Story Data Lantai 24 – Lantai MEP

3. Membuat jarak *as* antar bangunan
Selanjutnya adalah membuat jarak *as* untuk penggambaran balok dan kolom serta dapat diinput dengan cara klik kanan – *Add/Modify – grids – modify/show system*, seperti gambar dibawah ini:



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

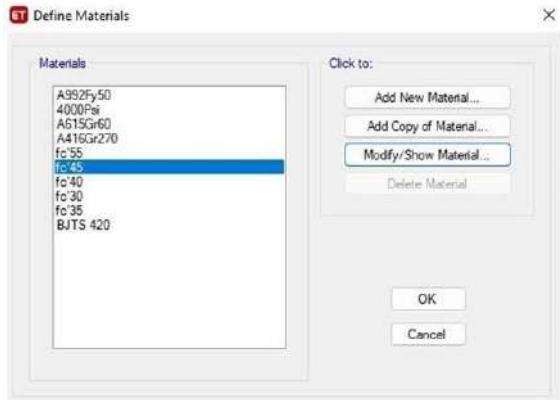
Gambar 6.14
Grid System Data

4. Membuat Material Properties
Selanjutnya dalam mendesain sebuah bangunan struktur bangunan, diperlukan data bahan yang akan diinput pada ETABS.

Berikut data yang digunakan:

a) Beton

Membuat material beton pada ETABS dengan cara klik *Define – Material Properties – Add New Material* sesuai dengan gambar dibawah ini dengan mengambil contoh $f'c$ 45.



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.15
Define Material Beton



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.16
Material Property Data (Beton)

b) Besi Tulangan

Membuat material besi tulangan dengan cara *Define – Material Properties – A615Gr60 – Modify* dan diinput sesuai pada gambar dibawah ini:

The image shows a screenshot of the 'Material Property Data' dialog box in ETABS V.18.1.1, 2023. The dialog box is titled 'Material Property Data' and contains several sections: 'General Data' with fields for Material Name (A615Gr60), Material Type (Rebar), Directional Symmetry Type (Uniaxial), Material Display Color (cyan), and Material Notes; 'Material Weight and Mass' with radio buttons for 'Specify Weight Density' (selected) and 'Specify Mass Density', and input fields for Weight per Unit Volume (0,000008 kgf/mm³) and Mass per Unit Volume (0 kgf-s²/mm⁴); 'Mechanical Property Data' with input fields for Modulus of Elasticity, E (20389,02 kgf/mm²) and Coefficient of Thermal Expansion, A (0,0000117 1/C); 'Design Property Data' with a button for 'Modify/Show Material Property Design Data...'; and 'Advanced Material Property Data' with buttons for 'Nonlinear Material Data...', 'Material Damping Properties...', and 'Time Dependent Properties...'. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.17
Material Property Data (Tulangan)

C. Membuat Pemodelan Struktur

Membuat pemodelan struktur yang terdapat pada proyek gedung *Office Holland Village* Jakarta, seperti kolom, balok dan plat, *core wall / shear wall* sesuai dengan ukuran yang sesuai dengan *shop drawing* dapat dilihat sebagai berikut:

1. Balok

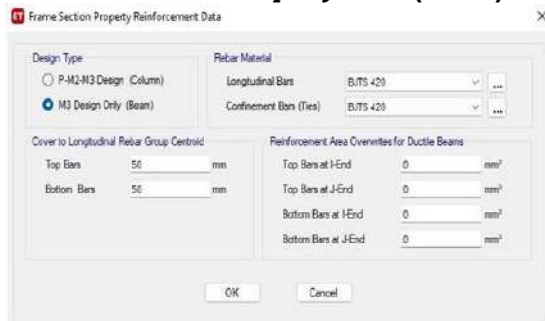
Memodelkan struktur pada elemen balok dapat dilakukan dengan cara *Define – Section Properties – Frame Section*. Sebagai contoh dengan ukuran 350 mm x 600 mm seperti pada gambar berikut:



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.18

Frame Section Property Data (Balok)



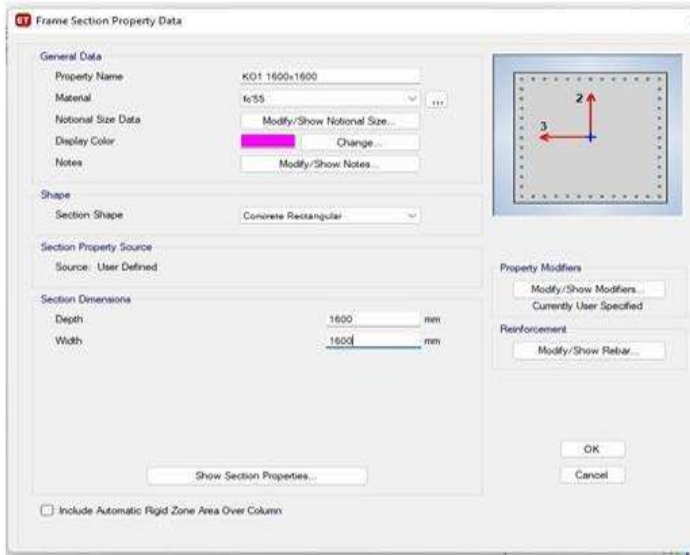
Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.19

Frame Section Property Reinforcement (Balok)

2. Kolom

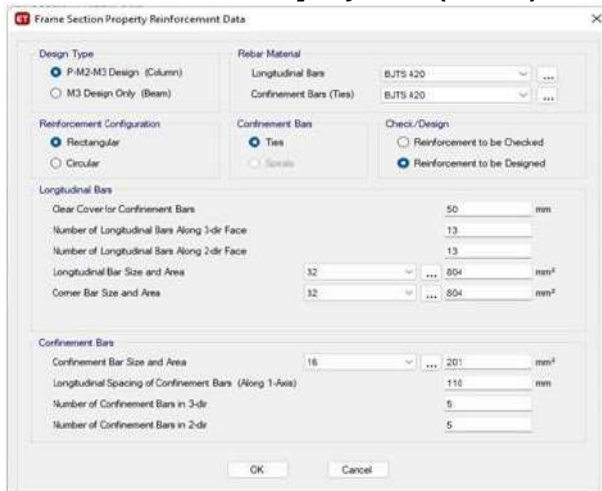
Input elemen struktur kolom dapat dilakukan dengan cara *Define – Section Properties – Frame Section*. Sebagai contoh dengan ukuran 1600 mm x 1600 mm seperti pada gambar dibawah ini:



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.20

Frame Section Property Data (Kolom)



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

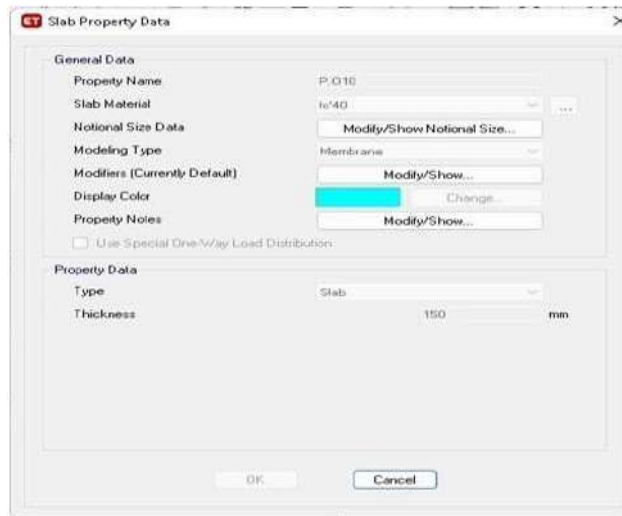
Gambar 6.21

Frame Section Property Reinforcement Data (Kolom)

3. Plat lantai

Input elemen pelat struktur dilakukan dengan cara *Define – Section Properties – Slab Section*.

Berikut merupakan contoh penginputan pelat dengan tebal 150 mm dan mutu beton $f'c$ 40:



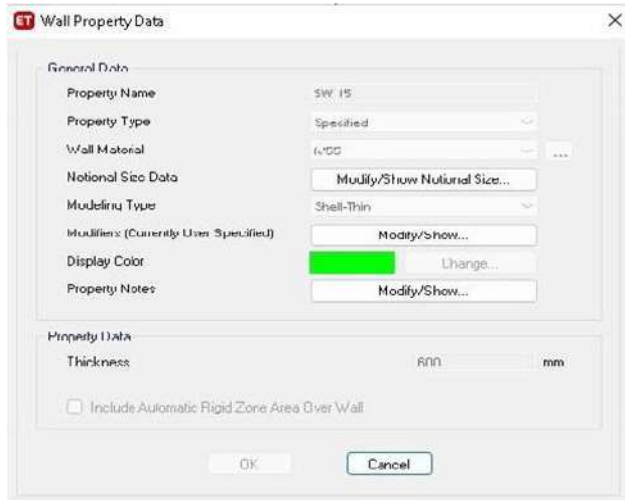
Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.22
Frame Section Property Data (Pelat Lantai)

4. Shear wall

Input elemen *shear wall* dilakukan dengan cara *Define – Section Properties – Wall Section*.

Berikut merupakan contoh penginputan *shear wall* dan mutu beton $f'c$ 55:



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

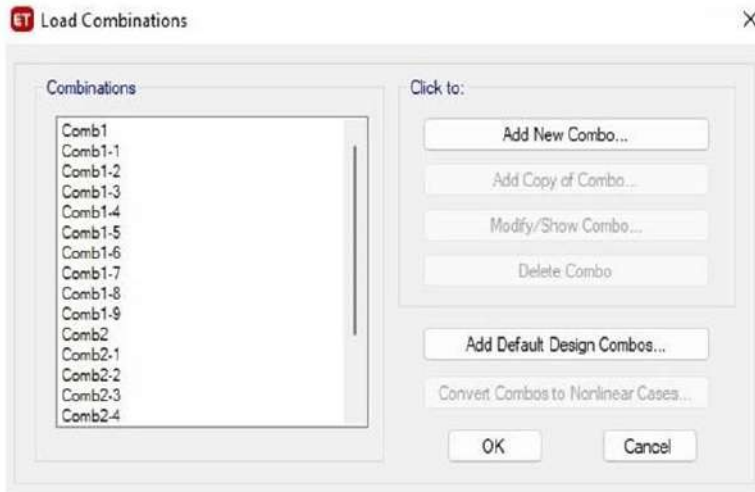
Gambar 6.23

Frame Section Property Data (Shear Wall)

D. Pembebanan Struktur

Struktur gedung dirancang agar mampu menahan beban hidup, beban mati dan beban gempa pada SNI 1726 – 2019.

Kombinasi pembebanan tersebut akan diinput ke ETABS dengan cara *Define – Load Combination – Add New* sesuai pada gambar dibawah ini:



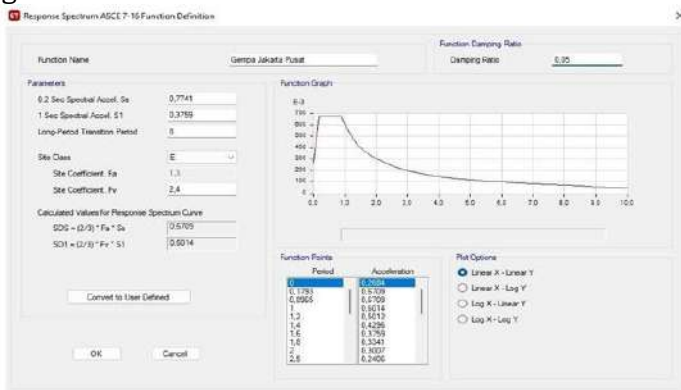
Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.24
Input Load Combination

E. Beban Gempa Berdasarkan Respons Spektrum

Beban gempa yang direncanakan berdasarkan SNI 1726-2019. Desain beban gempa menggunakan respons spektra rencana.

Untuk beban gempa respons spektrum pada ETABS dapat dilakukan dengan cara *Define – Function – Respons Spektrum* sesuai pada gambar dibawah ini:



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 6.25
Input Respons Spektrum

F. Rekapitulasi Berat Struktur dan Massa Bangunan

Berikut merupakan rekapitulasi berat struktur dan massa gedung yang dihasilkan dan diperoleh dari bantuan *software* ETABS 18 V.1.1.

Tabel 6.1
Rekapitulasi Berat Struktur dan Massa Bangunan

<i>Centers Of Mass And Rigidity</i>			
<i>Story</i>	<i>Diaphragm</i>	<i>Mass X</i>	<i>Mass Y</i>
		kgf-s ² /m	kgf-s ² /m
Roof	D1	42439,54	42439,54
Lantai MEP	D1	214713,05	214713,05
Lantai 36	D1	189035,68	189035,68
Lantai 35	D1	189035,68	189035,68
Lantai 34	D1	189035,68	189035,68
Lantai 33	D1	189035,68	189035,68
Lantai 32	D1	189035,68	189035,68
Lantai 31	D1	190898,61	190898,61
Lantai 30	D1	190898,61	190898,61
Lantai 29	D1	189035,68	189035,68
Lantai 28	D1	189035,68	189035,68
Lantai 27	D1	189035,68	189035,68
Lantai 26	D1	189035,68	189035,68
Lantai 25	D1	189035,68	189035,68
Lantai 24	D1	189035,68	189035,68
Lantai 23	D1	189035,68	189035,68
Lantai 22	D1	189035,68	189035,68
Lantai 21	D1	189035,68	189035,68
Lantai 20	D1	189035,68	189035,68
Lantai 19	D1	192061,49	192061,49
Lantai 18	D1	174615,34	174615,34
Lantai 17	D1	186522,32	186522,32
Lantai 16	D1	186522,32	186522,32
Lantai 15	D1	192216,44	192216,44
Lantai 14	D1	187344,11	187344,11
Lantai 13	D1	181594,05	181594,05
Lantai 12	D1	203134,5	203134,5
Lantai 11	D1	184217,7	184217,7

Centers Of Mass And Rigidity			
Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y
		kgf-s ² /m	kgf-s ² /m
Lantai 10	D1	203190,55	203190,55
Lantai 9	D1	183923,29	183923,29
Lantai 8	D1	184338,05	184338,05
Lantai 7	D1	195559,28	195559,28
Lantai 6	D1	198901,18	198901,18
Lantai 5	D1	209587,72	209587,72
Lantai 4	D1	209095,24	209095,24
Lantai 3	D1	208380,68	208380,68
Lantai 2	D1	224463,31	224463,31

Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

BAB VII

Gempa Dinamik Respons Spektrum

A. Perhitungan Respons Spektrum

Perhitungan respons spektrum ini berdasarkan dari jenis tanah pada lokasi proyek yang ditinjau. Tanah pada lokasi proyek gedung *Office Holland Village* adalah tanah lunak. Maka data tersebut jika berdasarkan pada SNI 1726 – 2019 untuk wilayah Jakarta Pusat dengan jenis tanah lunak didapatkan hasil data sebagai berikut:

1. Jenis Tanah = Lunak (SE).
2. S_S = 0,7741 g
3. S_1 = 0,3759 g
4. F_a = 1,3
5. F_v = 2,4

Perhitungan:

B. Periode Fundamental

Periode fundamental adalah properti yang sangat penting untuk diketahui dalam proses perancangan struktur, khususnya dalam struktur tahan gempa. Perhitungan periode fundamental (T) dapat dilakukan berdasarkan sistem struktur yang digunakan. Dalam buku ini pemodelan struktur gedung *Office Holland Village* merupakan sistem struktur dengan sistem ganda dan masuk ke dalam kategori sistem struktur lainnya. Adapun perhitungan fundamental struktur dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

1. $T_{aminimum} = C_t \cdot h^n$
 $= 0,048 \times 154^{0,75}$
 $= 2,13 \text{ detik}$
2. $T_{amax} = T_{amin} \cdot C_u$
 $= 2,13 \times 4$
 $= 2,98 \text{ detik}$

Setelah dilakukan analisis pada ETABS, didapatkan nilai periode getar alami struktur. Nilai periode getar alami struktur yang diambil dari program ETABS V.18.1.1 merupakan nilai pada mode satu. Nilai tersebut akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya yaitu pada perhitungan kontrol gaya geser dasar.

Tabel 7.1
Periode Getar Alami Struktur

Case	Mode	Periode
		Sec
Modal	1	6.036
Modal	2	5.969
Modal	3	5.214
Modal	4	1.944
Modal	5	1.928
Modal	6	1.749
Modal	7	1.082
Modal	8	1.048
Modal	9	0.997
Modal	10	0.71
Modal	11	0.685
Modal	12	0.666
Modal	13	0.522
Modal	14	0.494
Modal	15	0.487
Modal	16	0.402
Modal	17	0.377
Modal	18	0.375
Modal	19	0.323

Case	Mode	Periode
		Sec
Modal	20	0.3
Modal	21	0.297
Modal	22	0.263
Modal	23	0.244
Modal	24	0.24
Modal	25	0.222
Modal	26	0.204
Modal	27	0.201
Modal	28	0.192
Modal	29	0.186
Modal	30	0.173
Modal	31	0.167
Modal	32	0.166
Modal	33	0.157
Modal	34	0.144
Modal	35	0.141
Modal	36	0.138
Modal	37	0.125
Modal	38	0.123
Modal	39	0.119
Modal	40	0.108
Modal	41	0.105
Modal	42	0.105
Modal	43	0.095
Modal	44	0.094
Modal	45	0.093
Modal	46	0.085
Modal	47	0.084
Modal	48	0.083
Modal	49	0.076
Modal	50	0.076

Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Berdasarkan FEMA, jika memiliki nilai periode getar alami struktur (T_p) yang didapatkan dari program maka digunakan ketentuan sebagai berikut:

1. Jika $T_p > T_{amax}$ maka $T = T_{amax}$
2. Jika $T_{amin} < T_p < T_{amax}$ maka $T = T_p$
3. Jika $T_p < T_{amin}$ maka $T = T_{amin}$

Penentuan nilai T yang akan digunakan dalam perhitungan analisis ini adalah sebagai berikut:

$$T_p = 6,036 \text{ detik}$$

$$T_{amin} = 2,13 \text{ detik}$$

$$T_{amax} = 2,98 \text{ detik}$$

Sesuai dari hasil bahwa $T_p > T_{amax}$, maka $T = T_{amax} = 2,98 \text{ detik}$.

C. Kontrol Gaya Geser Dasar

Berdasarkan SNI 1726-2019 untuk gaya geser dasar dinamik kurang dari 100% dari gaya geser statik ekuivalen, apabila tidak memenuhi maka faktor skala dikalikan dengan $V_{statik} / V_{dinamik}$. Perhitungan kontrol gaya geser dasar dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Faktor skala: } \frac{gI}{R} = \frac{9,81 \times 1}{7} = 1,401$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R} = \frac{0,67}{7} = 0,0957$$

$$\frac{I_e}{1}$$

$$C_{smaks} = \frac{S_{DS}}{T \times \frac{R}{I_e}}$$

$$C_{smaks} = \frac{S_{D1}}{T \times \frac{R}{I_e}} = 0,0095$$

$$C_{smin} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e$$

$$= 0,044 \times 0,67 \times 1$$

$$= 0,0295$$

Berdasarkan ketentuan yang telah ditentukan pada SNI 1726-2019, maka nilai koefisien respons seismik yang digunakan yakni tidak kurang dari 0,01 dan sesuai hasil perhitungan $C_s = 0,0957 \geq 0,01$. Adapun perhitungan gaya geser dasar statik untuk masing-masing model struktur pada arah yang telah ditentukan adalah sebagai berikut:

Berat total dari struktur adalah 740807 kN sehingga, nilai gaya lateral ekuivalen adalah:

$$V \text{ arah X} = C_s \cdot W_t = (0,0295) \cdot (740807) = 21867,90 \text{ kN}$$

$$V \text{ arah Y} = C_s \cdot W_t = (0,0295) \cdot (740807) = 21867,90 \text{ kN}$$

$$V_{dinamik} \geq V_{statik}$$

Dari hasil program ETABS setelah di *running* didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Pada arah X, $V_{dinamik} = 21865,517 \text{ kN} < V_{statik} = 21867,90 \text{ kN}$ (tidak memenuhi syarat), maka perlu dilakukan pembesaran faktor skala dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala gempa arah x} &= 1,401 \times \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}} \\ &= 1,401 \times \frac{21867,90}{21865,517} \\ &= 1,40 \end{aligned}$$

$V_{dinamik}$ setelah pembesaran faktor skala = 21893,087 kN > V_{statik} 21867,90 kN (memenuhi syarat).

2. Pada arah Y, $V_{dinamik} = 21867,4851 \text{ kN} < V_{statik} = 21867,4851 \text{ kN}$ (tidak memenuhi syarat), maka perlu dilakukan pembesaran faktor skala dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala gempa arah x} &= 1,401 \times \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}} \\ &= 1,401 \times \frac{21867,4851}{21862,7419} \\ &= 1,0002 \end{aligned}$$

$V_{dinamik}$ setelah pembesaran faktor skala = 21867,5171 kN > V_{statik} 21867,4851 kN (memenuhi syarat).

D. Kontrol Simpangan (*Displacement*)

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.6 bahwa simpangan antar lantai tidak boleh melebihi nilai simpangan antar tingkat ijin. Adapun parameter penentuan simpangan antar lantai adalah sebagai berikut:

1. Faktor pembesaran defleksi (C_d), didapatkan dari SNI 1726-2019, untuk sistem ganda dengan dinding geser beton bertulang khusus dengan nilai $C_d = 5,5$.
2. Faktor keutamaan gempa (I_e), berdasarkan kategori risiko bangunan gedung ini termasuk ke dalam kategori risiko II sehingga nilai $I_e = 1$.
3. Simpangan antar lantai untuk semua struktur lainnya dengan kategori risiko II simpangan antar lantai = $0,02 \cdot h_{sx}$

Data untuk menghitung simpangan antar lantai dapat diperoleh pada ETABS dari *show table – display – displacement – story drift*.

Kemudian dibantu dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dan diperoleh simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726-2019

Tabel 7.2
Perhitungan Simpangan Antar Lantai Arah X

Story	Load Case/Combo	Direction	Delta Total	Delta x _c	Cd	Delta x	Tinggi Tingkat	Delta Izin	Cek
			mm	mm		mm	mm	mm	
ROOF	Ex Max	X	430,773	4,426	5,5	24,343	4000	80	OK
LT.MEP	Ex Max	X	426,347	5,013	5,5	27,5715	4200	84	OK
LT. 36	Ex Max	X	421,334	5,715	5,5	31,4325	4200	84	OK
LT. 35	Ex Max	X	415,619	6,583	5,5	36,2065	4200	84	OK
LT. 34	Ex Max	X	409,036	7,519	5,5	41,3545	4200	84	OK
LT. 33	Ex Max	X	401,517	8,47	5,5	46,585	4200	84	OK
LT. 32	Ex Max	X	393,047	9,421	5,5	51,8135	4200	84	OK
LT. 31	Ex Max	X	383,626	11,107	5,5	61,0885	4500	90	OK
LT. 30	Ex Max	X	372,519	11,127	5,5	61,1985	4200	84	OK
LT. 29	Ex Max	X	361,392	11,83	5,5	65,065	4200	84	OK
LT. 28	Ex Max	X	349,562	14,508	5,5	79,794	4200	84	OK
LT. 27	Ex Max	X	335,054	13,148	5,5	72,314	4200	84	OK
LT. 26	Ex Max	X	321,906	13,746	5,5	75,603	4200	84	OK
LT. 25	Ex Max	X	308,16	14,305	5,5	78,6775	4200	84	OK
LT. 24	Ex Max	X	293,855	14,788	5,5	81,334	4200	84	OK
LT. 23	Ex Max	X	279,067	14,812	5,5	81,466	4200	84	OK
LT. 22	Ex Max	X	264,255	14,987	5,5	82,4285	4200	84	OK
LT. 21	Ex Max	X	249,268	14,255	5,5	78,4025	4200	84	OK
LT. 20	Ex Max	X	235,013	15,149	5,5	83,3195	4200	84	OK
LT. 19	Ex Max	X	219,864	15,422	5,5	84,8210	4500	90	OK
LT. 18	Ex Max	X	204,442	12,565	5,5	69,1075	3700	74	OK
LT. 17	Ex Max	X	191,877	12,205	5,5	67,1275	3700	74	OK
LT. 16	Ex Max	X	179,672	12,178	5,5	66,979	3700	74	OK
LT. 15	Ex Max	X	167,494	14,753	5,5	81,1415	4500	90	OK
LT. 14	Ex Max	X	152,741	9,477	5,5	52,1235	3000	60	OK
LT. 13	Ex Max	X	143,264	10,456	5,5	57,508	3500	70	OK
LT. 12	Ex Max	X	132,808	11,365	5,5	62,5075	3500	70	OK
LT. 11	Ex Max	X	121,443	10,487	5,5	57,6785	3500	70	OK
LT. 10	Ex Max	X	110,956	11,222	5,5	61,721	3500	70	OK
LT. 9	Ex Max	X	99,734	10,793	5,5	59,3615	3500	70	OK
LT. 8	Ex Max	X	88,941	10,755	5,5	59,1525	3500	70	OK
LT. 7	Ex Max	X	78,186	10,835	5,5	59,5925	3500	70	OK
LT. 6	Ex Max	X	67,351	16,168	5,5	88,924	5000	100	OK
LT. 5	Ex Max	X	51,183	16,119	5,5	88,6545	5000	100	OK
LT. 4	Ex Max	X	35,064	14,983	5,5	82,4065	5000	100	OK
LT. 3	Ex Max	X	20,081	12,405	5,5	68,2275	5000	100	OK
LT. 2	Ex Max	X	7,676	7,676	5,5	42,218	6500	130	OK

Sumber: Olahan Data Penelitian, 2023.

Tabel 7.3
Perhitungan Simpangan Antar Lantai Arah Y

Story	Load Case/Combo	Direction	Delta Total mm	Delta _{yc} mm	Cd	Delta _y mm	Tinggi Tingkat mm	Delta Izin mm	Cek
ROOF	Ey Max	Y	492,465	14,08	5,5	77,44	4000	80	OK
LT.MEP	Ey Max	Y	478,385	14,977	5,5	82,3735	4200	84	OK
LT. 36	Ey Max	Y	463,408	13,344	5,5	73,392	4200	84	OK
LT. 35	Ey Max	Y	450,064	14,142	5,5	77,781	4200	84	OK
LT. 34	Ey Max	Y	435,922	10,04	5,5	55,22	4200	84	OK
LT. 33	Ey Max	Y	425,882	14,993	5,5	82,4615	4200	84	OK
LT. 32	Ey Max	Y	410,889	13,956	5,5	76,758	4200	84	OK
LT. 31	Ey Max	Y	396,933	16,126	5,5	88,693	4500	90	OK
LT. 30	Ey Max	Y	380,807	10,743	5,5	59,0865	4200	84	OK
LT. 29	Ey Max	Y	370,064	14,482	5,5	79,651	4200	84	OK
LT. 28	Ey Max	Y	355,582	15,156	5,5	83,358	4200	84	OK
LT. 27	Ey Max	Y	340,426	14,752	5,5	81,136	4200	84	OK
LT. 26	Ey Max	Y	325,674	11,256	5,5	61,908	4200	84	OK
LT. 25	Ey Max	Y	314,418	14,661	5,5	80,6355	4200	84	OK
LT. 24	Ey Max	Y	299,757	13,933	5,5	76,6315	4200	84	OK
LT. 23	Ey Max	Y	285,824	15,066	5,5	82,863	4200	84	OK
LT. 22	Ey Max	Y	270,758	13,025	5,5	71,6375	4200	84	OK
LT. 21	Ey Max	Y	257,733	14,775	5,5	81,2625	4200	84	OK
LT. 20	Ey Max	Y	242,958	14,19	5,5	78,045	4200	84	OK
LT. 19	Ey Max	Y	228,768	15,335	5,5	84,3425	4500	90	OK
LT. 18	Ey Max	Y	213,433	12,982	5,5	71,401	3700	74	OK
LT. 17	Ey Max	Y	200,451	12,214	5,5	67,177	3700	74	OK
LT. 16	Ey Max	Y	188,237	12,054	5,5	66,297	3700	74	OK
LT. 15	Ey Max	Y	176,183	15,33	5,5	84,315	4500	90	OK
LT. 14	Ey Max	Y	160,853	10,593	5,5	58,2615	3000	60	OK
LT. 13	Ey Max	Y	150,26	11,22	5,5	61,71	3500	70	OK
LT. 12	Ey Max	Y	139,04	12,4	5,5	68,2	3500	70	OK
LT. 11	Ey Max	Y	126,64	11,122	5,5	61,171	3500	70	OK
LT. 10	Ey Max	Y	115,518	10,125	5,5	55,6875	3500	70	OK
LT. 9	Ey Max	Y	105,393	9,838	5,5	54,109	3500	70	OK
LT. 8	Ey Max	Y	95,555	12,154	5,5	66,847	3500	70	OK
LT. 7	Ey Max	Y	83,401	10,799	5,5	59,3945	3500	70	OK
LT. 6	Ey Max	Y	72,602	17,291	5,5	95,1005	5000	100	OK
LT. 5	Ey Max	Y	55,311	16,689	5,5	91,7895	5000	100	OK
LT. 4	Ey Max	Y	38,622	16,944	5,5	93,192	5000	100	OK
LT. 3	Ey Max	Y	21,678	13,572	5,5	74,646	5000	100	OK
LT. 2	Ey Max	Y	8,106	8,106	5,5	44,583	6500	130	OK

Sumber: Olahan Data Penelitian, 2023.

E. Pengaruh P-Delta

Berikut ini merupakan pengecekan nilai P-Delta pada struktur gedung *Office Holland Village* berdasarkan SNI 1726-2019.

Beta	1
Cd	5,5
Teta Max	0,901

Tabel 7.4
Pengecekan P-Delta Arah X

Story	Arah X							
	Px	Delta	Ic	Vx	Hsx	Cd	Teta	Cek
	kN	mm		kN	mm			
ROOF	4332,8	24,343	1	1790,1	4000	5,5	0,0026781	Aman
L. MEP	31918,5	27,571	1	9742,8	4200	5,5	0,0039102	Aman
LT.36	59224,6	31,432	1	15802,4	4200	5,5	0,0050996	Aman
LT.35	86530,8	36,207	1	21061,8	4200	5,5	0,0064395	Aman
LT.34	113837,0	41,355	1	25677,3	4200	5,5	0,0079369	Aman
LT.33	141143,1	46,585	1	29764,2	4200	5,5	0,0095631	Aman
LT.32	168449,3	51,816	1	33382,1	4200	5,5	0,0113189	Aman
LT.31	195755,4	61,088	1	36605,9	4500	5,5	0,0131990	Aman
LT.30	223690,5	61,199	1	39408,4	4200	5,5	0,0150381	Aman
LT.29	250996,7	65,065	1	41892,5	4200	5,5	0,0168759	Aman
LT.28	278302,9	79,794	1	44143,1	4200	5,5	0,0217778	Aman
LT.27	305609,0	72,314	1	46205,7	4200	5,5	0,0207052	Aman
LT.26	332915,2	75,603	1	48121,3	4200	5,5	0,0226424	Aman
LT.25	360221,3	78,678	1	49935,6	4200	5,5	0,0244838	Aman
LT.24	387527,5	81,334	1	51684,0	4200	5,5	0,0290401	Aman
LT.23	415038,6	81,466	1	53390,1	4200	5,5	0,0264001	Aman
LT.22	442414,7	82,429	1	55067,9	4200	5,5	0,0274152	Aman
LT.21	469790,7	78,403	1	56726,6	4200	5,5	0,0286679	Aman
LT.20	497166,8	83,320	1	58361,2	4200	5,5	0,0281084	Aman
LT.19	524542,8	84,821	1	59975,0	4500	5,5	0,0307265	Aman
LT.18	551918,9	69,108	1	61494,6	3700	5,5	0,0299736	Aman
LT.17	579294,9	67,128	1	62965,2	3700	5,5	0,0304789	Aman
LT.16	606670,9	66,979	1	64428,3	3700	5,5	0,0303484	Aman
LT.15	634047,0	81,141	1	65936,5	4500	5,5	0,0309921	Aman
LT.14	661423,0	52,124	1	67344,6	3000	5,5	0,0315256	Aman
LT.13	688799,1	57,508	1	68799,3	3500	5,5	0,0310260	Aman
LT.12	716175,1	62,508	1	70491,7	3500	5,5	0,0299093	Aman
LT.11	743551,2	57,679	1	72079,3	3500	5,5	0,0329900	Aman
LT.10	770927,2	61,721	1	73887,1	3500	5,5	0,0309089	Aman
LT.9	798303,3	59,362	1	75567,9	3500	5,5	0,0334539	Aman
LT.8	825679,3	59,153	1	77268,3	3500	5,5	0,0325765	Aman
LT.7	853055,3	59,593	1	79075,6	3500	5,5	0,0328362	Aman
LT.6	880431,4	88,924	1	80884,2	5000	5,5	0,0333961	Aman
LT.5	907807,4	88,655	1	82547,0	5000	5,5	0,0351980	Aman
LT.4	935183,5	82,407	1	83943,6	5000	5,5	0,0354536	Aman
LT.3	962559,5	68,228	1	84966,2	5000	5,5	0,0333840	Aman
LT.2	989935,6	42,218	1	85515,7	6500	5,5	0,0136704	Aman

Sumber: Olahan Data Penelitian, 2023.

Tabel 7.5
Pengecekan P-Delta Arah Y

Story	Arah Y							
	Px	Delta	Ic	Vy	Hsx	Cd	Teta	Cek
	kN	mm		kN	mm			
ROOF	4332,8	77,440	1	1958,3	4000	5,5	0,0077879	Aman
L1.MEP	31918,5	82,373	1	10470,5	4200	5,5	0,0108705	Aman
LT.36	59224,6	73,392	1	16860,3	4200	5,5	0,0111603	Aman
LT.35	86530,8	77,781	1	22358,3	4200	5,5	0,0130315	Aman
LT.34	113837,0	55,220	1	27151,0	4200	5,5	0,0100226	Aman
LT.33	141143,1	82,462	1	31360,6	4200	5,5	0,0160662	Aman
LT.32	168449,3	76,758	1	35051,4	4200	5,5	0,0159689	Aman
LT.31	195755,4	88,693	1	38306,3	4500	5,5	0,0183129	Aman
LT.30	223690,5	59,087	1	41099,1	4200	5,5	0,0139217	Aman
LT.29	250996,7	79,651	1	43537,8	4200	5,5	0,0198783	Aman
LT.28	278302,9	83,358	1	45712,3	4200	5,5	0,0219695	Aman
LT.27	305609,0	81,136	1	47675,5	4200	5,5	0,0225150	Aman
LT.26	332915,2	61,908	1	49474,6	4200	5,5	0,0180338	Aman
LT.25	360221,3	80,636	1	51152,7	4200	5,5	0,0245819	Aman
LT.24	387527,5	76,632	1	52744,3	4200	5,5	0,0243737	Aman
LT.23	415038,6	82,863	1	54272,3	4200	5,5	0,0274321	Aman
LT.22	442414,7	71,637	1	55756,6	4200	5,5	0,0246072	Aman
LT.21	469790,7	81,263	1	57211,9	4200	5,5	0,0288866	Aman
LT.20	497166,8	78,045	1	58648,6	4200	5,5	0,0286403	Aman
LT.19	524542,8	84,343	1	60097,7	4500	5,5	0,0297436	Aman
LT.18	551918,9	71,401	1	61518,1	3700	5,5	0,0314783	Aman
LT.17	579294,9	67,177	1	62955,1	3700	5,5	0,0303756	Aman
LT.16	606670,9	66,297	1	64443,2	3700	5,5	0,0306694	Aman
LT.15	634047,0	84,315	1	66033,3	4500	5,5	0,0327106	Aman
LT.14	661423,0	58,262	1	67568,0	3000	5,5	0,0345649	Aman
LT.13	688799,1	61,710	1	69172,5	3500	5,5	0,0319215	Aman
LT.12	716175,1	68,200	1	71058,0	3500	5,5	0,0357075	Aman
LT.11	743551,2	61,171	1	72838,0	3500	5,5	0,0324390	Aman
LT.10	770927,2	55,688	1	74867,5	3500	5,5	0,0297884	Aman
LT.9	798303,3	54,109	1	76747,4	3500	5,5	0,0292377	Aman
LT.8	825679,3	66,847	1	78636,1	3500	5,5	0,0364620	Aman
LT.7	853055,3	59,395	1	80628,1	3500	5,5	0,0326442	Aman
LT.6	880431,4	95,101	1	82605,8	5000	5,5	0,0368583	Aman
LT.5	907807,4	91,790	1	84419,7	5000	5,5	0,0358930	Aman
LT.4	935183,5	93,192	1	85904,5	5000	5,5	0,0368916	Aman
LT.3	962559,5	74,646	1	86958,7	5000	5,5	0,0300461	Aman
LT.2	989935,6	44,583	1	87516,9	6500	5,5	0,0141061	Aman

Sumber: Olahan Data Penelitian, 2023.

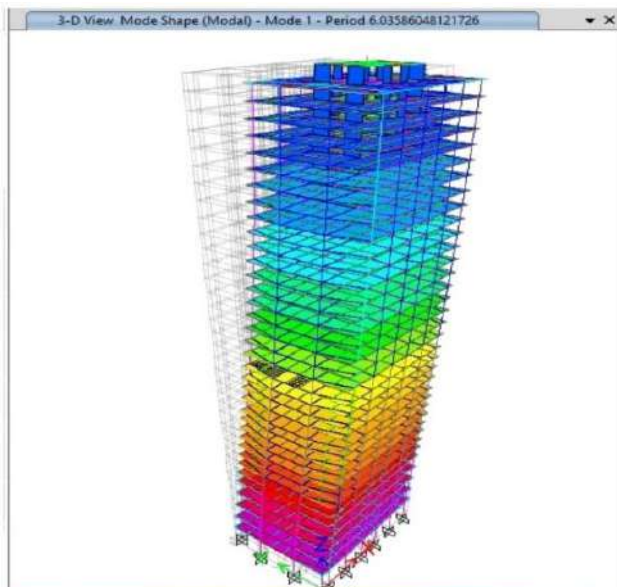
F. Ragam Pola Getar

Waktu getar alami pada struktur dapat diketahui secara otomatis pada ETABS yang diperoleh dari hasil raga, getar atau *Modal Analysis* dengan cara *Run – Display – Performed Shapes*. Waktu getar analisis ETABS untuk mode shape 1, 2 dan 3 ditunjukkan pada gambar sebagai berikut:



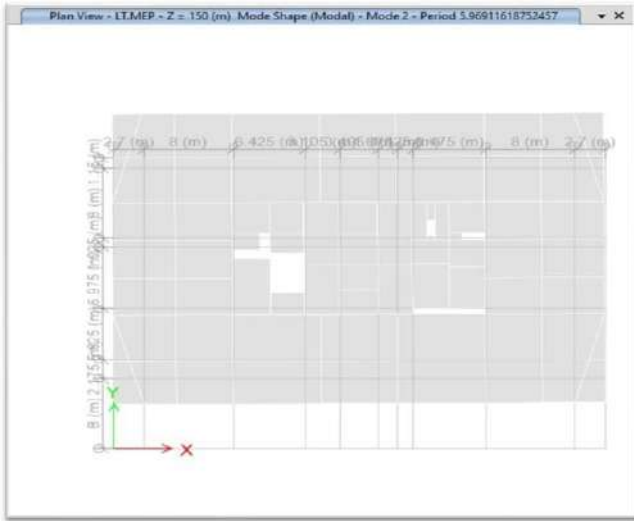
Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 7.1
2D Mode Shape 1 (T = 6,035)



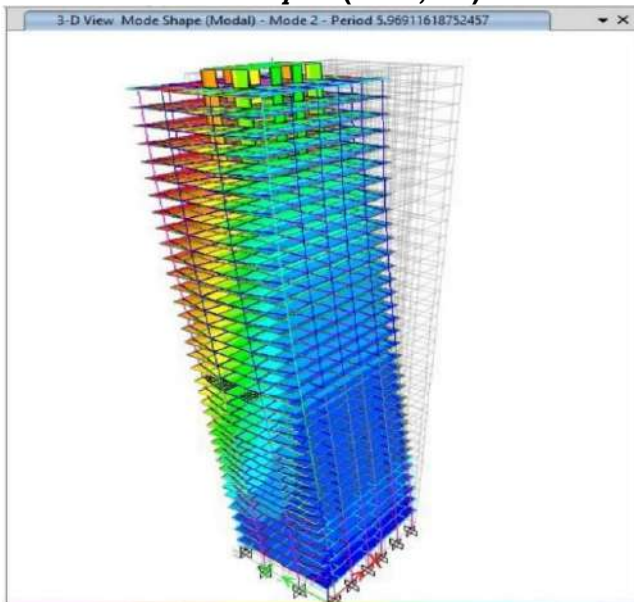
Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 7.2
3D Mode Shape 1 (T = 6,035)



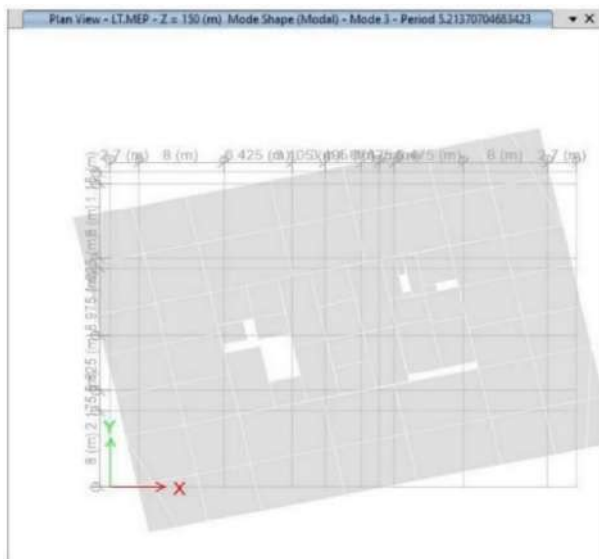
Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 7.3
Mode Shape 2 (T = 5,969)



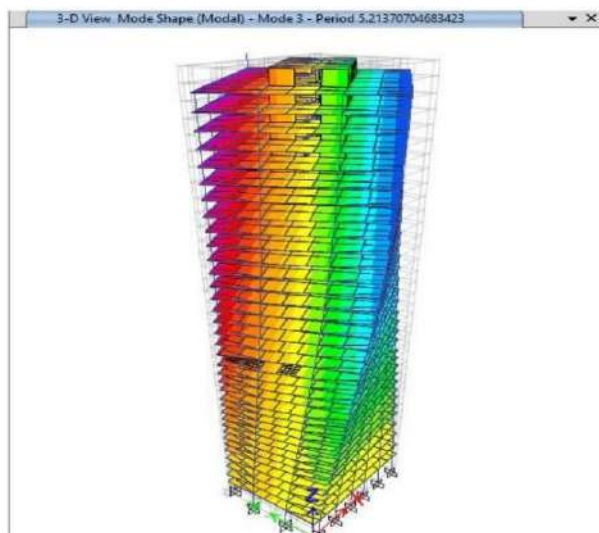
Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 7.4
3D Mode Shape 2 (T = 5,969)



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 7.5
Mode Shape 3 Rotasi ($T = 5,213$)



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 7.6
3D Mode Shape 3 Rotasi ($T = 5,213$)

G. *Modal Participating Mass Ratio (MPMR)*

Berdasarkan SNI 1726-2019, jumlah pola getar pada struktur yang ditinjau dalam penjumlahan respons ragam harus mencakup partisipasi massa paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal orthogonal.

BAB VIII

Time History Analysis

Analisis *Time History* dengan menggunakan ETABS V.18.1.1 dengan menginput data rekaman gempa dari PEER yaitu menggunakan 11 (sebelas) catatan rekaman gempa antara lain Imperial Valley, Kobe, Morgan Hill, Loma, New Zealand, Northridge, San Fernando, Manjil, Dusce, Trinidad, Helena. Pemilihan rekaman gempa tersebut berdasarkan magnitudo yang berdekatan nilainya dengan gempa di Jakarta Pusat dengan magnitudo 6,7 - 7,0.

A. Penskalaan *Ground Motion*

Catatan rekaman gempa yang dipilih untuk analisis ini harus memiliki respons spektrum yang berdekatan dengan respons spektrum elastik desain, kemudian catatan gempa yang dipilih dimodifikasi dan di-*match* dengan respons spektrum lokasi yang ditinjau dengan cara melakukan penskalaan ordinat rentang $0,2T$ - $1,2T$ dan menggunakan bantuan *software* ETABS V.18.1.1. Berikut adalah perhitungan penskalaan *matching* gempa respons spektra dengan gempa *Time History*:

Setiap komponen gerak tanah harus diskalakan secara spectral dengan rentang $0,2T - 1,2T$.

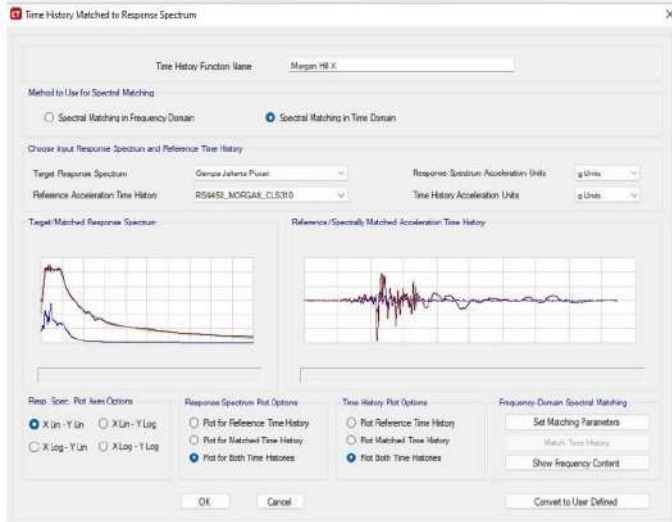
T = Periode Struktur

$T = 0,1 \times \text{Jumlah Lantai} = 0,1 \times 36 = 3,6$

$$\begin{aligned} \text{Ordinat Matching} &= 0,2T - 1,2T \\ &= 0,2 \cdot (3,6) - 1,2 \cdot (3,6) \\ &= 0,72T - 4,32T \end{aligned}$$

1. Gempa Morgan Hill Arah X

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Morgan Hill arah X memiliki rentang $0,8T - 2,5T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726-2019.

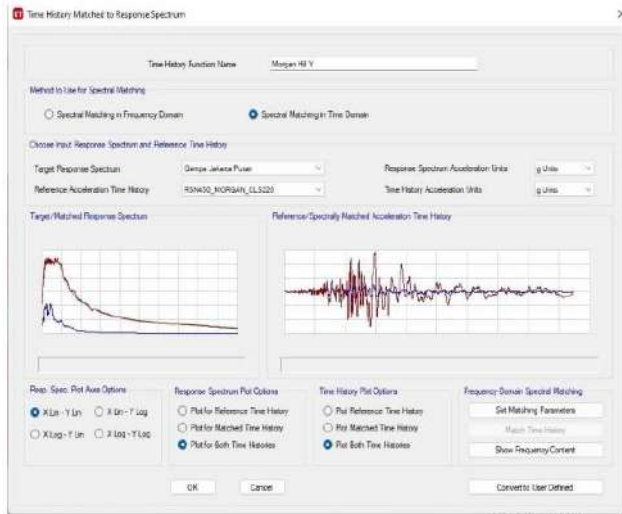


Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.1

Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Morgan Hill Arah X.

2. Gempa Morgan Hill Arah Y



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

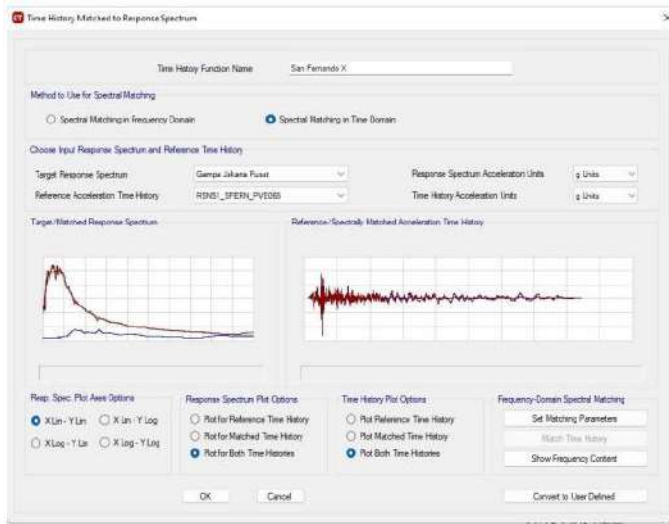
Gambar 8.2

Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Morgan Hill Arah Y.

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Morgan Hill arah Y memiliki rentang $0,8T - 1,2T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726 – 2019.

3. Gempa San Fernando Arah X

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa San Fernando arah X memiliki rentang $0,9T - 2,8T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726 – 2019.

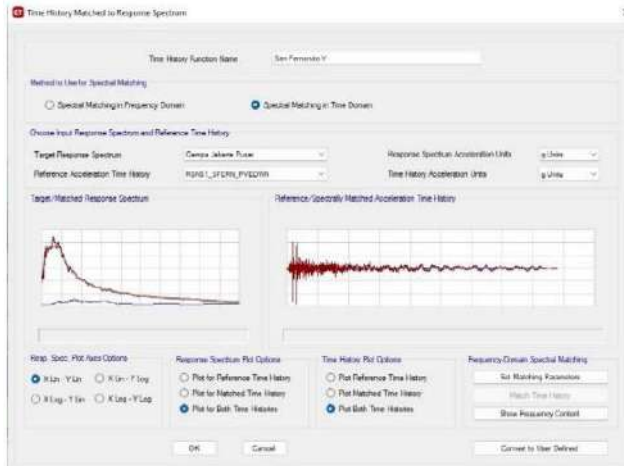


Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.3
Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa San Fernando
Arah X.

4. Gempa San Fernando Arah Y

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa San Fernando arah Y memiliki rentang $0,7T - 4,1T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726 – 2019.

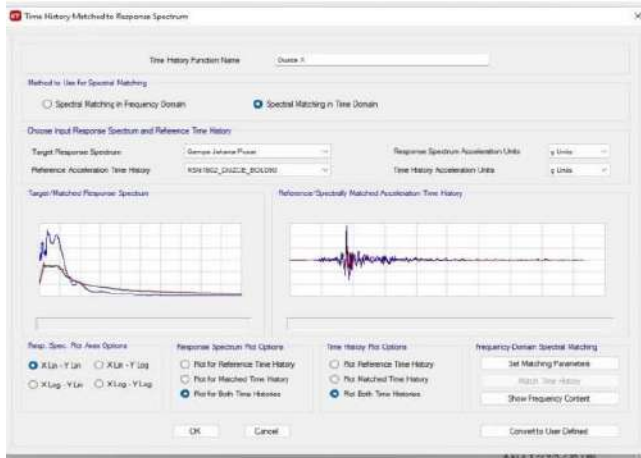


Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.4
Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa San
Fernando Arah Y.

5. Gempa Duce Arah X

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Duce arah X memiliki rentang $0,6T - 2,3T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726 – 2019.

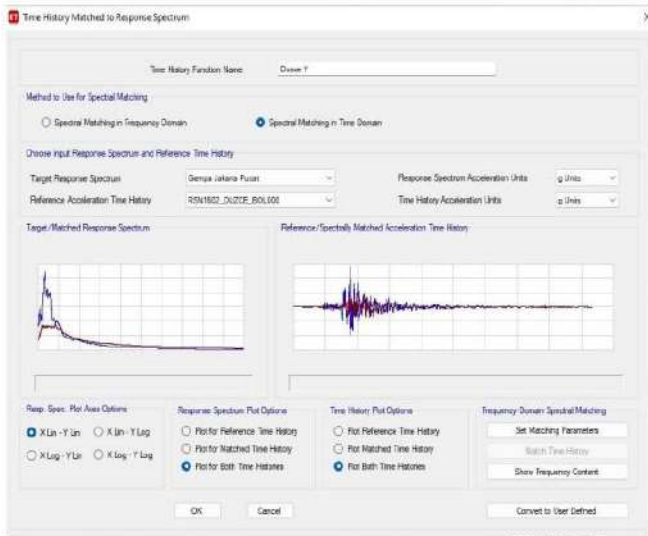


Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.5

Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Dusce Arah X.

6. Gempa Dusce Arah Y



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

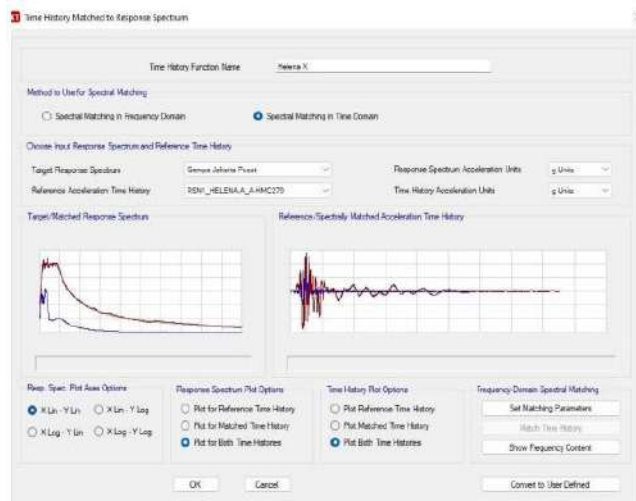
Gambar 8.6

Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Dusce Arah Y.

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Dusce arah Y memiliki rentang $0,8T - 3,3T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726 – 2019.

7. Gempa Helena Arah X

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Helena arah X memiliki rentang $0,6T - 3,8T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726 – 2019.



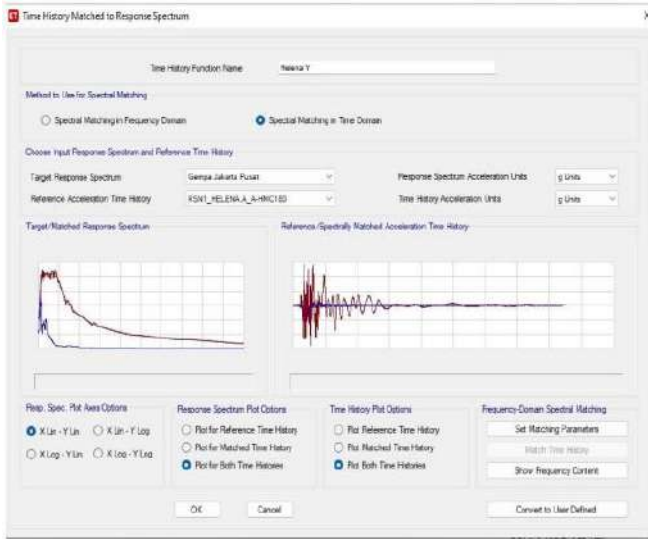
Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.7

***Matching* Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Helena Arah X.**

8. Gempa Helena Arah Y

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Helena arah Y memiliki rentang $0,8T - 2,6T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726 – 2019.

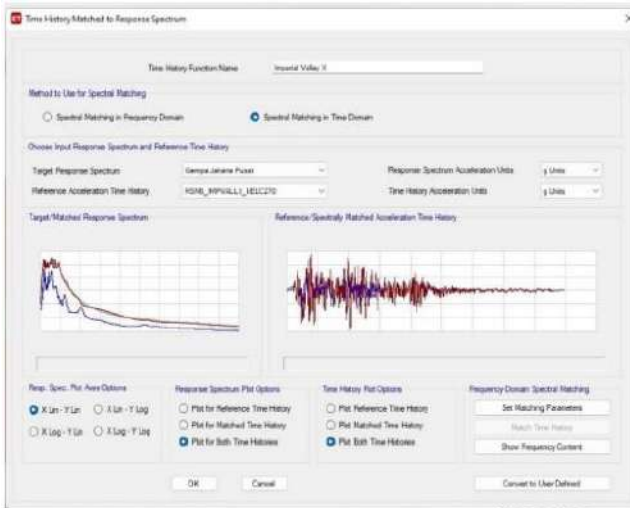


Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.8

Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Helena Arah Y.

9. Gempa Imperial Valley Arah X



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.9

Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Imperial Valley Arah X.

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Imperial Valley arah X memiliki rentang $0,8T - 3,97T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726 – 2019.

10. Gempa Imperial Valley Arah Y

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Imperial Valley arah Y memiliki rentang $0,8T - 3,97T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726 – 2019.



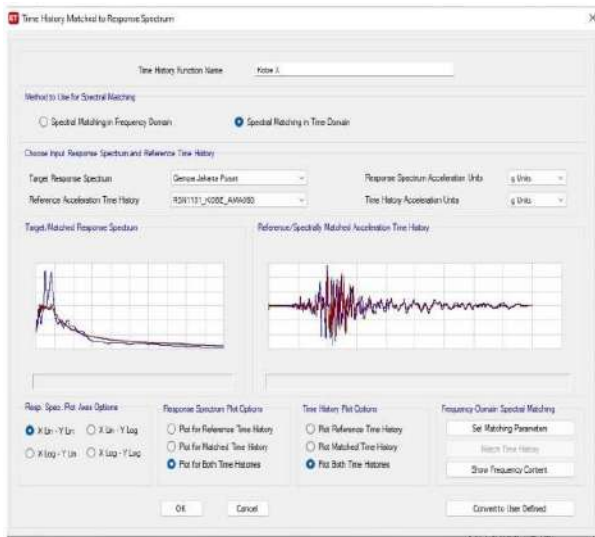
Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.10

***Matching* Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Imperial Valley Arah Y.**

11. Gempa Kobe Arah X

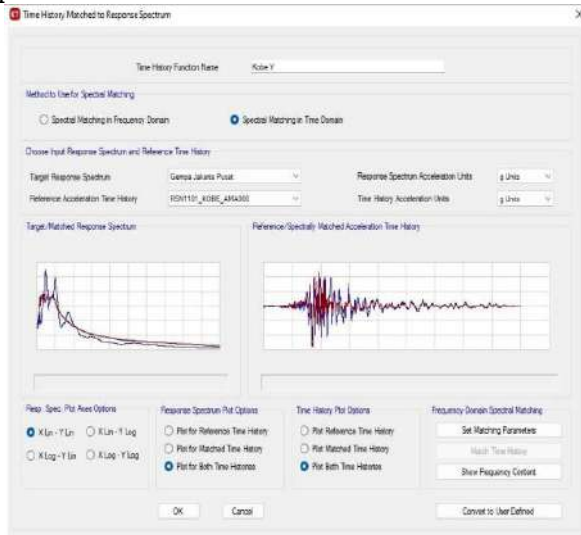
Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Kobe arah X memiliki rentang $0,7T - 2,10T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726 – 2019.



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.11
***Matching* Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Kobe Arah X.**

12. Gempa Kobe Arah Y



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

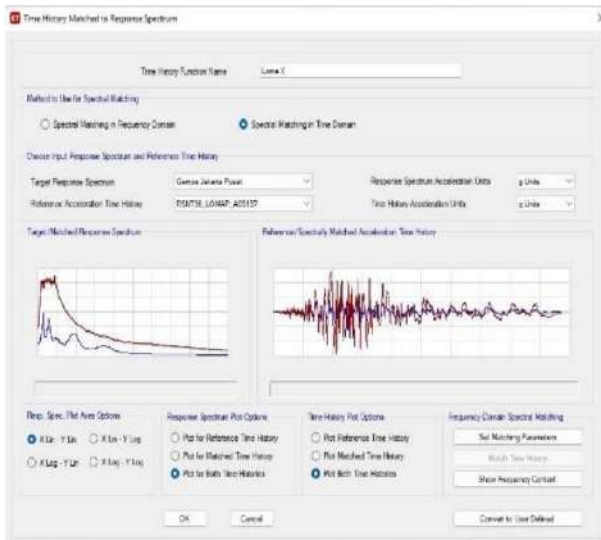
Gambar 8.12

Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Kobe Arah Y.

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Kobe arah Y memiliki rentang $0,67T - 1,16T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726 – 2019.

13. Gempa Loma Arah X

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Loma arah X memiliki rentang $0,68T - 4,2T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726 – 2019.

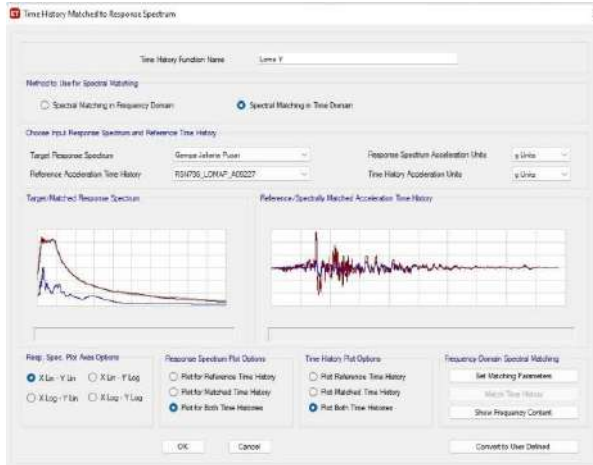


Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.13
Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Loma Arah X.

14. Gempa Loma Arah Y

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Loma arah Y memiliki rentang $0,4T - 2,5T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726 – 2019.

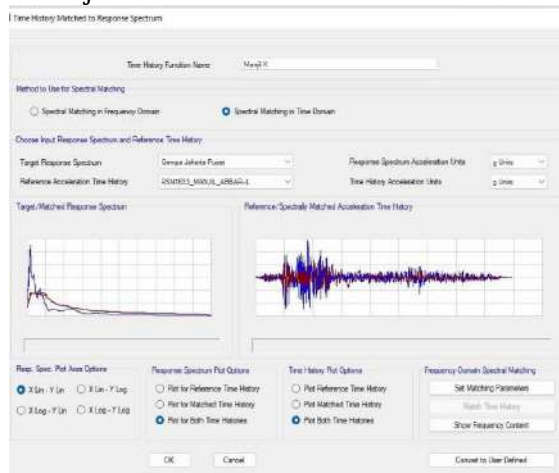


Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.14

Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Loma Arah Y.

15. Gempa Manjil Arah X



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

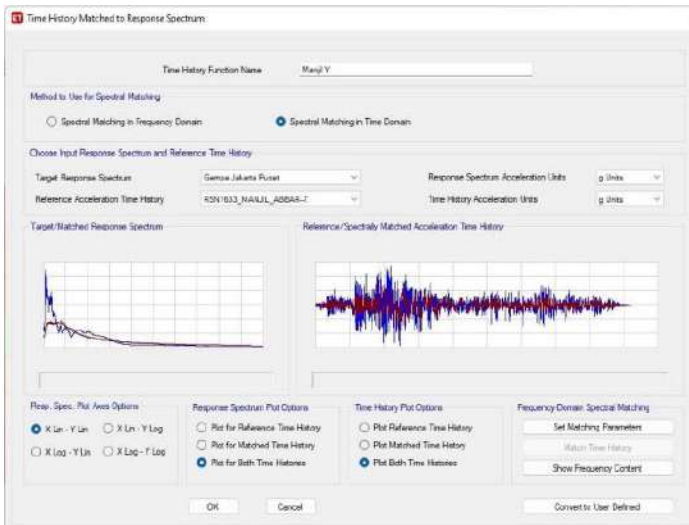
Gambar 8.15

Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Manjil Arah X.

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Manjil arah X memiliki rentang 1,3T – 3,9T yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726 – 2019.

16. Gempa Manjil Arah Y

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Manjil arah Y memiliki rentang 0,8T – 3,4T yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726-2019.



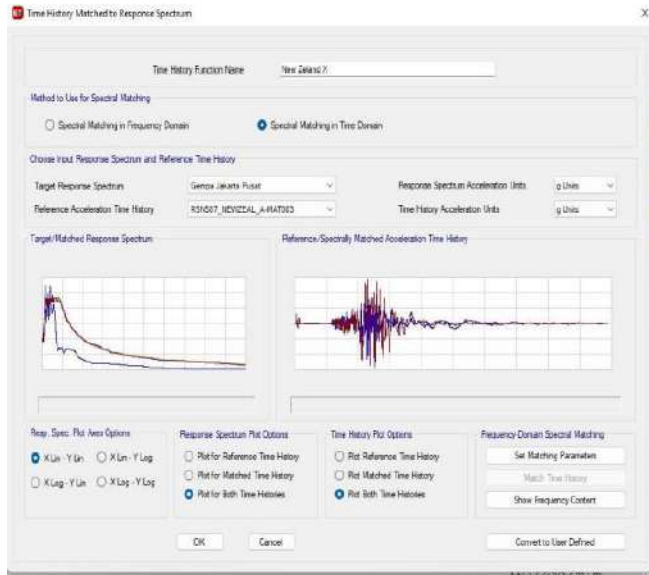
Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.16

Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Manjil Arah Y.

17. Gempa New Zealand Arah X

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa New Zealand arah X memiliki rentang 0,8T – 2,8T yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726-2019.

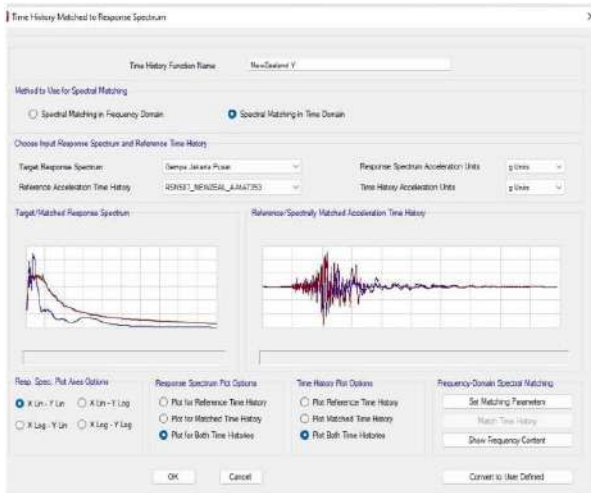


Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.17
Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa New Zealand
Arah X.

18. Gempa New Zealand Arah Y

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa New Zealand arah Y memiliki rentang $0,8T - 1,9T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726-2019.



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.18

***Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa New Zealand
Arah Y.***

19. Gempa Northridge Arah X



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

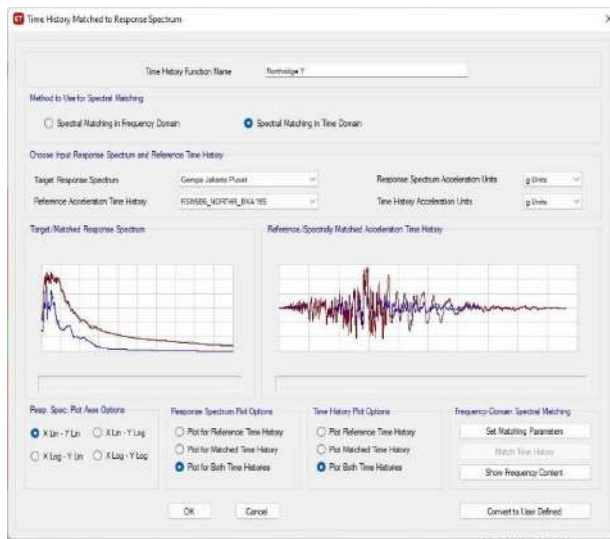
Gambar 8.19

***Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Northridge Arah
X.***

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Northridge arah X memiliki rentang $0,8T - 2,14T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726-2019.

20. Gempa Northridge Arah Y

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Northridge arah Y memiliki rentang $1,9T - 2,59T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726-2019.



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

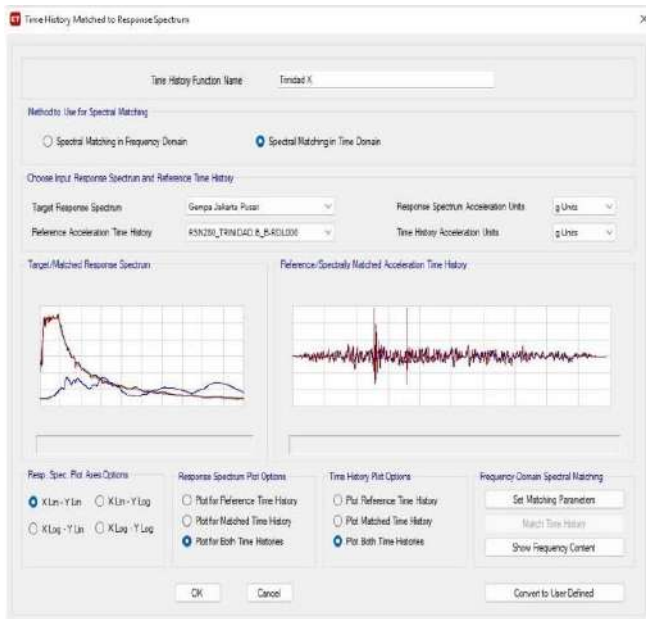
Gambar 8.20

***Matching* Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Northridge Arah Y.**

21. Gempa Trinidad Arah X

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Trinidad arah X memiliki rentang $0,8T - 1,3T$ yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari

rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726-2019.



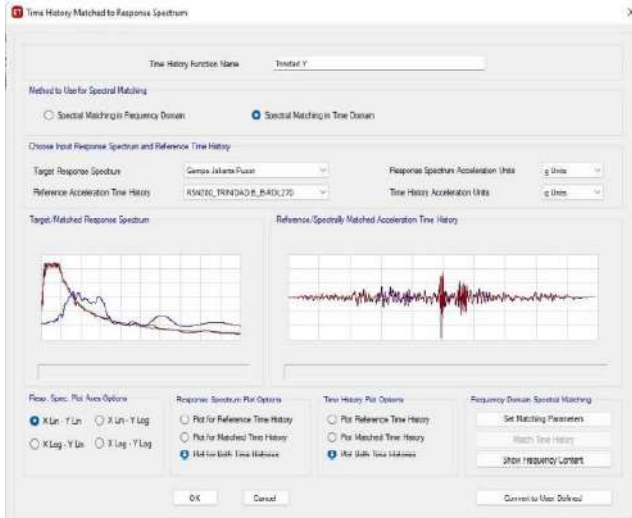
Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.21

***Matching* Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Trinidad Arah X.**

22. Gempa Trinidad Arah Y

Pada gambar dijelaskan bahwa gempa Trinidad arah Y memiliki rentang 0,9T – 3,3T yang dimana memiliki pengertian bahwa ordinat yang dimiliki oleh gempa ini tidak kurang dari rentang yang dimiliki oleh respons spektra Jakarta Pusat dan sesuai dengan syarat *matching* berdasarkan SNI 1726-2019.



Sumber: Hasil Data ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.22

Matching Gempa Jakarta Pusat Dengan Gempa Trinidad Arah Y.

B. Percepatan Puncak Muka Tanah

Percepatan puncak permukaan tanah (*peak ground acceleration*) harus diambil dengan level gempa probabilitas terlampaui sebesar 2% selama 50 tahun umur struktur bangunan (SNI 1726: 2019).

Nilai PGA dapat diperoleh dari peta Hazard Gempa Indonesia. Sesuai koordinat lokasi gedung yang ditinjau berada di Jakarta, maka didapatkan nilai PGA = 0,4 g.

C. Koefisien Situs

Percepatan puncak permukaan dipengaruhi oleh kelas situs, pengaruh situs untuk didefinisikan sebagai koefisien dalam SNI 1726: 2019, sehingga didapat nilai F_{PGA} sebesar 1,4 maka:

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA$$

$$PGA_M = 1,4 \cdot 0,4$$

$$PGA_M = 0,56 \text{ g}$$

D. Penskalaan Percepatan Puncak Permukaan Tanah

Berdasarkan SNI 1726: 2019, mengenai parameter respons menetapkan bahwa setiap gerakan tanah dalam analisis harus dikalikan (diskalakan) dengan I/R (sesuai konsep desain kapasitas).

$$PGA_{Mscale} = PGA_M \cdot \frac{I}{R}$$

$$PGA_{Mscale} = 0,56 \text{ g} \cdot \frac{1}{7}$$

$$PGA_{Mscale} = 0,080 \text{ g}$$

E. Faktor Skala

Percepatan gempa maksimum dari akselerogram yang sudah dipilih harus dilakukan faktor skala agar dapat disetarakan dengan percepatan tanah maksimum sesuai dengan kondisi tanah yang ditinjau.

$$F_s = PGA_M(\text{diskalakan}) \cdot PGA_{Mmax}$$

Tabel 8.1

Faktor Skala (PGA) Time History

Data Gempa	Arah	PGA Max	PGAm scaled	Faktor Skala
Imperial Valley	X	0,281	0,080	0,02248
	Y	0,178	0,080	0,01424
Morgan Hill	X	0,081	0,080	0,00648
	Y	0,04	0,080	0,0032
Kobe	X	0,37	0,080	0,0296
	Y	0,32	0,080	0,0256
Loma	X	0,48	0,080	0,0384
	Y	0,10	0,080	0,008
New Zealand	X	0,19	0,080	0,0152
	Y	0,28	0,080	0,0224
Northridge	X	0,85	0,080	0,068
	Y	0,16	0,080	0,0128
San Fernando	X	0,025	0,080	0,002
	Y	0,020	0,080	0,0016
Manjil	X	0,51	0,080	0,0408
	Y	0,53	0,080	0,0424
Dusce	X	0,74	0,080	0,0592
	Y	0,20	0,080	0,016
Trinidad	X	0,06	0,080	0,0048
	Y	0,14	0,080	0,0112

Data Gempa	Arah	PGA Max	PGAm scaled	Faktor Skala
Helena	X	0,16	0,080	0,0128
	Y	0,09	0,080	0,0072

Sumber: Hasil Olahan Data Penelitian, 2023.

F. Gaya Geser (*Base Shear Reaction*)

Base shear reaction merupakan hubungan antara beban lateral dengan waktu serta *displacement* yang terjadi saat proses analisis, gaya geser pada semua *Analysis Time History* dapat dilihat pada tabel berikut:

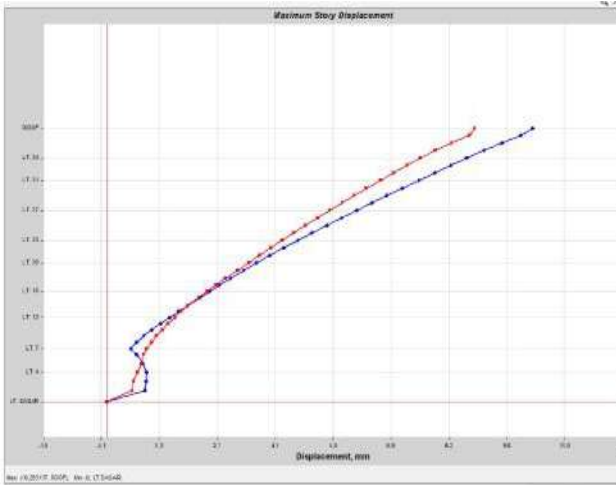
Tabel 8.2
Base Shear dan Displacement

Gempa	Arah	Base Shear (kN)	Displacement (mm)	Displacement (m)
Morgan Hill	X	18,4064	10,305	0,010305
	Y	39,1126	8,905	0,008905
Helena	X	693,1134	11,692	0,011692
	Y	438,1336	9,136	0,009136
Loma	X	457,959	10,359	0,010359
	Y	268,345	9,0991	0,009991
Kobe	X	42,8816	10,75	0,01075
	Y	246,1307	8,807	0,00807
Imperial Valley	X	4520,306	9,987	0,00987
	Y	2150,7467	9,118	0,009118
San Fernando	X	10817,346	10,175	0,010175
	Y	24350,601	41,735	0,041735
Manjil	X	224,9598	9,987	0,009987
	Y	10,176	82,838	0,082838
New Zealand	X	480,5906	10,66	0,01066
	Y	21,5114	10,471	0,010471
Dusce	X	12,025	10,186	0,01086
	Y	34,208	8,807	0,008807
Northridge	X	165,693	10,175	0,01175
	Y	493,534	8,807	0,008807
Trinidad	X	2103,8453	10,359	0,010359
	Y	3645,9638	9,099	0,009099

Sumber: Hasil Olahan Data Penelitian, 2023.

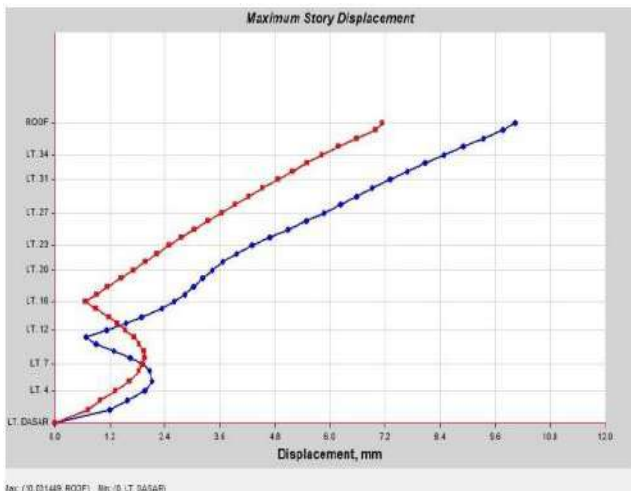
G. Displacement

Dari hasil analisis *nonlinear Time History* didapatkan nilai *displacement* dari gempa arah X dan Y sebagai berikut:



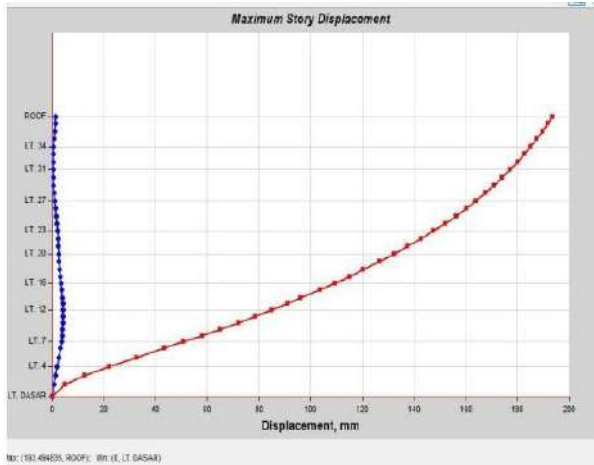
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.23
Maximum Displacement Morgan Hill



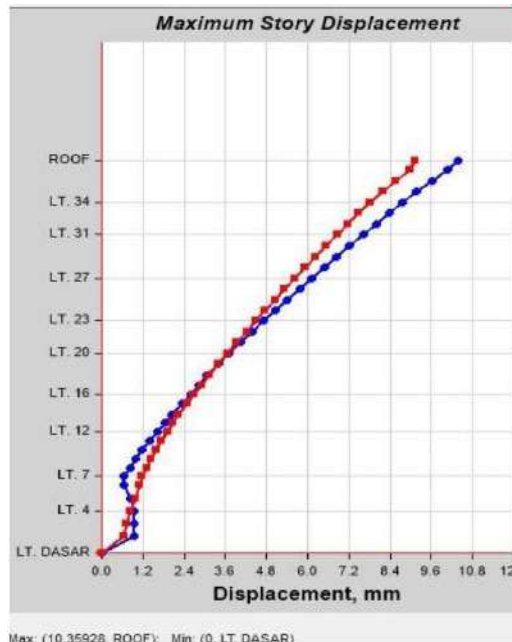
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.24
Maximum Displacement Helena



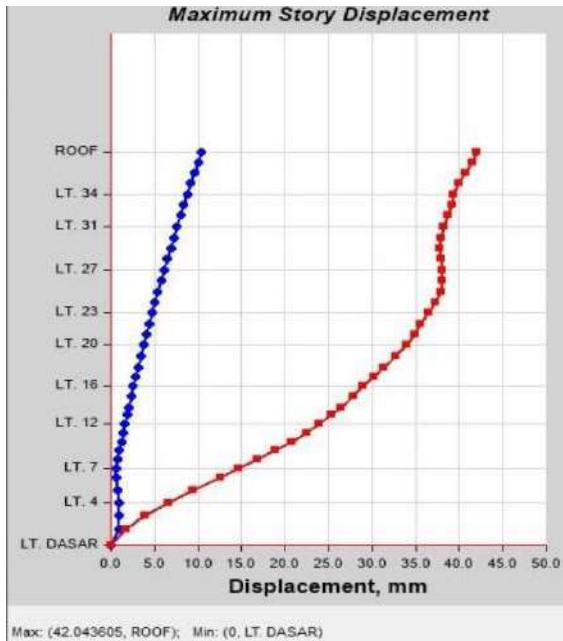
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.25
Maximum Displacement Loma



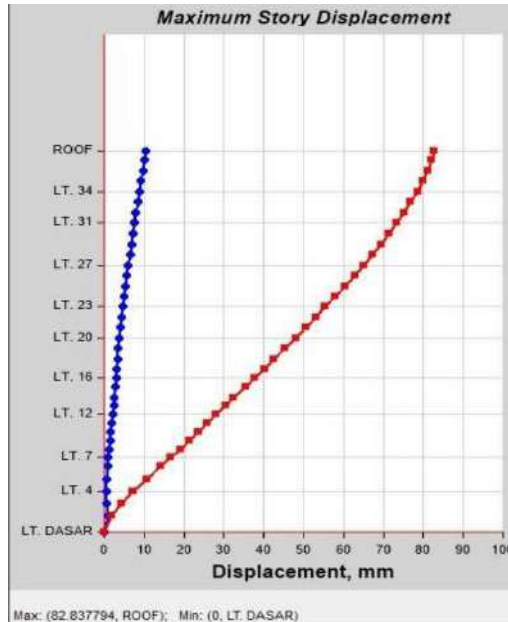
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.26
Maximum Displacement Imperial Valley



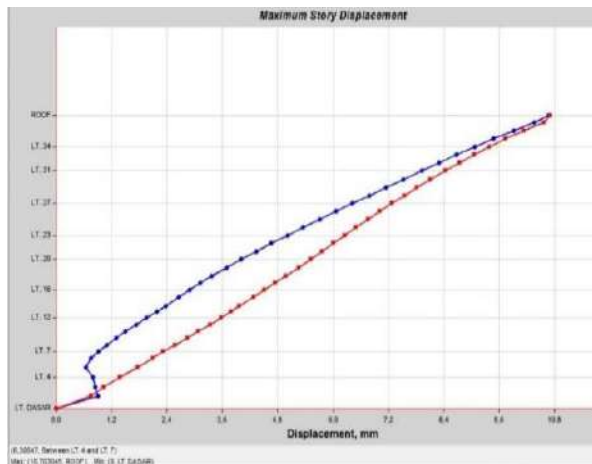
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.27
Maximum Displacement San Fernando



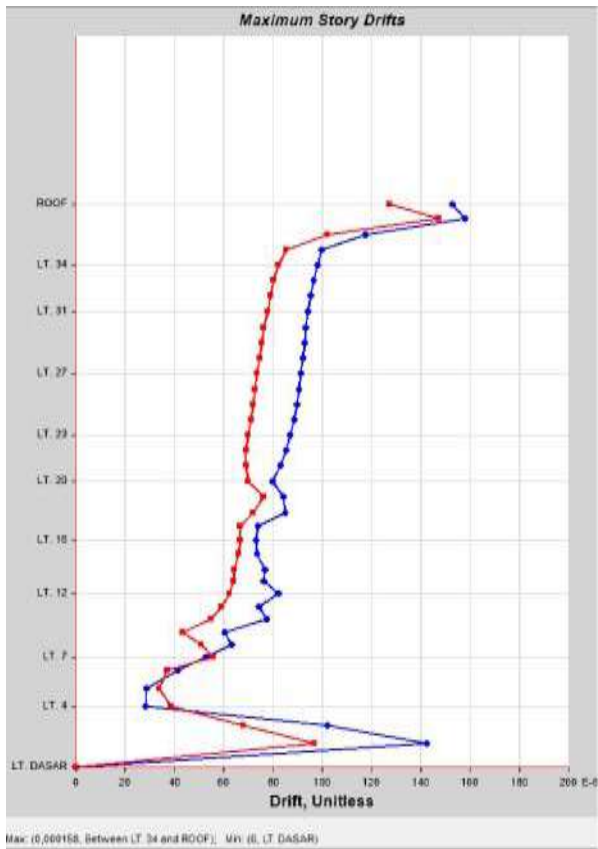
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.28
Maximum Displacement Manjil



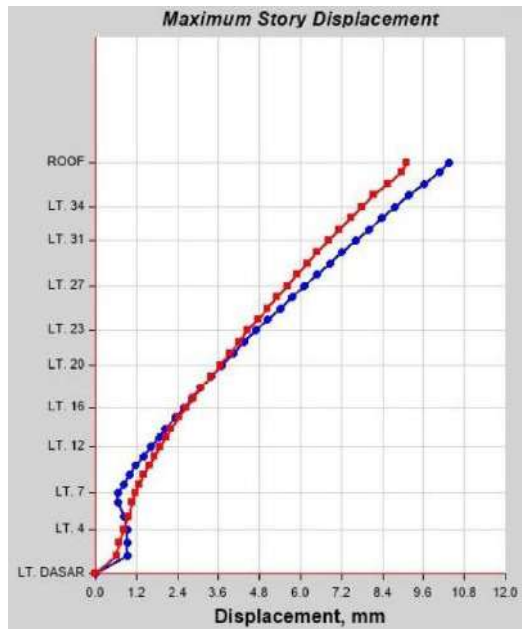
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.29
Maximum Displacement New Zealand



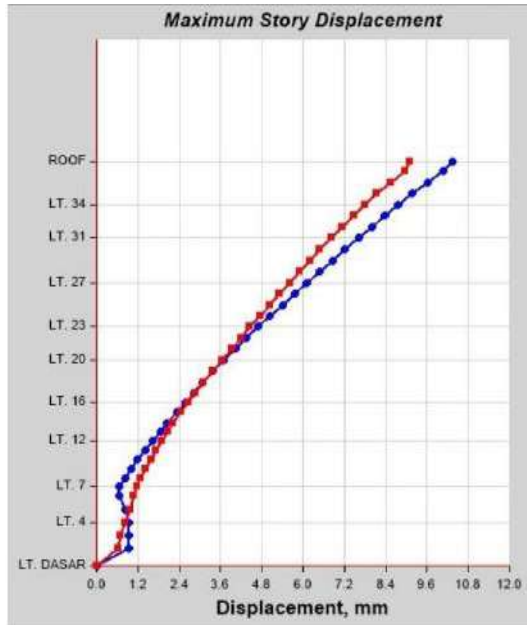
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.30
Maximum Displacement Dusce



Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.31
Maximum Displacement Northridge



Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.32
Maximum Displacement Trinidad

H. Drift Story

Dari hasil analisis *nonlinear Time History* didapatkan nilai *drift story* dari gempa arah X dan Y sebagai berikut:

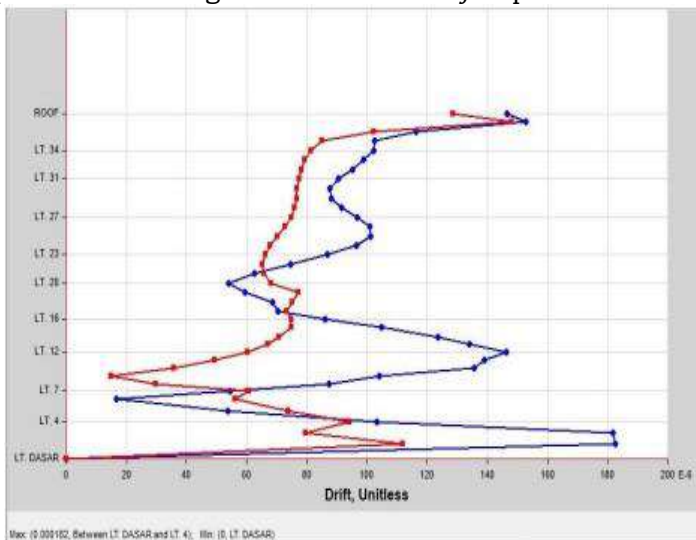
Tabel 8.3
Story Drift Time History

Gempa	Arah	Drift (m)
Morgan Hill	X	0,000153
	Y	0,000127
Helena	X	0,000182
	Y	0,000157
Loma	X	0,000166
	Y	0,000554
Kobe	X	0,000136
	Y	0,000126

Gempa	Arah	Drift (m)
Imperial Valley	X	0,000164
	Y	0,000127
San Fernando	X	0,000324
	Y	0,000228
Manjil	X	0,00384
	Y	0,000189
New Zealand	X	0,000129
	Y	0,000124
Dusce	X	0,00011
	Y	0,000153
Northridge	X	0,000127
	Y	0,000261
Trinidad	X	0,000656
	Y	

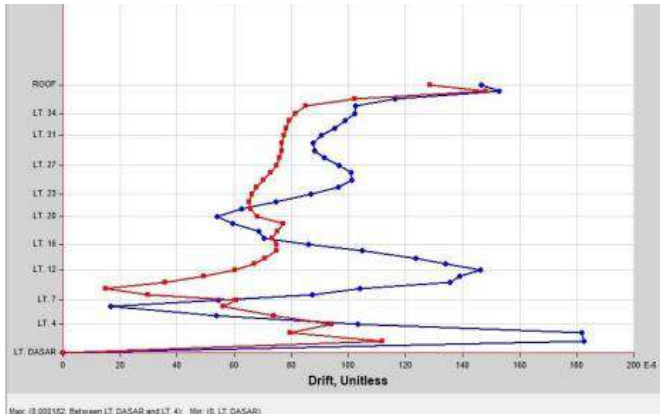
Sumber: Hasil Olahan Data Penelitian, 2023.

Dari hasil analisis dan perhitungan *drift story* diatas didapatkan hasil dan gambar *maximum drift* seperti berikut ini:



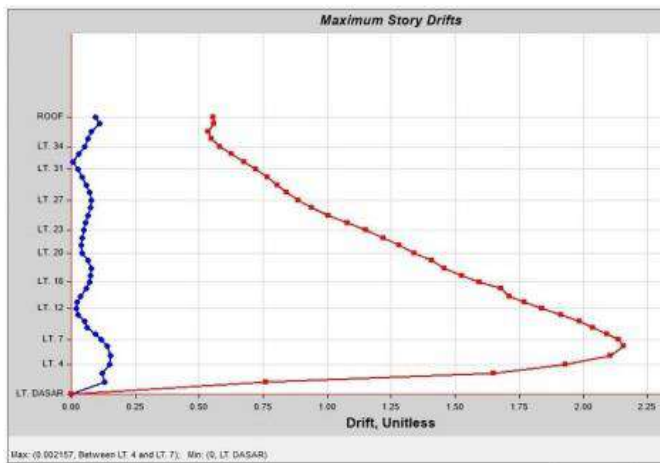
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.33
Maximum Drift Morgan Hill



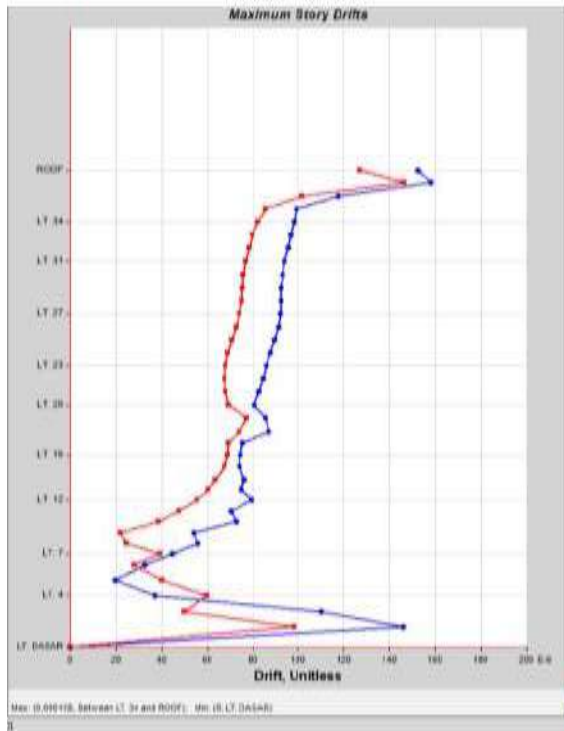
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.34
Maximum Drift Helena



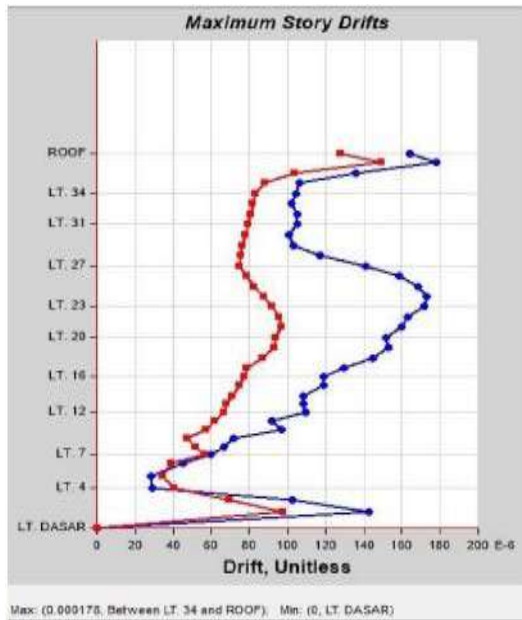
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.35
Maximum Drift Loma



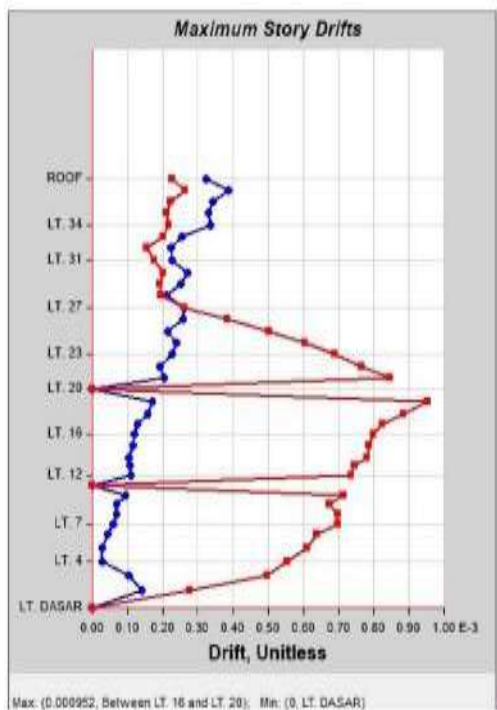
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.36
Maximum Drift Kobe



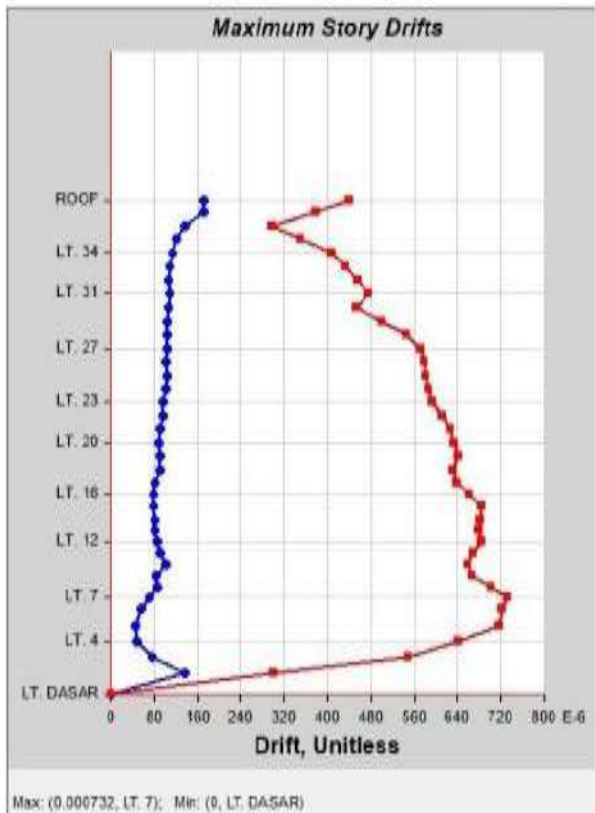
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.37
Maximum Drift Imperial Valley



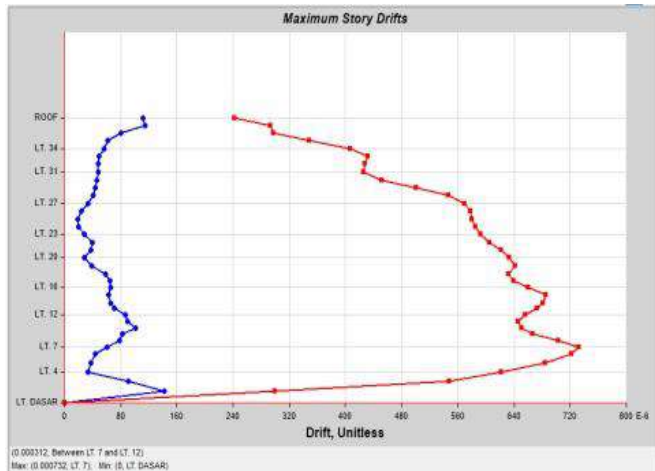
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.38
Maximum Drift San Fernando



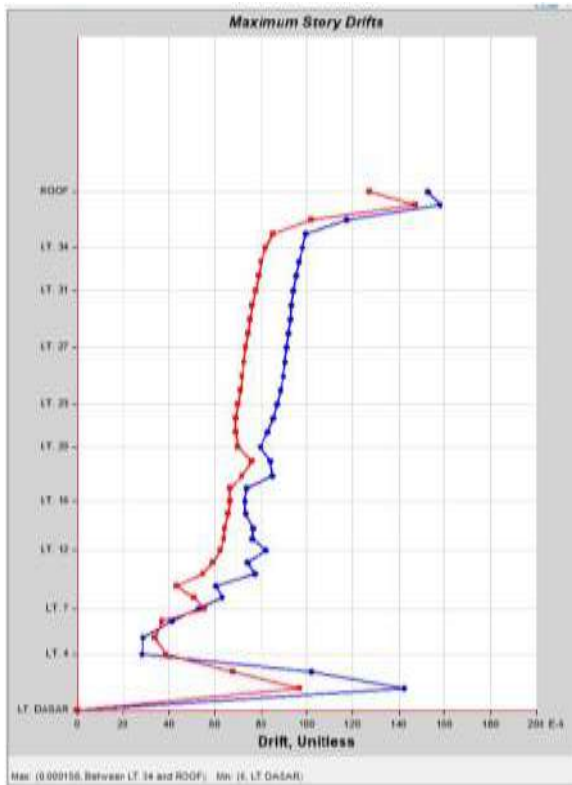
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.39
Maximum Drift Manjil



Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.40
Maximum Drift New Zealand



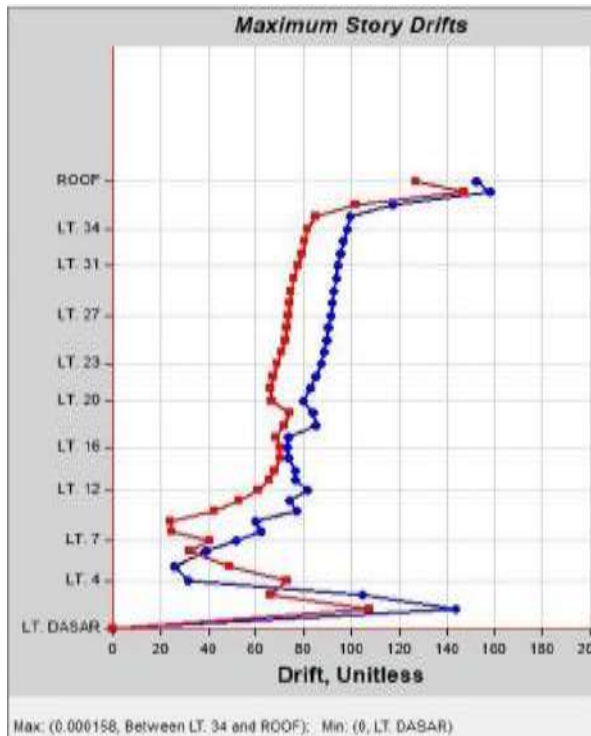
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.41
Maximum Drift Dusce



Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.42
Maximum Drift Northridge



Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.43
Maximum Drift Trinidad

Tabel 8.4
Drift Story Max dan Mix

Gempa	Arah	Drift Story (m)	
San Fernando	X	0,000324	Max
Dusce	X	0,000124	Min
Trinidad	Y	0,000656	Max
Dusce	Y	0,00011	Min

Sumber: Hasil Olahan Data Penelitian, 2023.

Dari hasil analisis *drift story*, gempa yang memiliki *drift* terbesar arah x ialah gempa San Fernando dengan nilai *drift*-nya sebesar 0,000324 m dan *drift* arah x yang memiliki nilai terkecil ialah gempa Dusce dengan nilai *drift*-nya sebesar 0,000124 m.

Untuk arah y *drift* terbesar ialah Trinidad dengan nilai *drift* 0,000656 m dan *drift* terkecil ialah Dusce dengan nilai driftnya 0,00011 m.

I. Evaluasi Kinerja Struktur Nonlinear *Time History* Berdasarkan ATC-40 dan *Drift Story*

Tabel 8.5
Batasan Kinerja Struktur

Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Control	LS	Structural Stability
Maksimum Total <i>Drift</i>	0,01	0,01 s.d 0,02	0,02	$0,03 \frac{V_i}{P_i}$
Maksimum Total Inelastik <i>Drift</i>	0,005	0,05 s.d 0,015	No limit	No Limit

Sumber: ATC-40.

Perhitungan level kinerja struktur gedung berdasarkan *drift* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus:

Maximum total *drift* pada sumbu X dan Y

$$\text{Total drift} = \frac{D_t}{H}$$

a) Morgan Hill

Maximum total *drift* pada sumbu X

$$\text{Drift} = \frac{D_t}{H}$$

$$\text{Drift} = \frac{0,000153}{154}$$

$$\text{Drift} = 0,000000994$$

Maximum total *drift* pada sumbu Y

$$\text{Drift} = \frac{D_t}{H}$$

$$\text{Drift} = \frac{0,000127}{154}$$

$$\text{Drift} = 0,000000825$$

- b) Helena
Maximum total *drift* pada sumbu X

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000182}{154}$$

$$Drift = 0,000001182$$

- Maximum total *drift* pada sumbu Y

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000157}{154}$$

$$Drift = 0,000001019$$

- c) Loma
Maximum total *drift* pada sumbu X

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000166}{154}$$

$$Drift = 0,000001078$$

- Maximum total *drift* pada sumbu Y

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000554}{154}$$

$$Drift = 0,00000356$$

- d) Kobe
Maximum total *drift* pada sumbu X

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000136}{154}$$

$$Drift = 0,000000883$$

- Maximum total *drift* pada sumbu Y

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000126}{154}$$

$$Drift = 0,000000081$$

e) Imperial Valley

Maximum total *drift* pada sumbu X

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000164}{154}$$

$$Drift = 0,000001065$$

Maximum total *drift* pada sumbu Y

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000127}{154}$$

$$Drift = 0,0000000825$$

f) San Fernando

Maximum total *drift* pada sumbu X

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000324}{154}$$

$$Drift = 0,000002104$$

Maximum total *drift* pada sumbu Y

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000228}{154}$$

$$Drift = 0,000001481$$

g) Manjil

Maximum total *drift* pada sumbu X

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000134}{154}$$

$$Drift = 0,000000870$$

Maximum total *drift* pada sumbu Y

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,00384}{154}$$

$$Drift = 0,00002468$$

h) New Zealand

Maximum total *drift* pada sumbu X

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000189}{154}$$

$$Drift = 0,000001227$$

Maximum total *drift* pada sumbu Y

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000129}{154}$$

$$Drift = 0,000000838$$

i) Dusce

Maximum total *drift* pada sumbu X

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000124}{154}$$

$$Drift = 0,000000805$$

Maximum total *drift* pada sumbu Y

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,00011}{154}$$

$$Drift = 0,0000007145$$

- j) Northridge
Maximum total *drift* pada sumbu X

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000153}{154}$$

$$Drift = 0,000000994$$

- Maximum total *drift* pada sumbu Y

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000127}{154}$$

$$Drift = 0,000000825$$

- k) Trinidad
Maximum total *drift* pada sumbu X

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000261}{154}$$

$$Drift = 0,000001695$$

- Maximum total *drift* pada sumbu Y

$$Drift = \frac{D_t}{H}$$

$$Drift = \frac{0,000656}{154}$$

$$Drift = 0,000004259740$$

Berdasarkan *performance* level arah X diatas dapat disimpulkan bahwa dari 11 gempa *Time History* masuk ke dalam kategori IO (*Immediate Occupany*) yang dimana nilai *Drift Story* masuk dalam skala 0-0,01 sesuai ketentuan dan berdasarkan ATC -40 sehingga struktur masih dapat dikatakan aman atau dapat diartikan jika terjadi gempa bumi struktur gedung tersebut tidak akan mengalami kerusakan struktur dan non struktural sehingga bangunan tersebut masih aman untuk dioperasikan.

Tabel 8.6
Level Kinerja Struktur Gedung Arah X Berdasarkan ATC-40

Gempa	Dt (m)	Maximum Drift	Level Kinerja
Morgan Hill	0,000153	0,000000994	IO
Helena	0,000182	0,000001182	IO
Loma	0,000166	0,000001078	IO
Kobe	0,000136	0,000000883	IO
Imperial Valley	0,000164	0,000001065	IO
San Fernando	0,000324	0,000002104	IO
Manjil	0,000134	0,000000870	IO
New Zealand	0,000189	0,000001227	IO
Dusce	0,000124	0,000000805	IO
Northridge	0,000153	0,000000994	IO
Trinidad	0,000261	0,000001695	IO

Sumber: Hasil Olahan Data Penelitian, 2023.

Berdasarkan *performance* level arah Y diatas dapat disimpulkan bahwa dari 11 gempa *Time History* masuk ke dalam kategori IO (*Immediate Occupany*) yang dimana nilai *Drift Story* masuk dalam skala 0-0,01 sesuai ketentuan dan berdasarkan ATC -40.

Sehingga struktur masih dapat dikatakan aman atau dapat diartikan jika terjadi gempa bumi struktur gedung tersebut tidak akan mengalami kerusakan struktur dan non struktural sehingga bangunan tersebut masih aman untuk dioperasikan kembali.

Tabel 8.7
Level Kinerja Struktur Gedung Arah Y Berdasarkan ATC-40

Gempa	Dt (m)	Maximum Drift	Level Kinerja
Morgan Hill	0,000127	0,000000825	IO
Helena	0,000157	0,000001019	IO
Loma	0,000554	0,000000356	IO
Kobe	0,000126	0,000000081	IO
Imperial Valley	0,000127	0,000000825	IO

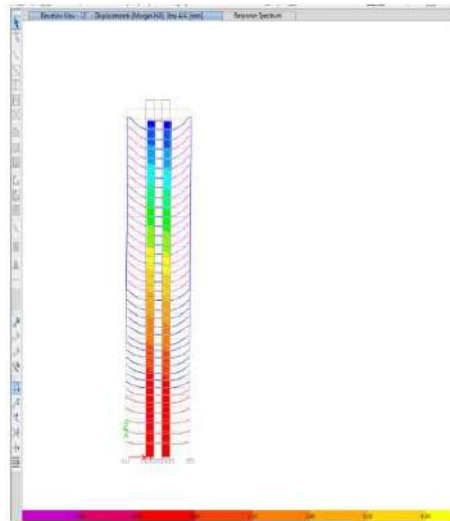
Gempa	Dt (m)	Maximum Drift	Level Kinerja
San Fernando	0,000228	0,000001481	IO
Manjil	0,000384	0,0002468	IO
New Zealand	0,000129	0,000000838	IO
Dusce	0,00011	0,000007145	IO
Northridge	0,000127	0,000000825	IO
Trinidad	0,000656	0,00004259740	IO

Sumber: Hasil Olahan Data Penelitian, 2023.

J. Displacement dan Sendi Plastis

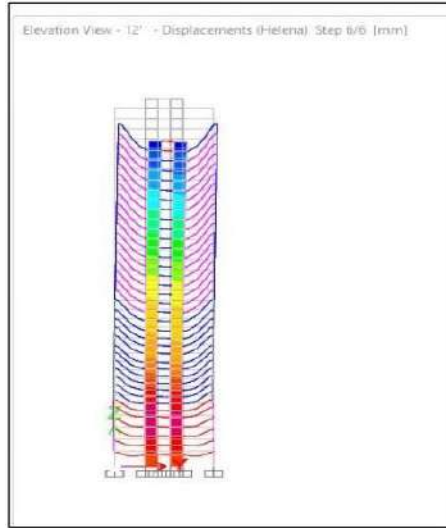
Dari analisis level kinerja *nonlinear time history*, dapat diketahui jumlah elemen struktur yang telah mengalami kerusakan pada setiap tahap peningkatan beban lateral saat kinerja sudah tercapai maksimum.

Jumlah elemen struktur yang mengalami sendi plastis yang terjadi pada elemen struktur sebagai berikut:



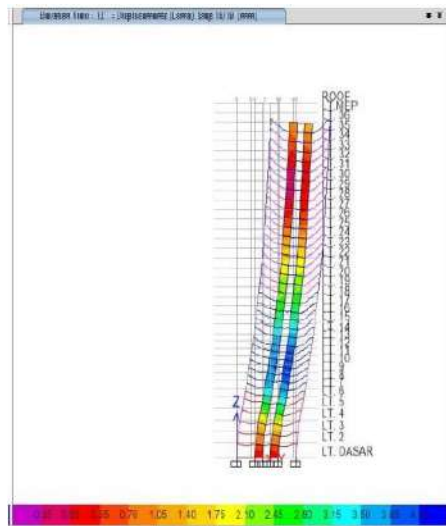
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.44
Displacement Step Terakhir Morgan Hill



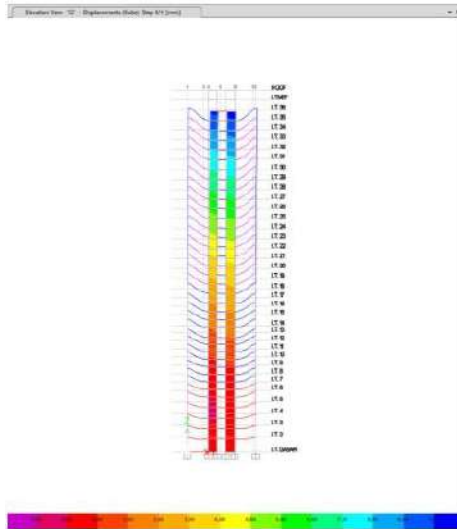
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.45
Displacement Step Terakhir Helena



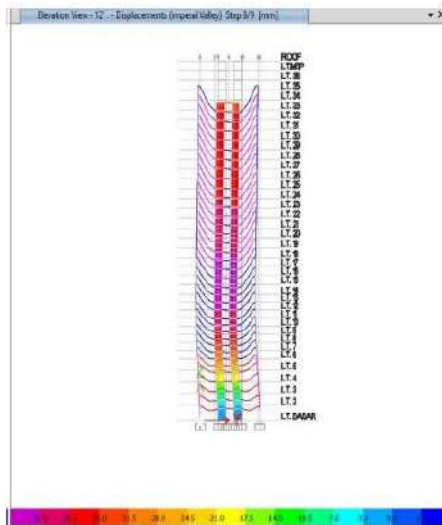
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.46
Displacement Step Terakhir Loma



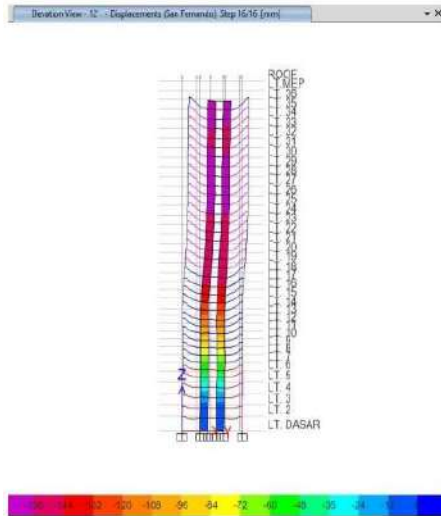
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.47
Displacement Step Terakhir Kobe



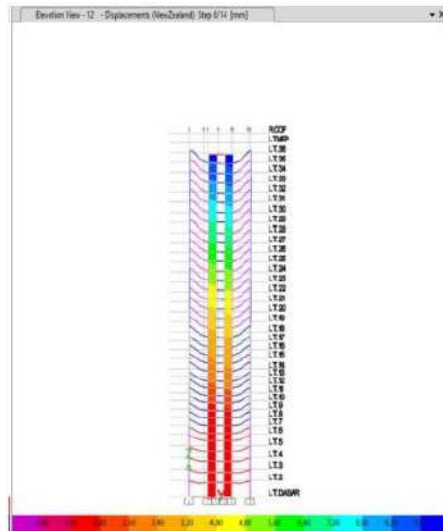
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.48
Displacement Step Terakhir Imperial Valley



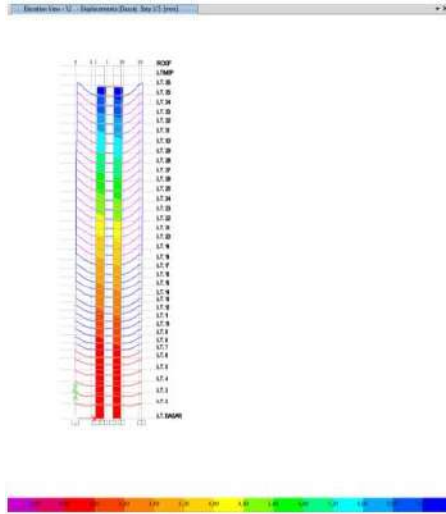
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.49
Displacement Step Terakhir San Fernando



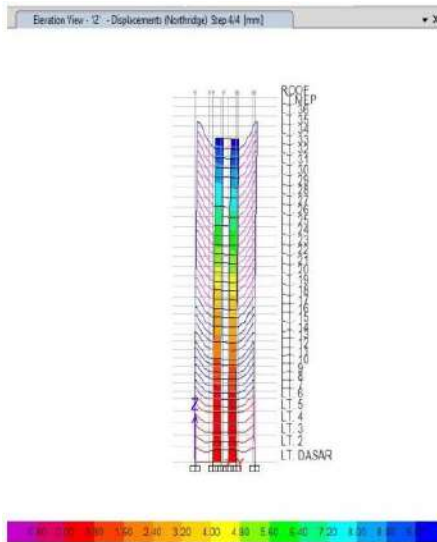
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.50
Displacement Step Terakhir New Zealand



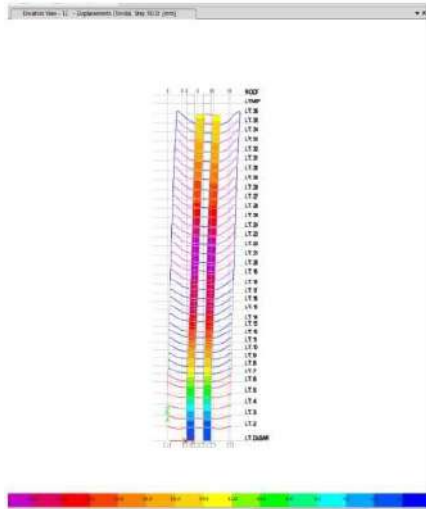
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.51
Displacement Step Terakhir Ductile



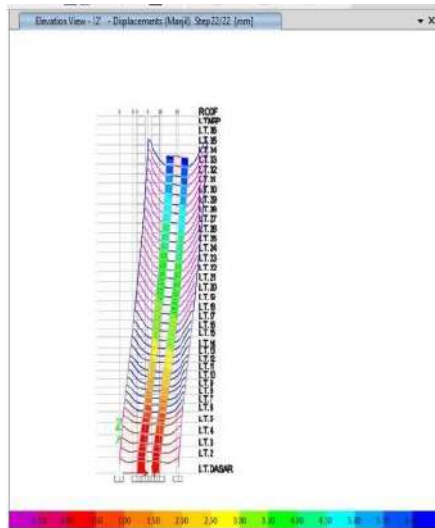
Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.52
Displacement Step Terakhir Northridge



Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.53
Displacement Step Terakhir Trinidad



Sumber: Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 8.54
Displacement Step Terakhir Manjil

BAB IX

Kinerja Statik *Nonlinear Pushover*

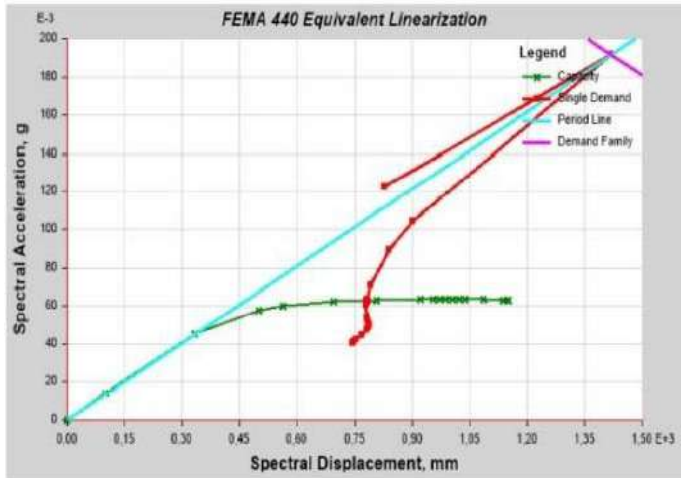
Analisis statik *nonlinear Pushover* (beban dorong) merupakan suatu cara analisis statik 2 (dua) atau 3 (tiga) dimensi yang bersifat linear maupun nonlinear.

Analisis statik *Pushover* ini bekerja dengan cara dimana pengaruh beban diberikan dan dianggap sebagai beban - beban statik yang diberikan pada pusat masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur hingga melampaui pembebanan yang akan menyebabkan terjadinya sendi plastis (pelelehan) pertama di dalam struktur gedung hingga gedung tersebut mencapai kondisi mendekati keruntuhan.

Setelah dilakukannya analisis *Pushover* sebelumnya, didapatkan hasil analisis berupa:

A. Menentukan Target Perpindahan

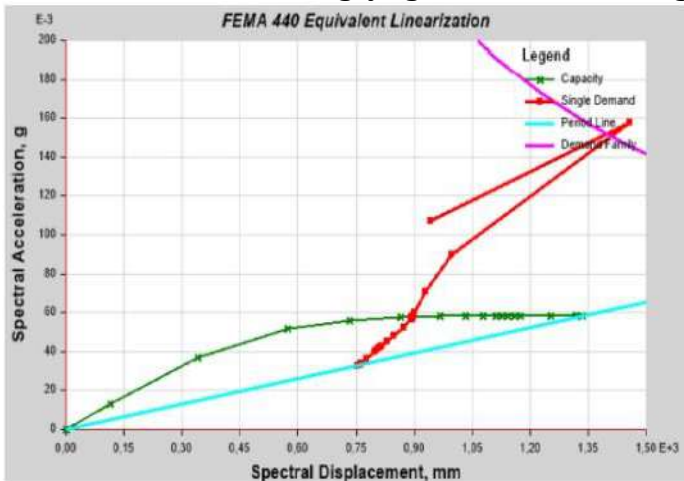
Berikut kurva kapasitas yang diperoleh dari ETABS 2018.



Sumber: Hasil Penelitian Terdahulu, 2023.

Gambar 9.1
Kurva Performance Point Arah X

Dari kurva diatas maka didapatkan *performance point* yaitu *displacement* = 981,665 mm dan gaya geser = 3596075,85 kgf.



Sumber: Hasil Penelitian Terdahulu, 2023.

Gambar 9.2
Kurva Performance Point Arah Y

B. Analisis Kinerja Statik *Nonlinear Pushover* Berdasarkan ATC-40

Tabel 9.1
Level Kinerja Berdasarkan ATC-40

Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Control	LS	Structural Stability
Maksimum Total <i>Drift</i>	0,01	0,01 s.d 0,02	0,02	$0,03 \frac{V_i}{P_i}$
Maksimum Total Inelastik <i>Drift</i>	0,005	0,05 s.d 0,015	No limit	No Limit

Sumber: *Applied Technology Council* (ATC-40)

Persamaan yang digunakan:

$$\text{Maksimal } Drift = \frac{D_t}{H_{Total}}$$

Keterangan:

D_t = displacement max (paling atas)

D_1 = displacement 2 lantai (lantai diatas penjepit lateral)

C. Evaluasi Kinerja Struktur Arah X

Batasan rasio *drift* atap yang dievaluasi dengan analisis ragam spektrum respons pada gedung, dengan maksimum total *drift* dan maksimum *inelastic drift*, maka:

$$\begin{aligned} \text{Maksimal } drift &= \frac{D_t}{H_{Total}} \\ &= \frac{981,665}{5400} \\ &= 0,00637438 \text{ mm} < 0,01 \text{ (IO)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maksimal } In-elastic \text{ Drift} &= \frac{D_t}{H_{Total}} \\ &= \frac{981,665 - 0}{5400} \\ &= 0,00637438 \text{ mm} < 0,01 \text{ (IO)} \end{aligned}$$

D. Evaluasi Kinerja Struktur Arah Y

Batasan rasio *drift* atap yang dievaluasi dengan analisis ragam spektrum respons pada gedung, dengan maksimum total *drift* dan maksimum *inelastic drift*, maka:

$$\begin{aligned} \text{Maksimal } drift &= \frac{D_t}{H_{Total}} \\ &= \frac{1190,315}{5400} \\ &= 0,007729 \text{ mm} < 0,01 \text{ (IO)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maksimal } in-elastic \text{ drift} &= \frac{D_t}{H_{Total}} \\ &= \frac{1190,315 - 0}{5400} \\ &= 0,0077298 \text{ mm} < 0,01 \text{ (IO)} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil evaluasi level kinerja struktur sesuai dengan *performance based design Applied Technology Council (ATC-40)* pada struktur arah X dan Y, untuk nilai maksimum *drift* dan maksimum *inelastic drift* pada arah X dan Y termasuk ke dalam kategori *level Immediate Occupancy (IO)* yang memiliki pengertian bahwa struktur bangunan aman, resiko terjadinya korban jiwa dari kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera dioperasikan kembali.

E. Analisis Kinerja Statik *Nonlinear Pushover* Berdasarkan FEMA-356

Berikut perhitungan target perpindahan berdasarkan batasan *displacement* dan *drift ratio*:

Tabel 9.2
Perbandingan Target Perpindahan Dengan Batasan *Displacement*

Kriteria	Target Perpindahan				Batasan <i>Displacement</i> 0,02 H (mm)
	X	%	Y	%	
Spektrum	981,655	31,87	1190,315	38,65	3080

Sumber: Analisis Penelitian Terdahulu.

Level kinerja struktur berdasarkan Fema-356 ditentukan melalui *roof drift ratio* yang diperoleh pada saat target perpindahan tercapai.

Tabel 9.3
Perbandingan Target Perpindahan Dengan Batasan *Roof Drift Ratio*

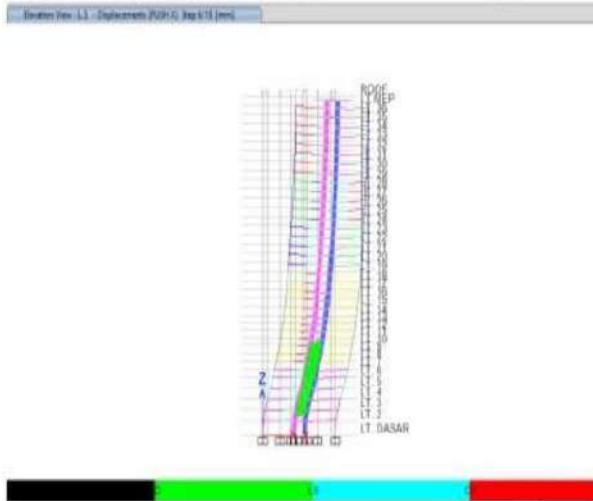
Metode Spektrum Kapasitas	Elevasi Gedung (mm)	Displacement (mm)	Roof drift ratio (%)	Level Kinerja Gedung (mm)
Arah X	154000	981,665	0,637	IO
Arah Y	154000	1190,315	0,773	IO

Sumber: Analisis Penelitian Terdahulu.

Nilai *roof drift ratio* yang dihasilkan pada analisis *Pushover* ini memiliki nilai lebih kecil dari 1%, sehingga dapat disimpulkan bahwa berdasarkan batasan simpangan yang disyaratkan oleh FEMA-356, *level* kinerja gedung pada saat target perpindahan tercapai adalah *immediate occupany*.

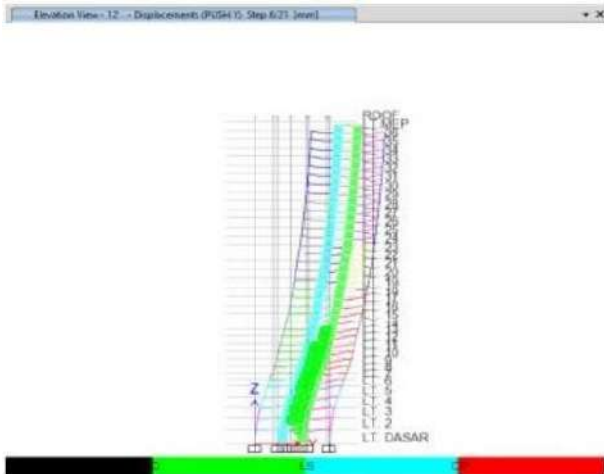
Kinerja gedung *immediate occupany* memiliki pengertian bahwa pada saat struktur gedung menerima beban gempa diharapkan tidak terjadi simpangan permanen, tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur sehingga bangunan dapat tetap berfungsi untuk digunakan kembali.

F. Sendi Plastis *Analysis Pushover*



Sumber: Hasil Penelitian Terdahulu

Gambar 9.3
Distribusi Sendi Plastis Pada Step-6 Arah X



Sumber: Hasil Penelitian Terdahulu

Gambar 9.4
Distribusi Sendi Plastis Pada Step-6 Arah Y

BAB X

Level Kinerja dengan *Nonlinear Time History* dan *Pushover*

1. Berikut hasil analisis *nonlinear Time History* berdasarkan ATC-40 dan *Pushover* antara ATC-40 dan FEMA-356.

Tabel 10.1

Hasil Perbandingan Analisis *Time History* dan *Pushover*

Kriteria	Arah	Target Perpindahan Total Drift (mm)	Level Kinerja
Morgan Hill	X	0,000000994	IO
	Y	0,000000825	IO
Helena	X	0,000000182	IO
	Y	0,000001019	IO
Loma	X	0,000001078	IO
	Y	0,000000356	IO
Kobe	X	0,000000883	IO
	Y	0,000000081	IO
Imperial Valley	X	0,000001065	IO
	Y	0,000000825	IO
San Fernando	X	0,000002104	IO
	Y	0,000001481	IO
Manjil	X	0,000000870	IO
	Y	0,00002493	IO
New Zealand	X	0,000001227	IO
	Y	0,000000838	IO
Dusce	X	0,000000805	IO
	Y	0,000007145	IO
Northridge	X	0,000000994	IO

Kriteria	Arah	Target Perpindahan Total Drift (mm)	Level Kinerja
	Y	0,000000825	IO
Trinidad	X	0,000001695	IO
	Y	0,000004259740	IO
Pushover ATC-40	X	0,00000637483	IO
	Y	0,000007729	IO
Pushover FEMA-356	X	0,000006370	IO
	Y	0,000007730	IO

Sumber: Olahan Data Hasil Penelitian, 2023.

Berdasarkan analisis *non-linear Time History* di atas, didapatkan nilai *drift* maksimum arah X dan Y dari setiap kriteria gempa bahwa struktur tersebut memenuhi target perpindahan untuk level kinerja. Hal ini dikarenakan nilai *drift ratio* struktur yang terjadi sesuai dengan syarat ATC-40 yaitu lebih kecil dari 1% atau 0,01, yang dimana memiliki pengertian bahwa batas simpangan yang disyaratkan berdasarkan tabel kinerja struktur gedung pada saat terkena beban gempa masuk kedalam kategori IO (*Immediate Occupany*). Berikut adalah hasil analisis dengan beban gempa *non-linear Time History* Morgan Hill, Helena, Loma, Kobe, Imperial Valley, San Fernando, Manjil, New Zealand, Dusce, Northridge, dan Trinidad (diambil nilai yang paling maximum).

Tabel 10.2
Perbandingan Hasil Analisis

Kriteria	Arah	Displacement (mm)	Base Shear (kgf)
Statik Equivalen	X	430,773	21893,087
	Y	492,465	21867,5171
Pushover	X	981,665	3596075,85
	Y	1190,315	3596075,85
Nonlinear Time History San Fernando	X	10,175	10817,346
	Y	41,735	24350,601

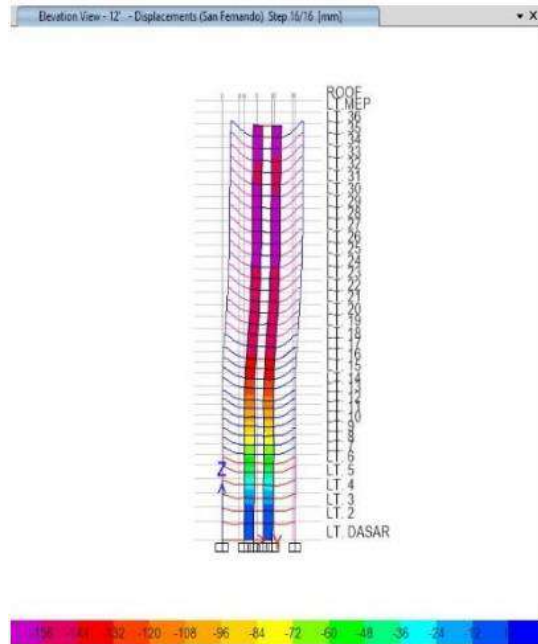
Sumber: Hasil Olahan Data Penelitian, 2023.

Berdasarkan tabel diatas, setelah dilakukannya analisis kemudian dibandingkan antara ketiga metode tersebut, secara umum hasil perpindahan *drift* dan *base shear non-linear Time History* lebih kecil sehingga lebih rasional dibandingkan analisis *Pushover* dan statik ekuivalen yang nilai *displacement* dan *base shear*-nya lebih besar sehingga jika dibuat analisis tidak lebih rasional.

2. Perbandingan analisis *nonlinear Time History* dengan analisis *Pushover* berdasarkan sendi plastis terakhir dan *displacement* terbesar.

a. Gempa San Fernando

Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan, gambar dibawah ini menjelaskan bahwa struktur bangunan tersebut jika diberi gempa San Fernando mengalami *displacement* maximum arah X sebesar 10,175 dan arah Y sebesar 41,735 yang dimulai pada Lantai 17 dan tidak mengalami terjadinya sendi plastis.

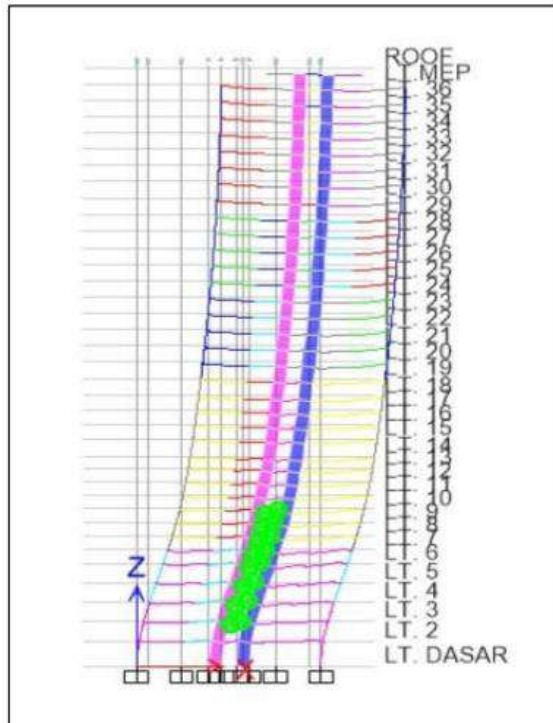


Sumber: Hasil Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 10.1
Displacement San Fernando

b. Push X

Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan, gambar dibawah ini, menjelaskan bahwa jika diberi beban gempa statik *push X* pada step terakhir, struktur mengalami *displacement* dimulai pada lantai dasar dan mengalami terjadinya sendi plastis pada balok hingga lantai 10.

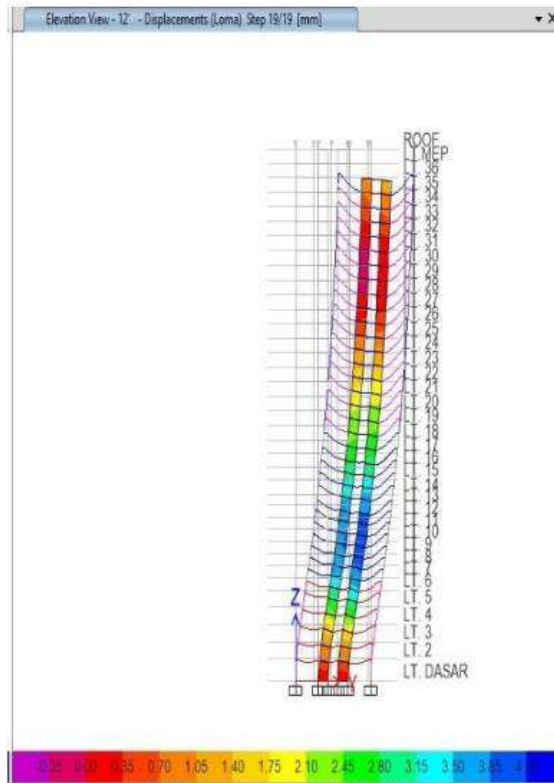


Sumber: Hasil Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 10.2
Displacement Push Arah X

c. Gempa Loma

Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan, gambar dibawah ini, menjelaskan bahwa jika diberi beban gempa Loma pada *step* terakhir struktur mengalami *displacement* maximum arah X sebesar 10,359 dan arah Y sebesar 9,0991 dimulai pada lantai 3 dan tidak mengalami sendi plastis.

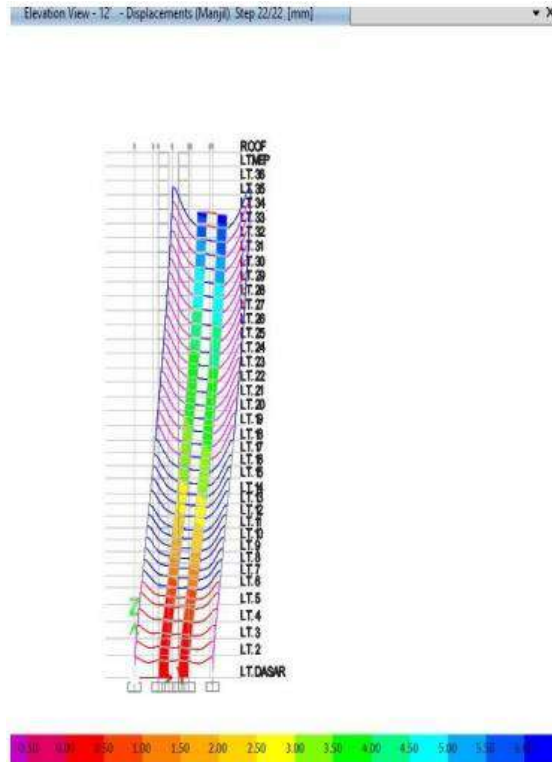


Sumber: Hasil Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 10.3
Displacement Gempa Loma

d. Gempa Manjil

Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan, gambar dibawah ini, menjelaskan bahwa jika diberi beban gempa Manjil pada *step* terakhir struktur mengalami *displacement* maximum arah X sebesar 9,987 dan arah Y sebesar 82,838 dimulai pada lantai 3 dan tidak mengalami sendi plastis.



Sumber: Hasil Output ETABS V.18.1.1, 2023.

Gambar 10.4
Displacement Gempa Manjil

Check dan Re-Check Struktur Setelah Dianalisis

1. Pengecekan Tulangan

Pengecekan tulangan dapat dilakukan sebelum dan sesudah dilakukannya analisis pada struktur tersebut. Pengecekan tulangan ini dilakukan dengan tujuan mengetahui kapasitas tulangan tersebut masih cukup, aman atau tidak. Pengecekan tulangan ini dapat dilakukan dengan cara klik *start design check*. Setelah dilakukannya pengecekan tulangan pada beban gempa *Time History* yang memiliki *displacement* terbesar yaitu San Fernando dan Manjil pada *start design check* tidak ditemukannya *O/S* yang dimana memiliki pengertian bahwa tulangan yang terdapat pada struktur gedung tersebut jika diberi gempa *Time History* masih dalam keadaan aman dan didesain dengan baik.

2. Pengecekan Ketidakberaturan Torsi

Torsi merupakan efek momen puntiran yang terjadi pada penampang tegak lurus terhadap sumbu utama. Berdasarkan hasil pengecekan torsi pada kolom struktur bangunan *office* didapatkan hasil bahwa struktur tidak mengalami ketidakberaturan torsi pada arah X dan Y yang berlebih pada semua beban gempa yang digunakan.

3. Perbandingan *Time History* New Zealand dan San Fernando

Indonesia merupakan negara yang dimana dapat menyebabkan gempa *Megathrust* yang dikenal sebagai gempa dengan kekuatan besar yang terjadi pada lempeng bumi yang posisinya saling tumpang tindih. Hal tersebut juga dialami oleh Selandia Baru (New Zealand), maka dari itu dapat dikatakan Indonesia dengan Selandia Baru memiliki karakteristik tanah dan gempa yang sama.

Dengan adanya hal diatas, maka diperlukannya untuk membandingkan anatara hasil analisis *Time History* pada New Zealand dengan *Time History* yang memiliki *displacement* terbesar yaitu San Fernando. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, didapat bahwa hasil nilai *displacement* New Zealand arah X sebesar 10,66 dan arah Y 10,471 sehingga nilai *displacement* pada kedua gempa tersebut memiliki selisih arah X sebesar 0,485 dan untuk arah Y memiliki selisih 31,26.

BAB XI

Penutup

Analisis *Time History* telah memungkinkan kita untuk melihat dinamika struktural gedung secara rinci selama periode gempa bumi. Dengan memodelkan respons gedung terhadap data seismik yang sebenarnya, kita dapat mengidentifikasi tingkah laku kritis dalam elemen struktural dan mengevaluasi sejauh mana ketahanannya. Temuan dari analisis ini memberikan wawasan yang berharga tentang perilaku gedung Office 36 lantai dalam situasi gempa, memperkuat pemahaman kita tentang distribusi deformasi dan respons dinamik yang kompleks.

Pentingnya Analisis *Pushover*

Pendekatan *Pushover* telah membantu kita memahami kapasitas dan perilaku struktural secara keseluruhan. Analisis ini menggambarkan evolusi kapasitas struktural dan pembentukan mekanisme plastis dalam merespons beban lateral. Dengan mengeksplorasi batas kekuatan dan kapasitas deformasi, kita dapat mengidentifikasi titik kelemahan potensial dalam gedung, yang merupakan landasan bagi perencanaan perbaikan dan penguatan.

Sinergi Antar Metode

Kombinasi analisis *Time History* dan *Pushover* memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang kinerja struktur gedung. Integrasi temuan dari kedua metode tersebut memungkinkan kita untuk merinci aspek global dan lokal, memberikan landasan yang kokoh untuk pengambilan keputusan rekayasa. Hasil analisis ini tidak hanya memberikan pemahaman mendalam terhadap kinerja struktur gedung Office 36 lantai saat ini, tetapi juga memberikan

kontribusi terhadap peningkatan metode perencanaan dan perancangan struktur bangunan di masa depan.

Tantangan dan Peluang Masa Depan

Kita harus mengakui bahwa dunia rekayasa struktural terus berkembang. Tantangan baru dan situasi gempa bumi yang berbeda mungkin menghadang, memerlukan adaptasi dan inovasi dalam *praktik* rekayasa. Oleh karena itu, eksperimen lapangan, dan pengembangan model numerik tetap menjadi kebutuhan mendesak untuk meningkatkan ketahanan struktural bangunan tinggi.

Daftar Pustaka

- Anggen, W. S., Setiya Budi, A., dan Gunawan, P. (2014). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik *Time History* Menggunakan ETABS (Studi Kasus: Hotel Di Daerah Karanganyar). September, 313.
- ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings by Applied Technology Council (z-lib.org). (n.d.).
- Baehaki, B., Soelarlo, S., dan Fitria, N. (2018). Analisis Perilaku Struktur Pada Sistem Ganda Apartemen 9 Lantai Menggunakan Metode *Time History Analysis* Sesuai Peraturan SNI 1726:2012. *Jurnal Fondasi*, 7(1).
<https://doi.org/10.36055/jft.v7i1.3304>
- Batam, N., dan Beban, A. (2021). “Kampus Terpadu Dan Kuliah Politeknik Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil Oleh:
- Bayyinah, D.A.L.N., dan Faimun, F. (2017). Studi Perbandingan Analisis Respons Spektra dan *Time History* Untuk Desain Gedung. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1), 33-38.
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i1.21617>
- Faizah, R. (2015). Studi Perbandingan Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik *Time History* pada Gedung Bertingkat di Yogyakarta. 18(2), 190-199.
- Huret, R. (2017). 5. Federal Emergency Management Agency. Katrina, 2005, November, 163-189.
<https://doi.org/10.4000/books.editionsehess.93>
- Istiono, H. (1), dan Ramadhan Yusuf, A. (2). (2020). Analisis Pengaruh P-Delta Effect Terhadap Ketinggian Gedung Tahan Gempa (Studi Kasus: Non-Highrise Building).
- Kayhan, A. H., Demir, A., dan Palanci, M. (2018). Statistical evaluation of maximum displacement demands of SDOF systems by code-compatible nonlinear *Time History Analysis*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 115(September 2017), 513– 530.

<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.09.008>

Mahbubah, A. Z., Faimun, I., Sc, M., Ph, D., Sadjji, I., dan Balakang, A. L. (2013). (Studi Kasus: Apartemen Puncak Kertajaya). 1(1), 1–6.

Mahega, 2020. (n.d.). 3 : 4700. 46–294.

Rendra, R., Kurniawandy, A., dan Djauhari, Z. (2015). Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa Dengan Metode Respons Spektrum Dan *Time History* (Studi Kasus: Hotel SKA Pekanbaru). In *Jom Fteknik* (Vol. 2, Issue 2).

Tugas, R., Metode, D., dan *Analysis*, P. (2021). Studi Kasus: Proyek Gedung Office Holland Village.

Profil Penulis



Yonas Prima Arga Rumbyarso S.T., M.T., M.M. lahir di Jakarta 28 Agustus 1978 sekarang bertempat tinggal di Jalan Haji Ipin No.33 RT 11 RW 01 Kelurahan Pondok Labu 12450 Kecamatan Cilandak Kotamadya Jakarta Selatan Provinsi DKI Jakarta. Untuk kontak penulis dapat menghubungi email sebagai berikut: yonasprima@unkris.ac.id; primusindonesiaku@gmail.com.

Mata kuliah yang diampu oleh beliau antara lain: Struktur Beton, Beton Prategang / Beton Prestress, Mekanika Bahan, Gambar Teknik, Perancangan Bangunan Sipil, Ekonomi Teknik.

Penulis adalah Dosen Tetap pada Program Studi Teknik Sipil dan Kepala Laboratorium Arsitektur, Teknik Sipil dan Perencanaan Wilayah Perkotaan Universitas Krisnadwipayana. Pendidikan formal Teknik Sipil dan Magister Manajemen diselesaikan di Universitas Krisnadwipayana serta Magister Teknik Industri di Universitas Mercubuana Jakarta. Saat ini penulis kembali melanjutkan studi di Program Magister Hukum Universitas Krisnadwipayana dan Program Doktor Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Selama menjadi dosen sudah banyak jurnal penelitian dan buku yang dihasilkannya, diantaranya adalah *Infrastruktur Pembaharu Silica Fume in Asphalt Concrete-Wearing Course* (2022), *Penyuluhan Tentang Pentingnya Sebuah Konstruksi Bangunan Rumah Yang Baik Serta Tahan Gempa* (2022), *Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Bore Pile Pada Proyek Gedung STT Wastukencana* (2022), *Analisis Tebal Perkerasan Lentur Pada Jalan Tol Akses Menuju Bandara Internasional Kertajati* (2022), *Analysis Of Compressive Strength Of Concrete By Using Slag Circum As A Concrete Aggregate Mix* (2022), *Effect Of Receivable Turnover on Company Profitability with Return on Assets As Moderation Variables*, *Analisis Pengaruh*

Penggunaan Cangkang Telur Bebek Ras Petelur Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton (2021), Perencanaan Struktur Bangunan Atas (Upper Structure) Gedung STIE Bank BPD Jateng Kota Semarang (2021).

Hingga kini penulis aktif bergabung dalam organisasi profesi yaitu *Ikatan Quantity Surveyor Indonesia, Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia, Persatuan Insinyur Indonesia, Asosiasi Dosen Indonesia*. Selain sebagai akademisi, penulis juga pernah terlibat sebagai praktisi dalam pembangunan proyek diantaranya adalah Hotel Marrior Likupang Manado, Hotel Labersa dan Wahana Water Park Balige Sumatera Utara, Kota Kasablanka Jakarta Selatan, Proyek Perumahan Kota Podomoro Tenjo.