

## TUGAS AKHIR

# PERILAKU SENDI PALASTIS ELEMEN PANEL ZONE STRUKTUR BAJA SRPMK AKIBAT GEMPA DEKAT (*Studi Literatur*)

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

**CINDY FAUZIYAH LANGGRAINI**  
2007210112



# UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2024

## LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Cindy Fauziyah Anggraini  
Npm : 2007210112  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Perilaku Sendi Plastis Elemen Panel Zone Struktur  
Baja SRPMK Akibat Gempa Dekat  
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Disetujui Untuk Disampaikan  
Kepada Panitia Ujian:

Medan, Oktober 2024  
Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

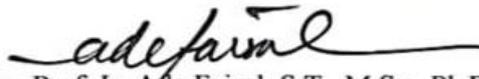
## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Cindy Fauziyah Anggraini  
Npm : 2007210112  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Perilaku Sendi Plastis Elemen Panel Zone Struktur Baja  
SRPMK Akibat Gempa Dekat  
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2024  
Mengetahui dan Menyetujui  
Dosen Pembimbing



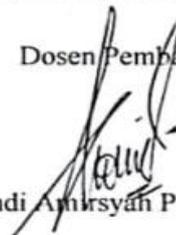
Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembanding 1



Dr. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc.

Dosen Pembanding 2



Ir. Tondi Amirsyan Putera, S.T., M.T.

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Assoc. Prof. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Cindy Fauziyah Anggraini  
Tempat, Tanggal Lahir : Karang Sari, 20 Januari 2003  
Npm : 2007210112  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Perilaku Sendi Plastis Elemen Panel Zone Struktur Baja SRPMK Akibat Gempa Dekat.”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan nonmaterial serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang di bentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan atau keserjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2024

Saya yang menyatakan,



Cindy Fauziyah Anggraini

## ABSTRAK

### PERILAKU SENDI PLASTIS ELEMEN *PANEL ZONE* STRUKTUR BAJA SRPMK AKIBAT GEMPA DEKAT (STUDI LITERATUR)

Cindy Fauziyah Anggraini

2007210112

Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dalam desain struktur tahan gempa hal yang perlu di perhatikan ialah memaksimalkan kinerja struktur dalam menyerap energi yang ada pada struktur tersebut. Salah satu ciri struktur bangunan dapat menyerap energi dengan baik yaitu terjadinya sendi plastis pada elemen struktur. Dengan terjadinya sendi plastis maka bangunan tersebut mampu menahan deformasi yang cukup besar sehingga tidak mengalami keruntuhan secara total. Pada tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis perilaku sendi plastis pada elemen *panel zone* ketika terkena efek gempa dekat yang di aplikasikan terhadap dua pemodelan struktur. Pemodelan 1 (M1) terdiri atas 4 lantai dan pemodelan 2 (M2) terdiri dari 8 lantai. Tugas akhir ini menganalisis kemampuan elemen *panel zone* dalam menerima energi akibat pengaruh gempa dekat. Pemodelan yang di buat menggunakan SRPMK dengan memakai 10 rekaman gempa, kemudian memakai median dari kurva IDA untuk menentukan keadaan struktur yang paling sering terjadi. Hasil dari tugas akhir ini menunjukkan bahwa perilaku sendi plastis pada elemen *panel zone* di pemodelan 1 pada kondisi batas CP telah tercapai yang di tandai dengan besaran energi yang di serap *panel zone* melewati nilai  $4\gamma_y$  (nilai yang menunjukkan kondisi deformasi geser pasca leleh) sebesar 0.03277 pada kurva histeresis yang di tunjukkan dengan garis putus-putus berwarna hijau. Pada kondisi ini elemen *panel zone* mengalami tekuk lokal pada sayap. Perilaku sendi plastis pada pemodelan 2 juga telah tercapai pada kondisi batas CP dengan nilai  $4\gamma_y$  (nilai yang menunjukkan kondisi deformasi geser pasca leleh) sebesar 0.00291.

Kata kunci: *panel zone*, gempa dekat, sendi plastis

## **ABSTRACT**

### **BEHAVIOR OF PLASTIC HINGES IN PANEL ZONE ELEMENTS OF STEEL STRUCTURES SRPMK DUE TO NEAR-FAULT EARTHQUAKES (LITERATURE REVIEW)**

Cindy Fauziyah Anggraini

2007210112

Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

In seismic-resistant structural design, it is crucial to optimize the structure's ability to absorb energy. One characteristic of a building structure that can absorb energy effectively is the formation of plastic hinges in the structural elements. The presence of plastic hinges allows the building to withstand significant deformation without undergoing total collapse. This thesis aims to analyze the behavior of plastic hinges in the panel zone elements when subjected to near-fault earthquake effects, applied to two structural models. Model 1 (M1) consists of 4 floors, and Model 2 (M2) consists of 8 floors. The thesis analyzes the capability of panel zone elements to absorb energy due to the influence of near-fault earthquakes. The models are created using SRPMK (Special Moment Resisting Frame) with 10 earthquake records, then using the median of the IDA (Incremental Dynamic Analysis) curve to determine the most common structural condition. The results of this thesis show that the behavior of plastic hinges in the panel zone elements in Model 1 has reached the CP (Collapse Prevention) limit state, indicated by the amount of energy absorbed by the panel zone exceeding the  $4\gamma_y$  value (a value indicating post-yield shear deformation) of 0.03277 on the hysteresis curve, shown by the dashed green line. In this condition, the panel zone element experiences local buckling in the flange. The plastic hinge behavior in Model 2 also reaches the CP limit state with a  $4\gamma_y$  value of 0.00291.

Keywords: panel zone, near-fault earthquake, plastic hinge

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karuniaNya, sehingga penulis telah dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perilaku Sendi Plastik Elemen Panel Zone Struktur Baja SRPMK Akibat Gempa Dekat” ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Ijazah Sarjana pada Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Dalam penyelesaian tugas akhir ini banyak pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan dukungan, bimbingan dan bantuan, sehingga dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasihyang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Assoc. Prof. Ir Ade Faisal S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. selaku Dosen Pembimbing I Dr. Josef Hadipramana, S.T, M.Sc. yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. selaku Dosen Pembimbing II Ir. Tondi Amirsyah Putera, ST., M.T. yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Terimakasih yang istimewa sekali kepada kedua orang tua saya, Ibu dan Ayah saya tersayang yang telah bersusah payah mendidik dan selalu mendukung saya serta selalu megusahakan yang terbaik untuk saya dan semua doa-doa terbaik yang selalu mereka ucapkan untuk saya.
10. Terimakasih kepada teman-teman saya Missy dan Alda yang telah banyak mendukung dan membantu selama proses perkuliahan

Penulis menyadari bahwa dalam penyusun Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan penulisan tugas akhir ini. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Medan, Oktober 2024  
Penulis

Cindy Fauziyah Anggraini

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSRTAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)	5
2.3 Ground Motion (Getaran Tanah)	6
2.4 Gempa Dekat	6
2.5 Panel Zone	6
2.5.1 Reaksi Panel Zone	7
2.6 Sendi Plastis	7
BAB III METODE PENELITIAN	9
3.1 Pemodelan Struktur	11
3.1.1 Data Perencanaan Struktur	11
3.2 Pemodelan Gempa	11
3.3 Pemodelan Sendi Plastis Elemen Balok dan Kolom	12
3.4 Pemodelan Panel Zone	14

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Hasil Model Linier dan Non Linier	17
4.2 Hasil Analisa Linier	17
4.2.1 Respon Spektrum Ragam	17
4.2.2 Koreksi Gempa Dasar Nominal	19
4.2.3 Koreksi Faktor Redudansi	19
4.2.4 Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	20
4.2.5 Nilai Simpangan Gedung	20
4.2.6 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)	20
4.2.7 Pengaruh Efek P-Delta	21
4.3 Analisa Non Linier	21
4.3.1 Incremental Dynamic Analysis (IDA)	22
4.3.2 Interstory Drift Ratio (IDR)	26
4.3.3 Sendi Plastis	28
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	34
5.1 Kesimpulan	34
5.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	35

LAMPIRAN  
DAFTAR RIWAYAT HIDUP

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Dimensi Balok Kolom	10
Tabel 3.2 Rekaman Gerakan Tanah	11
Tabel 4.1 Hasil analisa dengan menggunakan metode CQC untuk model 1	18
Tabel 4.2 Hasil analisa dengan menggunakan metode CQC untuk model 2	18
Tabel 4.3 Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen (V1) dan Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum output Program Analisa Struktur Vt.	19
Tabel 4.4 Nilai Vt sb. x	20

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Letak <i>panel zone</i> di antara balok dan kolom	7
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	9
Gambar 3.2 Geometri model struktur SRPMK baja yang ditinjau	12
Gambar 3.3 Balok RBS yang dipakai sebagai model SRPMK	13
Gambar 3.4 Model sendi plastis pada balok dan kolom	13
Gambar 3.5 Panel zone mengalami deformasi	14
Gambar 4.1 Perubahan kondisi panel zone	21
Gambar 4.2 Ilustrasi runtutan peristiwa struktur model 1	23
Gambar 4.3 Ilustrasi runtutan peristiwa struktur model 2	24
Gambar 4.4 Kurva IDA pemodelan 1	25
Gambar 4.5 Kurva IDA pemodelan 2	26
Gambar 4.6 Interstory Drift model 1	27
Gambar 4.7 Intrstory Drift model 2	28
Gambar 4.8 Kinerja sendi plastis konsisi IO model 1	29
Gambar 4.9 Kinerja sendi plastis konsisi LS model 1	29
Gambar 4.10 Kinerja sendi plastis konsisi CP model 1	30
Gambar 4.11 Kinerja sendi plastis konsisi Collapse model 1	30
Gambar 4.12 Kinerja sendi plastis konsisi IO model 2	31
Gambar 4.13 Kinerja sendi plastis konsisi LS model 2	32
Gambar 4.14 Kinerja sendi plastis konsisi CP model 2	32
Gambar 4.15 Kinerja sendi plastis konsisi Collapse model 2	33

## DAFTAR NOTASI

$M_y$	=	Momen leleh
$M_c$	=	Momen maksimum
$^h p$	=	Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respon yang telah dilakukan
$4\gamma_y$	=	Gaya geser pasca leleh pada kondisi deformasi
$6\gamma_y$	=	Gaya geser batas pada kondisi deformasi
$\theta_y$	=	Rotasi leleh
$\theta_u$	=	Rotasi batas
$G$	=	Modulus geser
$E$	=	Modulus elastisitas

## DAFTAR SINGKATAN

SRPMK	=	Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus
IDA	=	<i>Increment Dynamic Analysis</i>
IO	=	<i>Immediate Occupancy</i>
LS	=	<i>Limit Safety</i>
CP	=	<i>Collapse Prevention</i>
IDR	=	<i>Interstory Drift Ratio</i>
CQC	=	<i>Complete Quadratic Combination</i>
PEER	=	<i>Pacific Earthquake Engineering Research</i>
RBS	=	<i>Reduce Beem Section</i>



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di Indonesia, gempa tergolong cukup sering terjadi. Gempa yang terjadi memiliki kekuatan yang beragam mulai dari kekuatan rendah sampai tinggi. Salah satu gempa yang cukup sering terjadi di Indonesia yaitu gempa dekat, gempa dekat sendiri merupakan gempa yang terjadi lebih dekat dari permukaan bumi dari pada gempa lainnya.

Gempa dekat mengakibatkan kerusakan yang cukup parah pada bangunan. Hal ini dikarenakan gelombang gempa dekat memiliki amplitudo yang lebih besar ketika mencapai permukaan bumi sehingga kekuatan gempa yang di rasakan lebih besar. Pawirodikromo (2012), menyebutkan bahwa getaran gempa dekat yang mengandung efek pulse dapat menyebabkan bangunan yang tidak direncanakan secara baik akan mengalami kerusakan. Gempa dekat menyebabkan banyak kerusakan pada bangunan, khususnya bangunan bertingkat. Salah satu kerusakan yang muncul akibat gempa dekat yaitu deformasi sisa yang terjadi pada bangunan gedung. Deformasi sisa menyebabkan kemiringan komponen struktur horizontal dan kemiringan komponen struktur vertikal yang menyebabkan tekanantambahan dan tak terduga pada anggota dan sendi khususnya pada elemen panel zone, sehingga sangat beresiko terhadap terjadinya kegagalan struktur (McCormicket *al.*, 2008). Melihat resiko yang di timbulkan oleh gempa dekat terhadap struktur, maka perlu dilakukan perencanaan struktur yang matang sehingga, kemungkinan roboh yang terjadi akibat besarnya kekuatan gempa akan dapat di kurangi.

SRPMK merupakan suatu sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur dan join-joinnya dapat menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial untuk daerah resiko gempa tinggi (wilayah gempa 5 dan 6) (Mahendrayu and Kartini, 2012). Hal ini menunjukkan bahwa

struktur srpmk sangat dianjurkan digunakan pada gedung yang berada di daerah-daerah yang memiliki resiko gempa tinggi. Material baja digunakan sebagai komponen utama struktur gedung karena memiliki sifat yang dapat mengalami deformasi plastis yang baik sebelum terjadinya keruntuhan dari material lain, hal ini menjadi kriteria utama dalam mendesain gedung tahan gempa (Zachari and Turuallo, 2020). Prinsip pada penggunaan struktur SRPMK yaitu *Strong-Column/Weak-Beam*, dimana kolom di desain lebih kuat dari pada balok pada gedung, hal ini dikarenakan jika struktur memiliki kolom yang lemah, simpangan antar lantai akan cenderung terpusat pada satu lantai jika kolom kuat, maka *drift* akan tersebar merata, dan keruntuhan lokal di satu lantai dapat diminimalkan (Patrisko Hirel Karisoh, Servie O. Dupas, 2018). Selain itu, pada struktur rangka baja SRPMK memiliki panel zone yang merupakan daerah web kolom yang dibatasi oleh flens kolom (bagian dari kolom yang berbentuk lempeng lebar di sisi atas dan bawah) dan pelat kontinuitas pada sambungan balok-ke-kolom yang diketahui, memiliki sifat daktail dan histeretik yang stabil (Dávila-Arbona dkk., 2008). Bagian inilah yang membuat struktur dapat bertahan lebih baik ketika terkena gempa.

Dalam pemodelan *panel zone* didesain memiliki sendi plastis, dimana sendi plastis memungkinkan deformasi inelastis pada elemen struktural dan membantu menangani energi gempa. Sehingga pada daerah ini harus di desain dengan benar untuk mencegah kegagalan struktur akibat gempa. Besarnya kekuatan gempa dekat mengakibatkan terjadinya deformasi sisa yang sangat berpengaruh terhadap perilaku sendi plastis dalam mempertahankan kemampuannya, untuk itu sendi plastis sangat diperhitungkan dalam desain ketahanan suatu struktur.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perilaku sendi plastis elemen panel zone pada struktur SRPMK baja akibat gempa dekat?

### 1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui perilaku sendi plastis elemen panel zone pada bangunan yang menggunakan struktur baja SRPMK yang di akibatkan oleh gempa dekat.

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah yang ditetapkan pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Meninjau bangunan 4 & 8 lantai dengan kategori desain seismik D.
2. Bangunan yang di tinjau menggunakan struktur baja SRPMK.
3. Variabel yang diteliti berupa perilaku sendi plastis.
4. Menggunakan gempa dekat sebagai faktor pengaruh terhadap variabel yang ditinjau.
5. Meninjau elemen panel zone pada struktur bangunan.
6. Menggunakan jenis sambungan baut.
7. Menggunakan jenis panel zone pararelogram
8. Analisis menggunakan alat bantu berupa program yaitu:
  - Program Analisa Struktur, untuk menganalisa tahap desain pada Analisa *pushover* dan analisa riwayat waktu.
  - PEER NGA, COSMOS untuk mendapatkan rekaman gempa.
  - SEISMOLLEE, untuk mengubah *groundmotion* menjadi Respon Spektrum.
  - MATLAB versi R2014a, untuk menskalakan *groundmotion*.
  - OPENSEES, untuk menganalisa tahap evaluasi (Analisa Riwayat Waktu Nonlinear) yang hanya ditinjau secara 2 dimensi.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Hasil studi ini diharapkan akan memberikan informasi yang berharga terkait pengaruh karakter gempa dekat terhadap perilaku sendi plastis elemen panel zone dan juga terhadap simpangan sisa pada struktur SRPMK baja. Khususnya diharapkan dapat meningkatkan ketahanan struktur terhadap gempa dekat.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan yang digunakan pada Tugas Akhir ini sebagai berikut:

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Didalam Bab ini akan menguraikan penjelasan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, ruang lingkup permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika penulisan.

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan menguraikan penjelasan mengenai mekanisme gempa, konsep perencanaan struktur bangunan baja, analisa struktur baja Sistem Rangka

Berbresing Eksentris (SRBE), dan konsep tentang kekuatan bangunan baja terhadap gempa yang terjadi.

### **BAB 3 PEMODELAN STRUKTUR**

Bab ini akan menampilkan bagaimana metodologi penelitian yang digunakan dari awal sampai akhir penelitian dan penjelasan mengenai cara memodelkan dan mendesain struktur bangunan baja dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) terhadap deformasi sisa yang terjadi akibat gempa dekat dengan menggunakan Program Analisa Struktur dan RUAOMOKO2D versi 04.

### **BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai perhitungan, analisis pemodelan bentuk gambar, grafik atau tabel serta pembahasannya.

### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari keseluruhan penulisan Tugas Akhir ini dan saran-saran yang dapat diterima penulis agar lebih baik lagi kedepannya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Pada Bab ini akan dibahas mengenai teori-teori dasar dan syarat-syarat/ketentuan yang berhubungan dalam perencanaan struktur bangunan yang akan dianalisa, seperti struktur beton bertulang, teori gempa, sistem struktur penahan gempa, tata cara perencanaan bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726:2012, dan teori-teori terkait lainnya yang berhubungan dengan perhitungan atau analisa data yang diperlukan dalam Tugas Akhir ini.

#### **2.2 SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)**

SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus adalah komponen struktur yang mampu memikul gaya akibat beban gempa dan direncanakan untuk memikul lentur. Komponen struktur tersebut juga harus memenuhi syarat-syarat di bawah ini :

1. Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi  $0.1.A_g.f_c'$ .
2. Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
3. Perbandingan antara lebar dan tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.

Pada penelitian yang di lakukan Zachari and Turuallo (2020). Di lakukan analisa terhadap pemilihan baja sebagai material struktur bangunan dengan menggunakan struktur baja SRPMK sebagai bangunan yang tahan gempa serta melakukan analisa terhadap bagaimana model tersebut di buat agar mampu menahan beban akibat gempa. Pada akhir penelitian ini di dapati hasil berupa daktilitas yang dimiliki struktur dari hasil perencanaan telah sesuai dengan prinsip strong column weak beam ini berarti struktur dan sistem yang di pilih pada pemodelan ini lebih dapat bertahan ketika terkena gempa.

### 2.3 *Ground Motion* (Getaran Tanah)

*Ground motion* adalah pergerakan permukaan bumi yang diakibatkan adanya gempa atau ledakan. Di dalam ilmu teknik gempa, *ground motion* juga populer dengan sebutan *strong motion* untuk lebih menekankan pada percepatan tanah akibat gempa daripada respon-respon tanah yang lain. Pada umumnya, pengertian pergerakan tanah akibat gempa lebih banyak ditujukan pada percepatan tanah. Khususnya untuk keperluan teknik, percepatan tanah akibat gempa merupakan data yang sangat penting (Pawirodikromo, 2012).

Respon gempa sensitif terhadap karakteristik getaran tanah, besar frekuensi gempa, pola *pulse*, durasi getaran, mekanisme *fault-rupture*, dan lainnya. Berdasarkan pola *pulse* nya, gempa dibagi menjadi 3, yaitu *near field* (gempa dekat, yaitu gempa dengan *pulse*), *far field* (gempa jauh, yaitu gempa tanpa *pulse/no-pulse*), dan gempa berulang

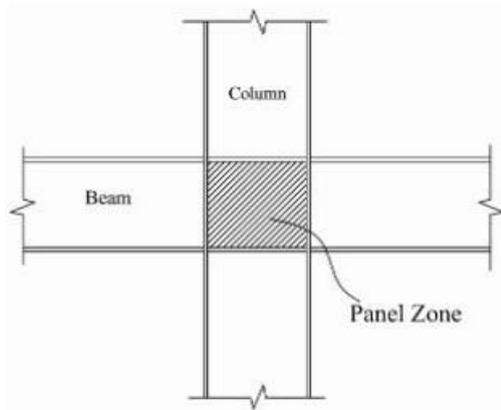
### 2.4 Gempa Dekat

Pawirodikromo (2012) mengatakan bahwa percepatan tanah gempa dekat umumnya mempunyai 1-2 kali siklus getaran kuat (*strong-vibration cycles/pulse*). Siklus getaran kuat tersebut disebabkan oleh adanya kecepatan rambat patah  $V_r$  (*fault rupture velocity*) yang relatif dekat dengan kecepatan gelombang geser  $V_s$ . Berapa batasan jarak gempa dekat tersebut tidaklah dapat ditentukan secara pasti. Namun, beberapa peneliti mengindikasikan hanya beberapa sampai belasan kilometer saja. Kalkan, dkk.(2004) memberikan batasan bahwa rekaman gempa *near-fault* adalah gempa yang direkam  $15 \leq k$  m dari patahan (*fault rupture*).

### 2.5 *Panel Zone* (zona panel)

*Panel zone* (zona panel) merupakan area sambungan antar kolom dan balok dalam rangka baja yang menerima gaya dari ujung balok dan kolom

(Mansouri and Saffari, 2014). Pada gambar 2.1 merupakan posisi *panel zone* yang berada di antara balok dan kolom.



Gambar 2.1: Letak *panel zone* di antara balok dan kolom  
(Mansouri and Saffari, 2014)

### 2.5.1 Reaksi *Panel Zone*

Ketika bangunan menerima gaya dari luar (gaya akibat gempa), panel zone mendistribusikan gaya-gaya tersebut agar struktur bangunan tersebut tetap stabil. Pendistribusian gaya dan momen pada panel zone membuat kondisi tegangan dan regangan yang kompleks pada panel zone. Pengaruh gaya dan momen yang terjadi pada panel zone juga mengakibatkan panel zone mengalami deformasi aksial, geser dan lentur (Mansouri and Saffari, 2014). Namun biasanya, hanya deformasi geser yang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap rangka baja (Jin dan El-Tawil 2005). Deformasi inilah yang menyebabkan terjadinya sendi plastis pada elemen panel zone.

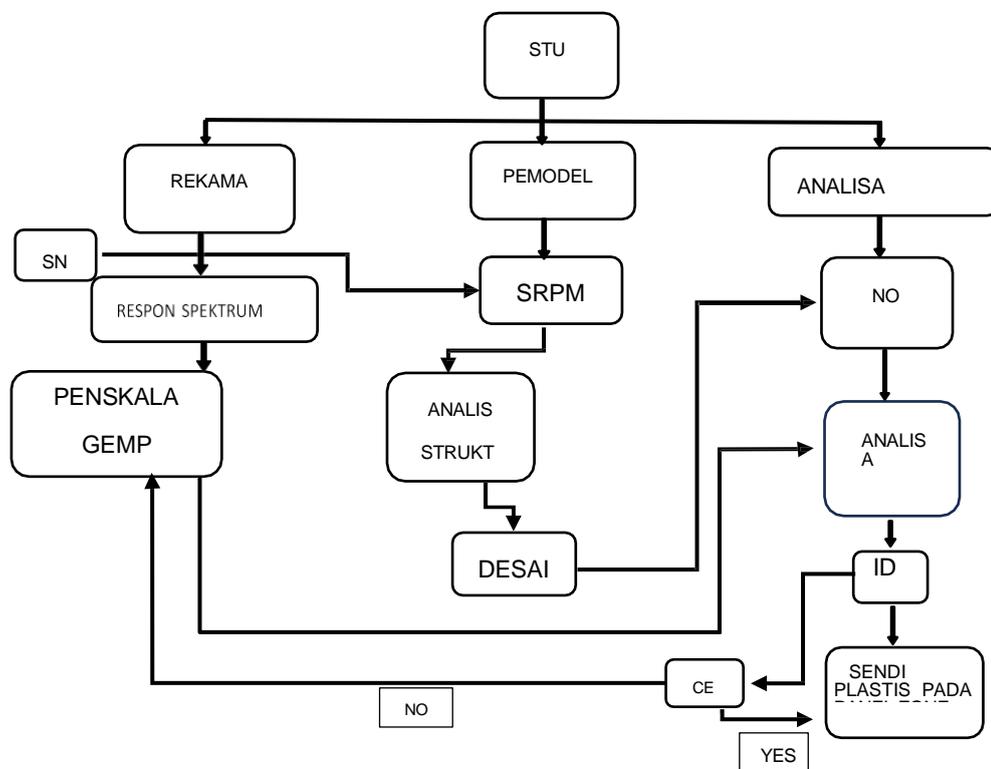
## 2.6. Sendi Plastis

Perilaku sendi plastis adalah kondisi di mana elemen struktur, seperti balok dan kolom, mengalami deformasi permanen akibat beban yang melebihi kapasitas elastisnya. Dalam konteks bangunan tahan gempa, sendi plastis berfungsi sebagai mekanisme untuk menyerap energi yang dihasilkan oleh gerakan tanah, sehingga mengurangi risiko keruntuhan total. Ketika struktur menerima beban, elemen-elemen seperti balok dan kolom berfungsi dalam batas elastis. Namun, saat beban,

terutama dari gempa, melebihi kapasitas elastis, elemen-elemen tersebut mulai mengalami deformasi plastis (Nuraga, dkk., 2021). Sendi plastis biasanya terbentuk di ujung-ujung balok. Ini terjadi karena bagian tersebut menerima momen dan gaya geser terbesar. Dalam desain struktur, prinsip "*Strong Column Weak Beam*" diterapkan, di mana kolom dirancang lebih kuat dibandingkan balok. Hal ini memastikan bahwa kerusakan terjadi pada balok terlebih dahulu, sehingga kolom tetap berfungsi sebagai penyangga utama. Sendi plastis berfungsi untuk menyerap energi kinetik yang dihasilkan oleh gerakan tanah. Dengan terbentuknya sendi plastis, struktur dapat mengalami deformasi yang besar tanpa runtuh, memberikan waktu untuk evakuasi dan mengurangi risiko cedera. Dengan merencanakan lokasi sendi plastis, insinyur dapat mengontrol di mana kerusakan akan terjadi. Ini memungkinkan struktur untuk "rusak" tanpa "runtuh", menjaga keselamatan pengguna bangunan (Nuraga, dkk., 2021).

### BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini tersusun atas pemodelan struktur yang di rencanakan, struktur di analisis menggunakan beberapa *software* bantuan, seperti mathlab, OpenSees, dan lainnya. Pada penelitian ini metode yang di gunakan di susun ke dalam bentuk diagram alir seperti pada gambar 3.1



Gambar 3.1: Bagan Alir

Berdasarkan Gambar 3.1, dapat di jelaskan bahwa dalam tugas akhir ini, analisis di lakukan terhadap model yang telah di rencanakan dengan sistem rangka pemikul momen khusus. Model bangunan yang di rencanakan akan di analisis secara linear dan non linear dengan menggunakan program analisa struktur serta analisis riwayat waktu dengan bantuan *software* OpenSees untuk melihat perubahan perilaku sendi plastis ketika mengalami deformasi sisa akibat gempa dekat. Untuk

acuan hasil desain, maka profil WF balok kolom yang dihasilkan dari proses desain harus tidak melebihi jenis yang tertera di tabel 3.1. profil ini telah dipublikasikan, sehingga kebenaran nilainya sudah terjamin.

Tabel 3.1: Dimensi Balok Kolom.

Model	Story	Elevation(m)	Beam Size	Column Size		Doubler Plate Thickness (mm)	
				Exterior	Interior	Exterior	Interior
4 Tingkat	4	16.3	W21x57	W24x62	W24x62	0.0	7.9
	3	12.3	W21x57	W24x103	W24x103	0.0	7.9
	2	8.3	W21x73	W24x103	W24x103	0.0	7.9
	1	4.3	W21x73	W24x103	W24x103	0.0	7.9
8 Tingkat	8	32.2	W21x68	W24x94	W24x94	0.0	7.9
	7	28.2	W24x84	W24x131	W24x131	0.0	14.3
	6	24.2	W24x84	W24x131	W24x131	0.0	11.1
	5	20.2	W27x94	W24x131	W24x176	0.0	14.3
	4	16.2	W27x94	W24x131	W24x176	0.0	7.9
	3	12.2	W30x116	W24x146	W24x192	1.6	15.9
	2	8.2	W30x116	W24x146	W24x192	1.6	11.1
	1	4.2	W30x108	W24x146	W24x192	0.0	9.5

### 3.1 Pemodelan Struktur

#### 3.1.1 Data Perencanaan Struktur

Adapun data perencanaan struktur yang digunakan pada keempat pemodelan dalam Program Analisa Struktur, yaitu:

1. Jenis pemanfaatan gedung perkantoran.
2. Gedung terletak di kawasan dengan kategori desain seismik D.
3. Klasifikasi situs tanah sedang (SD).
4. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
5. Jenis portal struktur gedung adalah struktur baja.

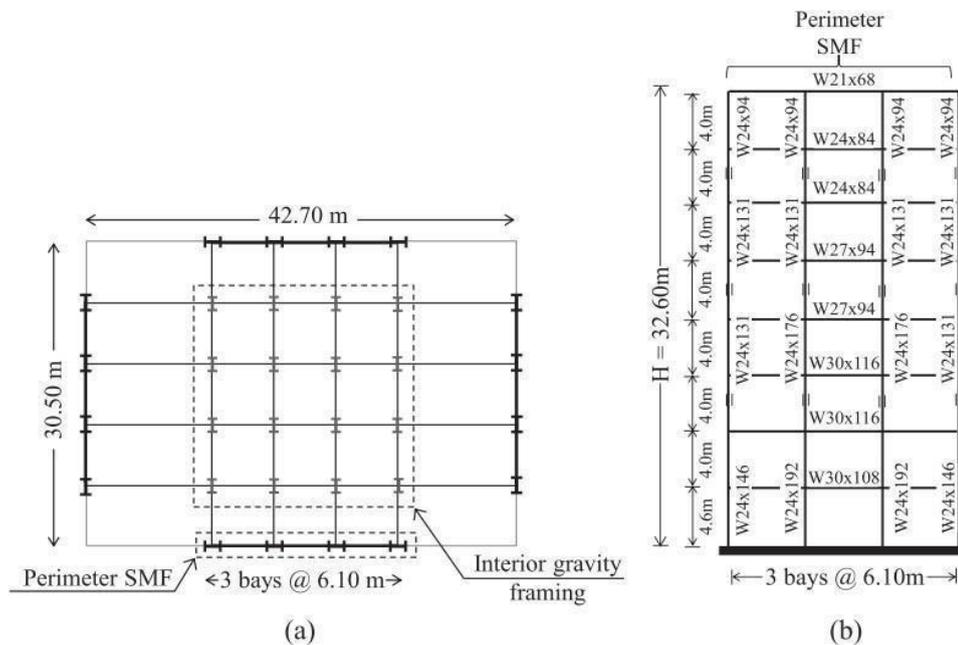
### 3.2 Pemodelan Gempa

Rekaman gerakan tanah mengandung efek detak dan yang tidak mengandung efek detak dipilih dan diambil dari PEER NGA2 database berdasarkan hasil studi Baker (2007). Begitu pula halnya gerakan tanah detak dipilih dan diambil dari hasil studi Baker. Daftar rekaman gempa dimaksud ditampilkan di Tabel a1 dan a2. Untuk gerakan tanah yang kandungannya hanya getaran berbentuk detak dibuat memakai metode Baker (2007) sesuai perioda detak pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Rekaman Gempa

No	Namagempa	Tahun	Stasiun pencatat gempa	M
1	Imperial Valley 06	1979	El Centro Array #06	6,5
2	Imperial Valley 06	1979	El Centro Array #07	6,5
3	Irpinia, Italy 01	1980	Sturno	6,9
4	Superstition Hills 02	1987	Parachute Test Site	6.5

5	Loma Prieta	1989	Saratoga - Aloha	6.5
6	Gazli, USSR	1979	Karakyr	6.5
7	Imperial Valley 06	1979	Bonds Corner	6.5
8	Imperial Valley 06	1979	Cihuahua	6.5
9	Nahanni, Canada	1985	Site 1	6.8
10	Nahanni, Canada	1999	Site 2	6.8

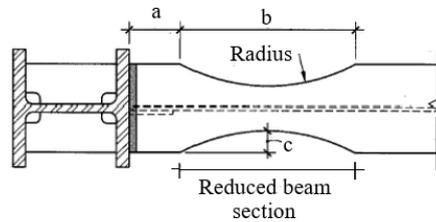


Gambar 3.2: Geometri model struktur SRPMK baja yang ditinjau mengacu kemodelmilik Elkady dan Lignos (2021): a) denah yang menunjukkan lokasi SRPMK dan rangka gravitasi, b) tampak samping SRPMK yang menunjukkan lokasi sambungan kolom

### 3.3 Pemodelan Sendi Plastis Elemen Balok dan Kolom

Elemen kolom pada struktur baja SRPMK pada studi ini memakai jenis WF profil USA dan untuk balok memakai jenis WF yang penampangnya dikurangi (*reduced beam section*, disingkat RBS). Balok RBS ditunjukkan pada Gambar

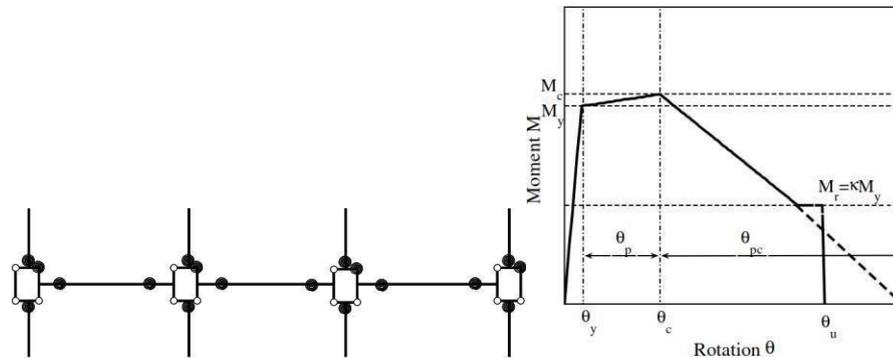
3.3, dimana menurut AISC 358-05 besaran coakan pada sayap balok adalah  $a = 0.625b_f$ ,  $b=0.75d_b$ ;  $c = 0.250b_f$ ; dengan radius  $= (4c^2 + b^2)/8c$  dan panjang dari pusat coakan RBS ke tepi kolom,  $L_{RBS} = a + b/2$ . Di sini  $b_f$  dan  $d_b$  masing-masing adalah lebar flens penampang balok dan tinggi penampang balok.



Gambar 3.3: Balok RBS yang dipakai sebagai model

SRPMK Pemodelan sendi plastis pada elemen balok dan kolom menggunakan metode

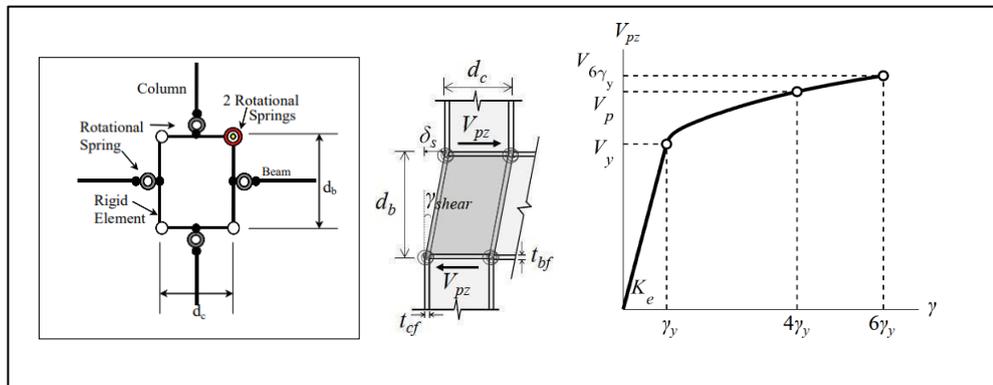
yang diusulkan oleh Lignos dan Krawinkler (2011) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3.1, dimana momen leleh ( $M_y$ ) dihitung dari momen plastisnya, momen maksimum ( $M_c$ ), dihitung berdasarkan rasio  $M_c/M_y$ , dan rotasi leleh diperoleh dari  $\theta_y = M_y/(6EI/L)$ . Besaran rotasi saat momen maksimum,  $\theta_c$ , dan rotasi batas,  $\theta_u$ , dapat diketahui setelah mencari besaran kapasitas rotasi plastis,  $\theta_p$ , dan kapasitas rotasi pasca plastis,  $\theta_{pc}$ .



Gambar 3.4: Model sendi plastis pada balok dan kolom memakai model Lignos dan Krawinkler (2011): a) model pegas untuk memodelkan sendi plastis di ujung elemen dan juga untuk memodelkan zona panel.

### 3.4 Pemodelan Panel Zone

Zona panel yang merupakan titik kumpul elemen balok dan kolom struktur baja umumnya akan mengalami kerusakan geser pada badan panel dan juga kerusakan lentur pada sayap. Ini terjadi setelah sendi plastis terbentuk di elemen-elemen balok dan kemudian di elemen-elemen kolom. Atau juga terjadi bersamaan dengan sendi plastis di elemen kolom setelah mengalami sendi plastis di banyak elemen balok dan sebagian kecil di elemen kolom. Untuk memasukkan hal ini ke dalam analisa struktur, studi ini memakai Model Paralelogram Gambar 3.5 yang parameter sendi plastisnya dihitung berdasarkan metode Skiadopoulos dkk. (2021). Model paralelogram pertama kali diusulkan oleh Gupta dan Krawinkler (1999) untuk menggantikan model gunting (*scissor*) yang diperkenalkan oleh Krawinkler (1978) dan juga Krawinkler dan Mohasseb (1987). Model paralelogram Skiadopoulos dkk. (2021) ini bukan saja mempertimbangkan pengaruh geser pada badan zona panel, tapi juga pada sayapnya. Gaya geser leleh pada zona panel diperoleh berdasarkan (3.1).



Gambar 3.5: *Panel zone* model paralelogram mengalami deformasi.

$$V_y = \frac{[0.58(K_f/K_e) + 0.88] \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot (d_c - t_{cf}) \cdot t_{cw}}{1 - K_f/K_e} \quad (3.1)$$

Dimana  $K_f/K_e$  adalah rasio kekakuan sayap ( $K_f$ ) terhadap kekakuan elastis ( $K_e$ ) pada zona panel yang nilainya 0.02 – 0.07, sedangkan  $d_c$ ,  $t_{cf}$  dan  $t_{cw}$  masing-

masing adalah tinggi penampang profil kolom, tebal sayap kolom dan tebal badan kolom.

$K_f$  dan  $K_e$  dapat dicari melalui persamaan 3.2 dan 3.3.

$$K_f = \frac{K_{sf} \cdot K_{bf}}{K_{sf} + K_{bf}} \quad (3.2)$$

$$K_e = \frac{V_{pz}}{\gamma} = \frac{K_s \cdot K_b}{K_s + K_b} \quad (3.3)$$

Dimana  $K_{sf}$  dan  $K_{bf}$  masing-masing adalah kekakuan pada sayap akibat pengaruh geser dan lenturan. Nilai-nilai ini dapat dicari dengan memanfaatkan modulus geser,  $G$ , modulus elastisitas,  $E$ , tinggi sayap kolom pada zona panel,  $b_{cf}$ , dan tinggi profil balok,  $d_b$  seperti persamaan 3.4 dan 3.5.

$$K_{sf} = 2 \cdot (t_{cf} \cdot b_{cf} \cdot G) \quad (3.4)$$

$$K_{bf} = 2 \cdot \left[ \frac{12E(b_{cf} \cdot t_{cf}^3/12)}{d_b^3} \cdot d_b \right] \quad (3.5)$$

Sedangkan  $K_s$  dan  $K_b$  masing-masing adalah kekakuan geser dan kekakuan lentur yang mempengaruhi  $K_e$ , yang dapat dihitung melalui persamaan 3.6 dan 3.7.

$$K_s = A_v \cdot G = t_{pz} \cdot (d_c - t_{cf}) \cdot G \quad (3.6)$$

$$K_b = \frac{12 \cdot E \cdot I}{d_b^3} \cdot d_b \quad (3.7)$$

Dimana  $A_v$ ,  $t_{pz}$  dan  $I$  masing-masing adalah luas geser zona panel, tebal badan zona panel dan momen inersia penampang zona panel. Untuk gaya geser pasca leleh pada kondisi deformasi  $4^0_y$  dihitung melalui persamaan 3.8

$$V_{pz} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot [a_{w,eff} \cdot (d_c - t_{cf}) \cdot t_{cw} + a_{f,eff} \cdot (b_{cf} - t_{cw}) \cdot 2t_{cf}] \quad (3.8)$$

Sedangkan gaya geser pasca leleh pada kondisi deformasi  $6_y$  dapat diperoleh melalui persamaan 3.9.

$$V_{pz} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot [a_{w,eff} \cdot (d_c - t_{cf}) \cdot t_{cw} + a_{f,eff} \cdot (b_{cf} - t_{cw}) \cdot 2t_{cf}] \quad (3.9)$$

Dimana  $a_{w,eff}$  dan  $a_{f,eff}$  masing-masing adalah tegangan geser rata-rata ternormalisasi pada badan dan sayap, yang bernilai sebesar  $a_{w,eff} = 1.10$  untuk kondisi deformasi geser pasca leleh atau  $4y$  untuk kondisi deformasi geser batas atau  $6y$  dan  $a_{f,eff} = 0.93(K_f/K_y) + 0.015$  untuk kondisi deformasi geser pasca leleh atau  $4y = 1.05(K_f/K_y) + 0.020$  untuk kondisi deformasi geser batas atau  $6y$ .

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Hasil Model Linear dan Non Linear**

Pada Bab ini membahas hasil dari analisa linear dan analisa non linear oleh program analisa struktur diantaranya, respon gaya dan deformasi geser yang terjadi pada panel zone, serta gaya- gaya yang ada pada struktur 2 pemodelan gedung It 4 & It 8 SRPMK. Serta perbandingan nilai maksimum gaya dan IDR yang di berikan tiap-tiap gempa.

#### **4.2. Hasil Analisa Linier**

##### **4.2.1. Respon Spektrum Ragam**

Berdasarkan SNI 1726:2012, analisa harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisa harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC atau SRSS.

Syarat :  $SRSS > 15\%$  ,  $CQC < 15\%$

Analisa menggunakan metode CQC (Complete Quadratic Combination), hasil persentase perioda rata-rata yang didapat lebih kecil dari 15% dan SRSS (Square Root of the Sum of Square) lebih besar dari 15%. Pada hasil analisa diperoleh hasil:

Tabel 4.1: Hasil analisa dengan menggunakan metode CQC untuk model 1 (4 lantai)

SYARAT			
Moda (Perioda)	Selisih Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1 - T2	29%	NOT OK	OK
T2 - T3	14%	OK	NOT OK
T3 - T4	44%	NOT OK	OK
T4 - T5	35%	NOT OK	OK
T5 - T6	12%	OK	NOT OK
T6 - T7	6%	OK	NOT OK
T7 - T8	36%	NOT OK	OK
T8 - T9	3%	OK	NOT OK
T9 - T10	11%	OK	NOT OK
T10 - T11	31%	NOT OK	OK
T11 - T12	10%	OK	NOT OK

Pada model 1 untuk ketiga jenis nilai R, didapat 12 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak dibawah 15 %.

Tabel 4.2: Hasil analisa dengan menggunakan metode CQC untuk model 2 (8 Lantai)

SYARAT			
Moda (Perioda)	Selisih Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1 - T2	5%	OK	NOT OK
T2 - T3	29%	NOT OK	OK
T3 - T4	48%	NOT OK	OK
T4 - T5	7%	OK	NOT OK
T5 - T6	25%	NOT OK	OK
T6 - T7	18%	NOT OK	OK
T7 - T8	11%	OK	NOT OK
T8 - T9	19%	NOT OK	OK
T9 - T10	7%	OK	NOT OK
T10 - T11	19%	NOT OK	OK
T11 - T12	11%	OK	NOT OK

Pada Model 2 untuk ketiga jenis nilai R, didapat 12 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak diatas 15 %

#### 4.2.2 Koreksi Gempa Dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.4.1, kombinasi respon untuk geser dasar ragam (Vt) lebih kecil 100 persen dari geser dasar yang dihitung (V1) menggunakan prosedur gaya lateral ekivalen, maka gaya dan simpangan antar lantai harus dikalikan dengan faktor skala pada persamaan 4.1.

$$\frac{1}{\gamma} \geq V1 / Vt$$

Dimana: V1 = Gaya geser dasar nominal statik ekivalen Vt = Gaya geser dasar kombinasi ragam

Tabel 4.3: Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekivalen (V1) dan Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum output Program Analisa Struktur Vt.

Struktur	Arah Gempa	V1 (KN)	Vt (KN)
Model 1	Gempa X (R = 8)	1639,41	1639,4
Model 2	Gempa X (R = 8)	1188,47	1188,5

Untuk memenuhi syarat berdasarkan SNI 1726:2019, maka nilai faktor skala harus lebih kecil atau sama dengan 1.

#### 4.2.3 Koreksi Faktor Redundansi

Nilai gaya geser dengan redundansi 1 per lantainya harus dikoreksi dengan 35 persen gaya geser dasar dengan redundansi 1. Jika persyaratan tersebut tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1 harus diganti dengan redundansi 1,3. Dari hasil koreksi untuk setiap gaya geser diperoleh beberapa lantai yang tidak memenuhi syarat 35 persen gaya geser dasar

#### 4.2.4 Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

Nilai  $V_t$  dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum ( $V_t$ ) dapat dilihat pada Tabel 4.1. Kontrol Koreksi skala simpangan antar tingkat, yaitu:

$$\text{Syarat : } V_t > 1 \text{ Cs.W}$$

Berdasarkan Tabel 4.4 nilai  $V_t$  sb. x diperoleh:

Struktur	Arah Gempa	$V_t$ (KN)	1 Cs.W	Cek
Model 1	Gempa X (R = 8)	1639,4	1393,4	OK
Model 2	Gempa X (R = 8)	1188,5	1010,2	OK

#### 4.2.5 Nilai Simpangan Gedung

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai yang diizinkan yaitu 0,02 dikali tinggi lantai, nilai simpangan tidak boleh melebihi ketentuan tersebut. Pada hasil yang diperoleh, nilai simpangan antar lantai tidak melebihi batas izin atau memenuhi syarat. Untuk hasil perhitungan terdapat pada lampiran.

#### 4.2.6 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)

Berdasarkan SNI 1726:2012, kekakuan tingkat lunak (soft story) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Pada hasil kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x untuk semua model, diperoleh nilai persentase kekakuan di atas batas yang ditentukan atau struktur

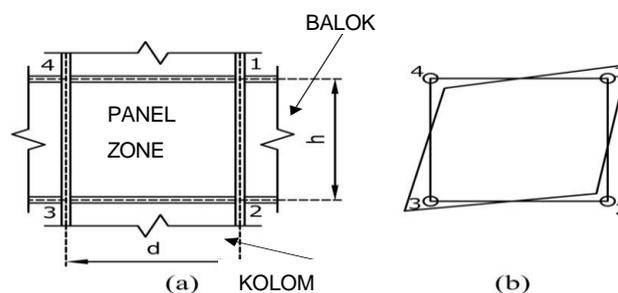
yang direncanakan tidak mengalami Soft Story. Untuk hasil perhitungan terdapat pada lampiran

#### 4.2.7 Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai stability ratio lebih kecil dari 1. Pada hasil perhitungan, nilai stability ratio dibawah nilai 1 untuk semua model atau dapat dikatakan kontrolnya memenuhi syarat yang ditentukan. Pada dasarnya efek p-delta dapat diabaikan jika syarat stability ratio sudah terpenuhi. Untuk hasil perhitungan terdapat pada lampiran.

#### 4.3 Analisa Non Linier

Pada tahap ini akan didapati hasil dari evaluasi struktur bangunan dari 2 model yang telah di buat ketika mendapati efek dari gempa yang di berikan pada alat bantu berupa Opensees. Respon struktur akan di tinjau berdasarkan jenis gempa pada setiap kondisi yang di alami. Hasil dari analisa *Opensees* kemudian akan di analisa untuk mendapati perilaku yang terjadi pada *Panel Zone*. Tinjauan yang akan di lakukan pada tugas akhir ini berfokus pada perilaku sendi plastis elemen panel zone ketika berdeformasi saat menerima energi dari getaran gelombang gempa dekat, ilustrasi deformasi panel zone dapat di lihat pada Gambar 4.1.



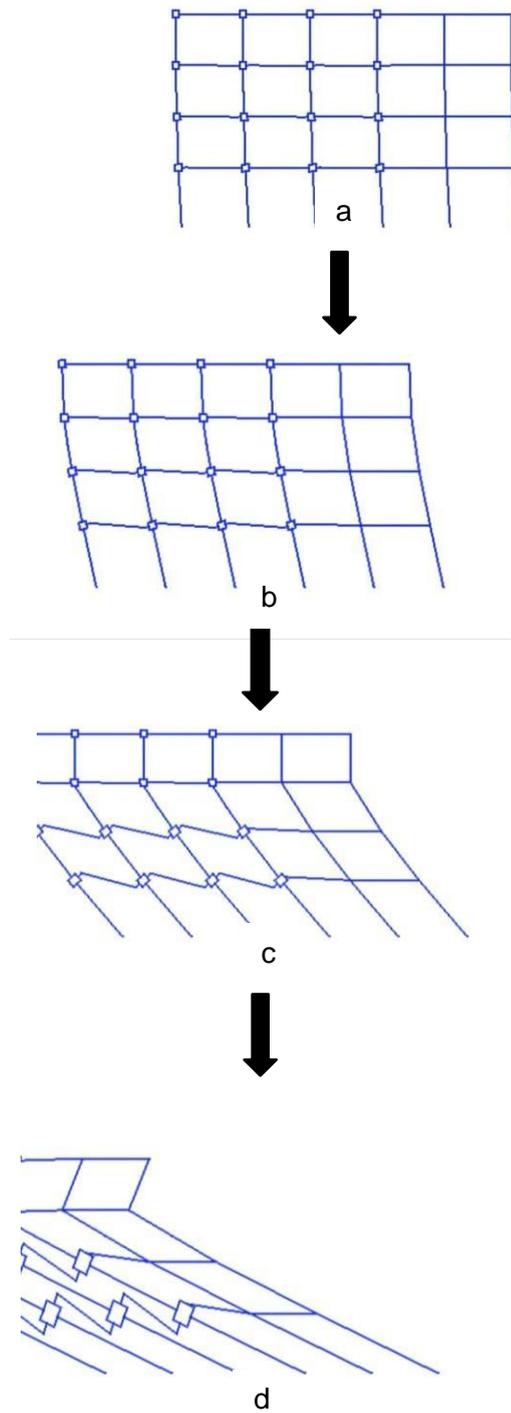
Gambar 4.1: (a) dan (b) menunjukkan perubahan kondisi *panel zone* (Mohammad Irvani a, 2021)

#### 4.3.1 *Incremental Dynamic Analysis (IDA)*

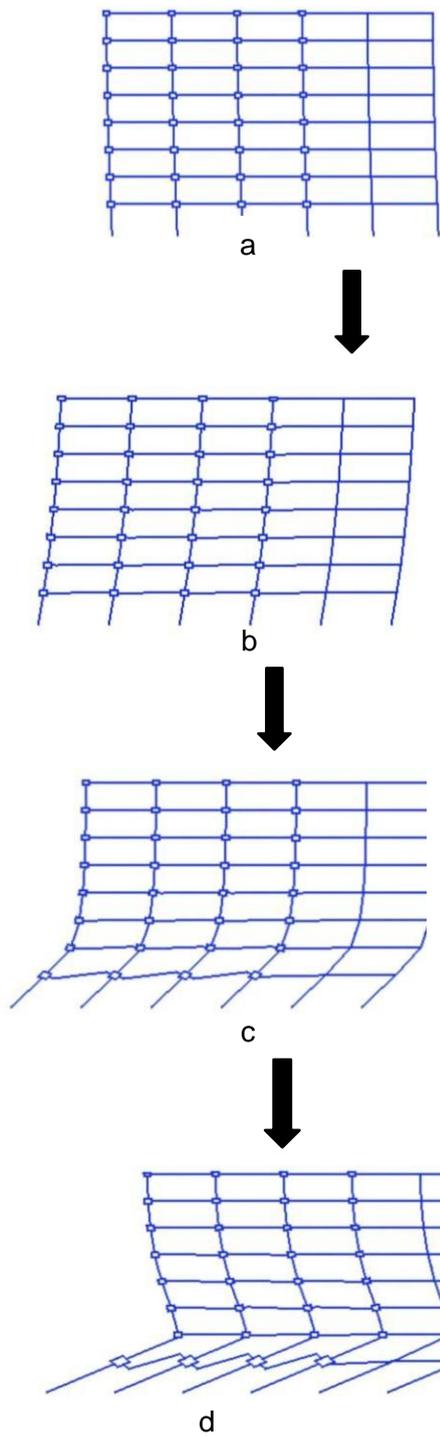
Dalam melakukan analisa non linier, kurva IDA berperan penting untuk memperlihatkan kondisi batas sebuah struktur. Di dalam kurva IDA tergabung nilai dari respon struktur dan nilai intensitas suatu gempa. Batasan-batasan yang terlihat di dalam kurva IDA sebagai berikut:

- a. IO (*immediate occupancy*): merupakan kondisi dimana struktur menghasilkan IDRmax yang berkisar pada 0.01. Pada kondisi ini struktur bangunan hanya mengalami kerusakan pada bagian non struktural seperti, jendela, pindu, dan lainnya.
- b. LS (*limit safety*): merupakan kondisi dimana struktur menghasilkan IDRmax yang berkisar pada 0.02, pada kondisi ini struktur masih tergolong aman untuk tetap berada di dalam nya, hal ini menggambarkan struktur tidak mengalami runtuh secara mendadak sehingga dapat di lakukan evakuasi terlebih dahulu pasca gempa.
- c. CP (*collapse prevention*); merupakan kondisi dimana struktur menghasilkan IDRmax berkisar pada 0.05.
- d. COLLAPSE: merupakan kondisi dimanana struktur menghasilkan IDRmax berkisar pada 0.1, pada kondisi ini struktur mengalami keruntuhan yang tidak mungkin di lakukan perbaikan pada struktur setelahnya.

Ilustrasi runtutan kondisi dari setiap batas keadaan struktur bangunan yang telah di analisa terhadap getaran dari gempa dekat dapat di lihat pada Gambar 4.2 dan 4.3 yang menunjukkan bahwa setiap batas kondisi mempengaruhi keadaan struktur bangunan. Hal ini juga menunjukkan kinerja struktur dalam menerima energi akibat getaran yang di timbulkan saat terjadinya gempa dekat

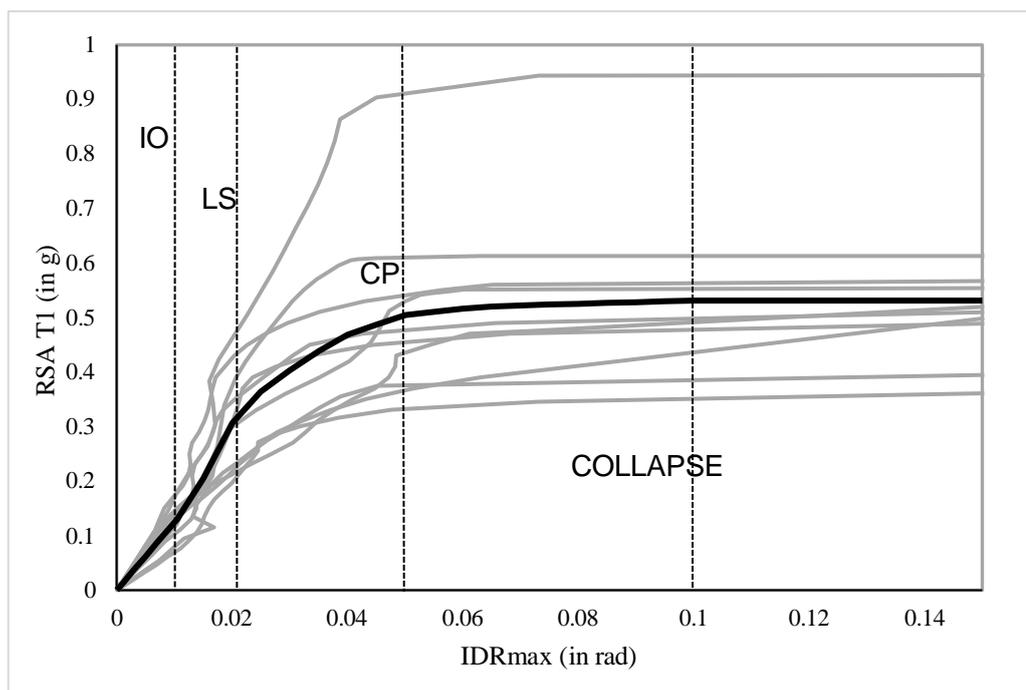


Gambar 4.2: Ilustrasi runtutan peristiwa struktur model 1 (4 lantai) mengalami kondisi batas (a) IO, (b) LS, (c) CP, (d) Collapse

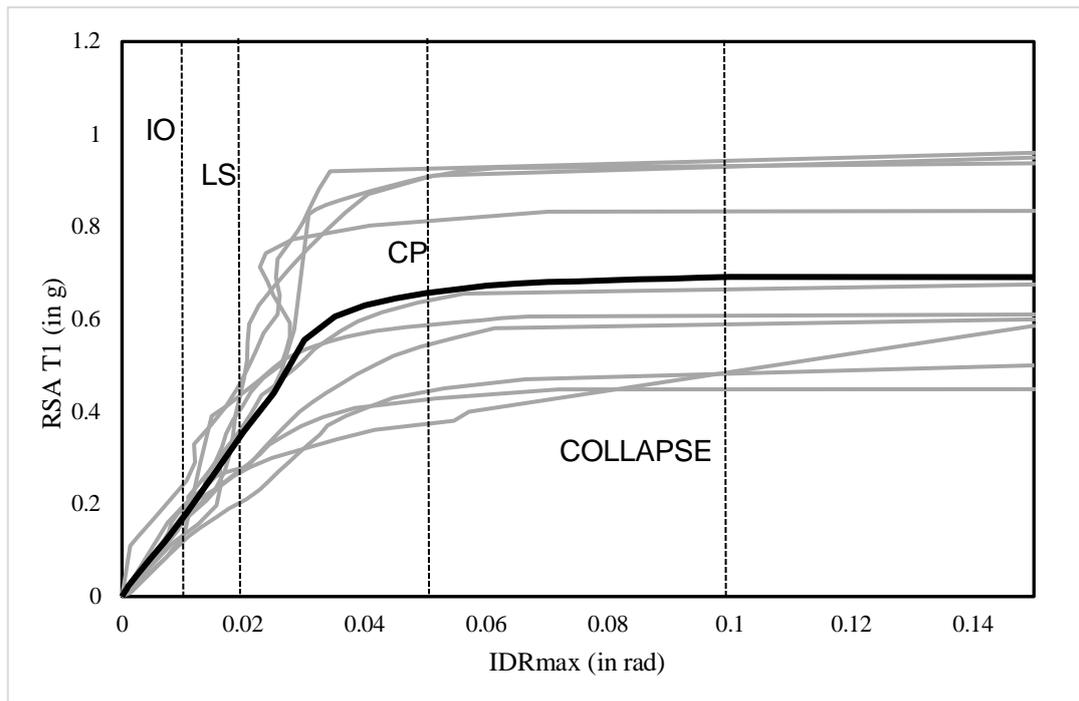


Gambar 4.3: ilustrasi runtutan peristiwa model 2 (8 lantai) mengalami kondisi batas (a) IO, (b) LS, (c) CP, (d) Collapse

Kurva IDA yang di hasilkan dari tugas akhir ini dapat terlihat pada Gambar 4.2 dan 4.3. Pada gambar kurva IDA menunjukkan kondisi dari tiap-tiap pemodelan ketika terkena getaran gempa dekat. Kurva IDA tersebut merupakan representasi dari respons struktur rata-rata terhadap gerakan tanah akibat gempa dekat. Dalam menentukan batasan-batasan kondisi struktur dalam kurva IDA digunakan median dari setiap beban gempa dan respons struktur yang terjadi, hal ini dilakukan karena di nilai dapat membantu untuk mengestimasi kemungkinan terjadinya kerusakan dalam berbagai gerakan tanah sehingga dapat memudahkan untuk melakukan desain sebuah struktur bangunan. Dari gambar 4.2 di hasilkan getran gempa dekat yang mendekati nilai median dan gambar 4.3 terlihat kurva IDA dari 2 pemodelan struktur 4 lantai dan 8 lantai.



Gambar 4.4: Kurva IDA pemodelan 1 (4 lantai) yang menunjukkan IO, LS, CP, dan COLLAPSE akibat gempa dekat



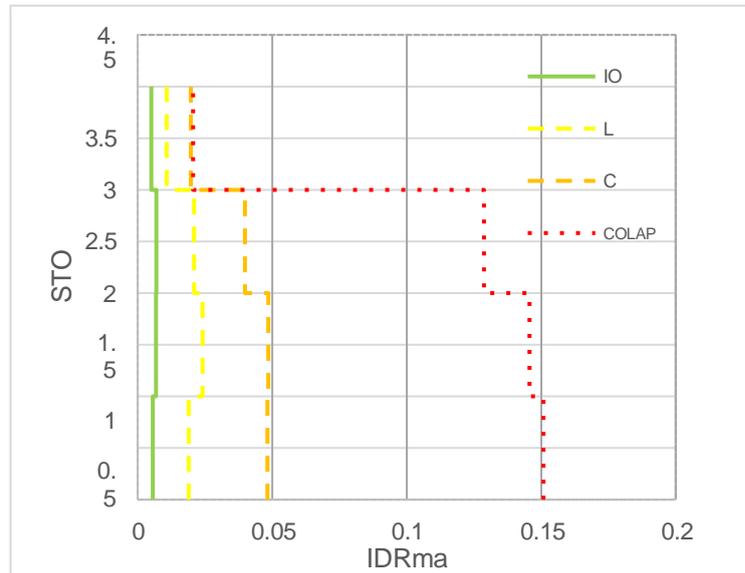
Gambar 4.5: Kurva IDA pemodelan 2 (8 lantai) yang menunjukkan IO, LS, CP, dan COLLAPSE akibat gempa dekat.

#### 4.3.2 Interstory Drift Ratio (IDR)

Pada grafik IDR memperlihatkan simpangan max yang terjadi di setiap lantai dan kondisi batas, hasil yang terlihat memungkinkan untuk menentukan elemen yang akan di tinjau berdasarkan besarnya simpangan yang terjadi di tiap-tiap lantai.

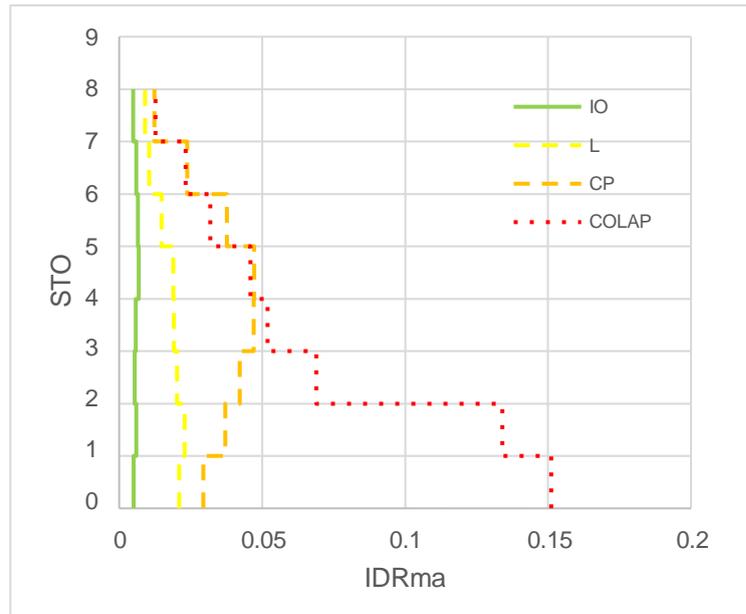
Pada Gambar 4.4 menunjukkan pada kondisi batas IO nilai simpangan maksimum yang terjadi berada pada lantai 3 yang di akibatkan gerakan tanah dari rekaman gempa Irpinia, Italy-01 dengan nilai sebesar 0.006945 inch rad. Kemudian pada kondisi LS nilai simpangan maksimum terjadi pada lantai 2 yang di akibatkan gerakan tanah dari rekaman gempa Gazli dengan nilai sebesar 0.020909 inch rad. Pada kondisi CP nilai simpangan maksimum terjadi pada 2 yang di akibatkan gerakan tanah dari rekaman gempa Imperial Valle dengan nilai sebesar 0.048564 inch rad. Pada kondisi COLLAPSE simpangan maksimum terjadi pada lantai 1

yang di akibatkan gerakan tanah dari rekaman gempa Imperial Valley dengan nilai 0.15084 inch rad.



Gambar 4.6: Menunjukkan Inter Story Drift pada model 1 (4 lantai) akibat gerakan tanah gempa dekat.

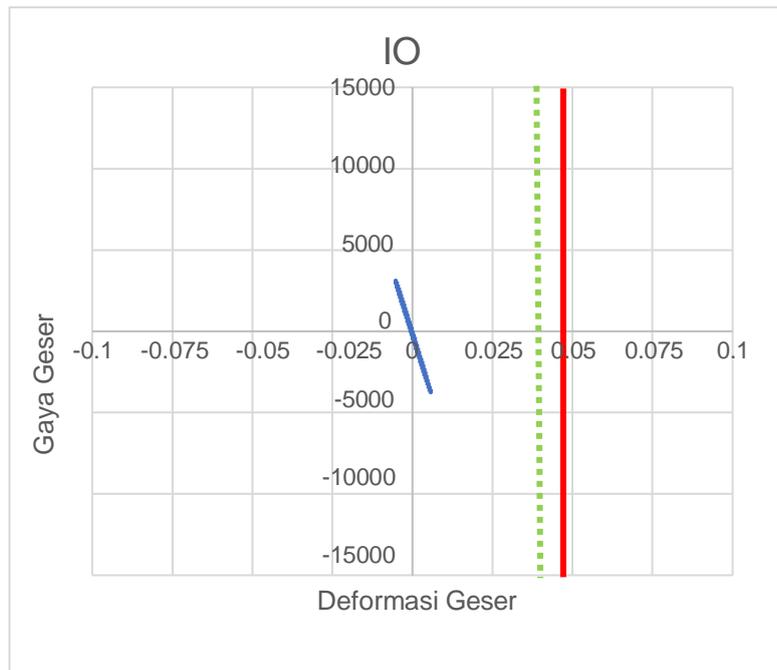
Pada Gambar 4.5 menunjukkan pada kondisi batas IO nilai simpangan maksimum yang terjadi berada pada lantai 5 yang di akibatkan gerakan tanah dari rekaman gempa Irpinia, Italy-01 dengan nilai sebesar 0.006945 inch rad. Kemudian pada kondisi LS nilai simpangan maksimum terjadi pada lantai 2 yang di akibatkan gerakan tanah dari rekaman gempa Gazli dengan nilai sebesar 0.020909 inch rad. Pada kondisi CP nilai simpangan maksimum terjadi pada lantai 2 yang di akibatkan gerakan tanah dari rekaman gempa Imperial Valley dengan nilai sebesar 0.048564 inch rad. Pada kondisi COLLAPSE simpangan maksimum terjadi pada lantai 1 yang di akibatkan gerakan tanah dari rekaman gempa Imperial Valley dengan nilai 0.15084 inch rad.



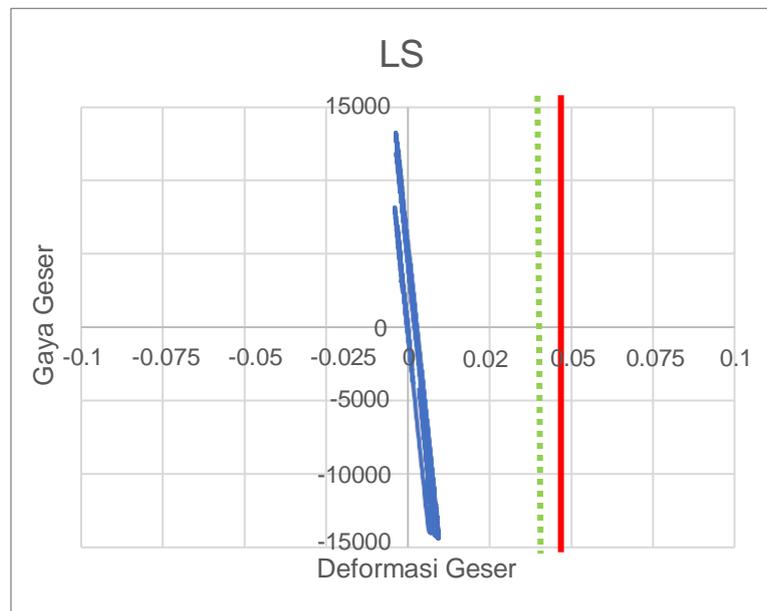
Gambar 4.7: Menunjukkan Inter Story Drift pada model 2 (8 lantai) akibat gerakan tanah gempa dekat.

### 4.3.3 Sendi Plastis

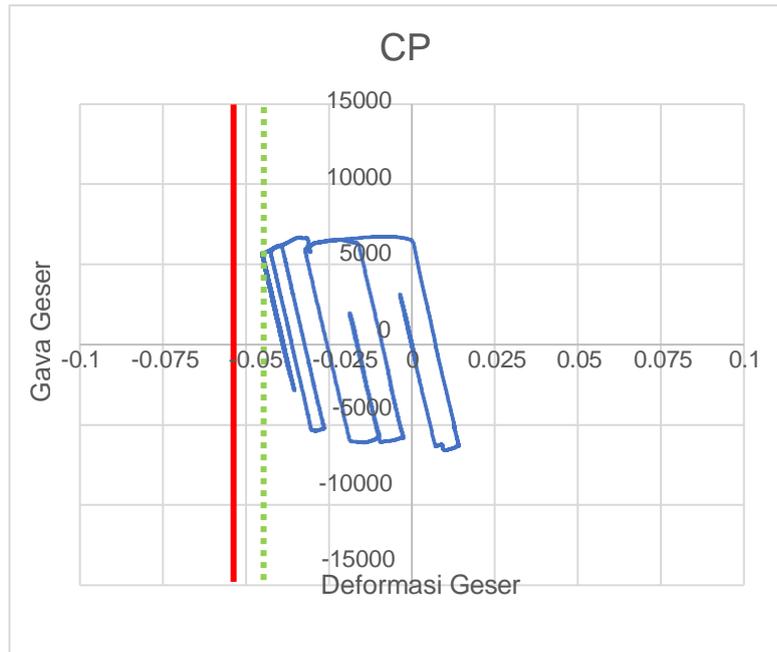
Gambar 4.8 – 4.11 menunjukkan hasil respon gaya dan deformasi geser pada *panel zone* SRPMK baja pemodelan 1 (4 lantai) akibat gempa dekat. Garis hijau putus-putus pada gambar tersebut menjelaskan kondisi deformasi geser pasca leleh yaitu  $4\gamma = 0.03277$  dan garis merah pada gambar tersebut menjelaskan kondisi deformasi geser batas  $6\gamma = 0.04916$ . Nilai  $4\gamma$  menjelaskan nilai deformasi geser plastis ( $\gamma_P$ ) dimana tahanan geser yang tersisa pada panel zone hanyalah karena strain hardening. Nilai itu juga menjelaskan telah terjadinya tekuk lokal pada sayap panel zone di pertemuan sayap balok (*local kinky*) sebagai akibat telah terjadinya leleh geser pada badan panel zone (Skiadipoulos dkk., 2021). Gambar tersebut menjelaskan bahwa deformasi geser pasca leleh  $4\gamma$  telah tercapai pada kondisi batas CP. Hal ini menunjukkan *panel zone* mengalami plastifikasi geser yang signifikan ketika kondisi CP. Dalam hal ini dapat di simpulkan bahwa perilaku sendi plastis elemen panel zone berhasil terjadi pada kondisi batas CP.



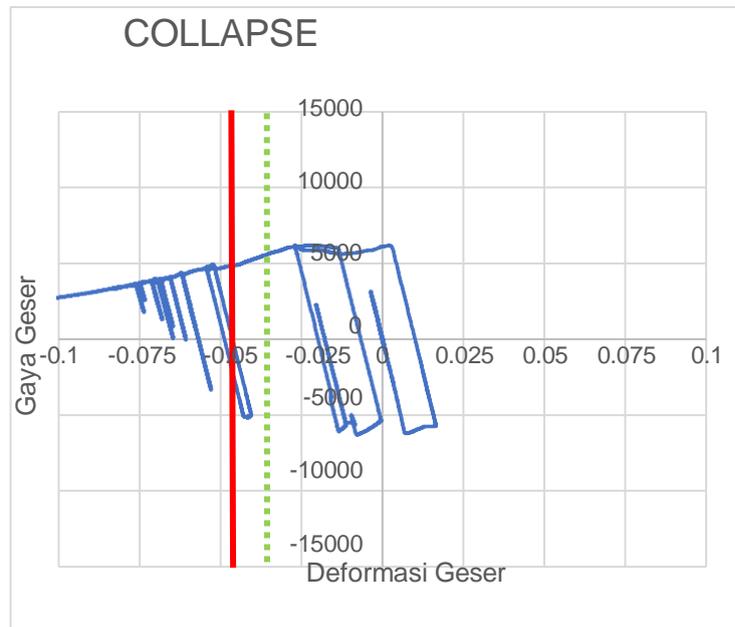
Gambar 4.8: Kinerja sendi plastis Panel Zone pada Model 1 (4 lantai) dalam kondisi IO saat terkena gempa dekat



Gambar 4.9: Kinerja sendi plastis Panel Zone pada Model 1 (4 lantai) dalam kondisi LS saat terkena gempa dekat

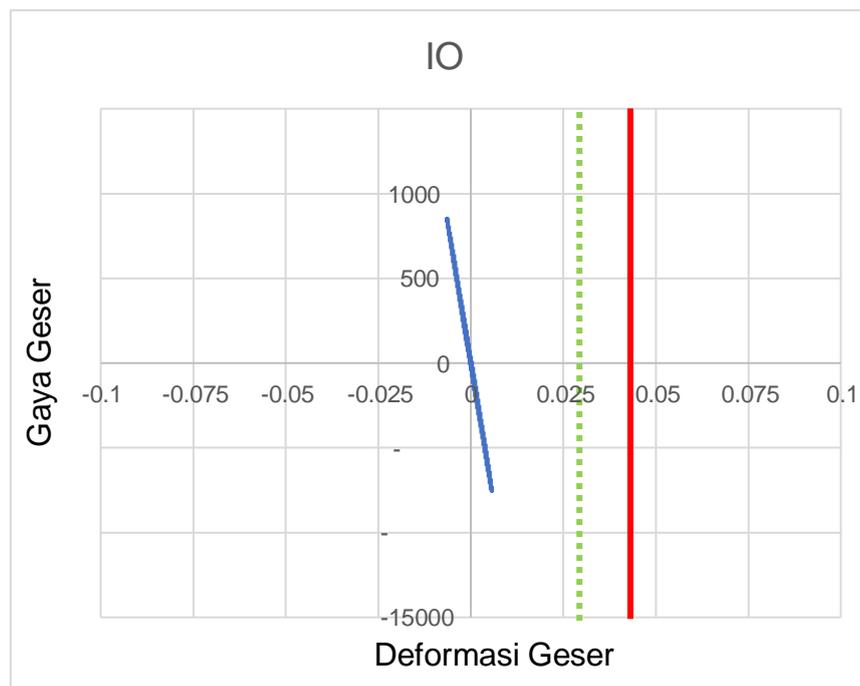


Gambar 4.10: Kinerja sendi plastis Panel Zone pada Model 1 (4 lantai) dalam kondisi CP saat terkena gempa dekat.

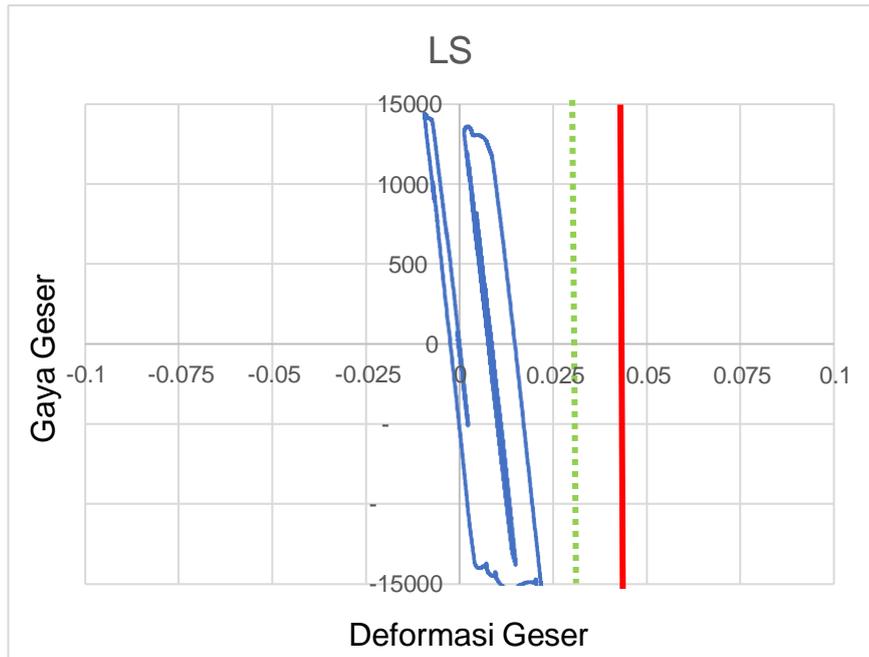


Gambar 4.11: Kinerja sendi plastis Panel Zone pada Model 1 (4 lantai) dalam kondisi Collapse saat terkena gempa dekat.

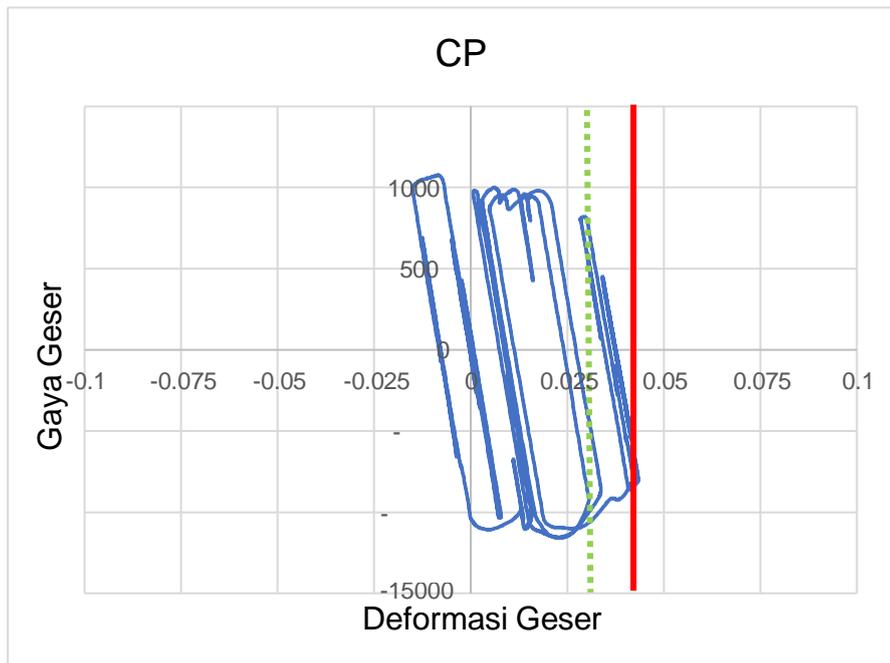
Gambar 4.12 - 4.15 menunjukkan hasil respon gaya dan deformasi geser pada *panel zone* SRPMK baja akibat gempa dekat. Garis merah dan garis hijau putus-putus pada gambar tersebut menjelaskan batas deformasi geser pasca leleh yaitu  $4\gamma = 0.00291$  dan  $6\gamma = 0.04364$ . Nilai  $4\gamma$  menjelaskan nilai deformasi geser plastis ( $\gamma_P$ ) dimana tahanan geser yang tersisa pada *panel zone* hanyalah karena strain hardening. Nilai itu juga menjelaskan telah terjadinya tekuk lokal pada sayap *panel zone* di pertemuan sayap balok (local kinky) sebagai akibat telah terjadinya leleh geser pada badan *panel zone* (Skiadipoulos dkk., 2021). Gambar tersebut menjelaskan bahwa deformasi geser pasca leleh  $4\gamma$  dan  $6\gamma$  telah tercapai pada kondisi batas CP. Hal ini menunjukkan *panel zone* mengalami plastifikasi geser yang signifikan sebelum kondisi batas *Collapse* dan sudah mulai terjadi proses runtuh yang tidak begitu besar pada batas CP.



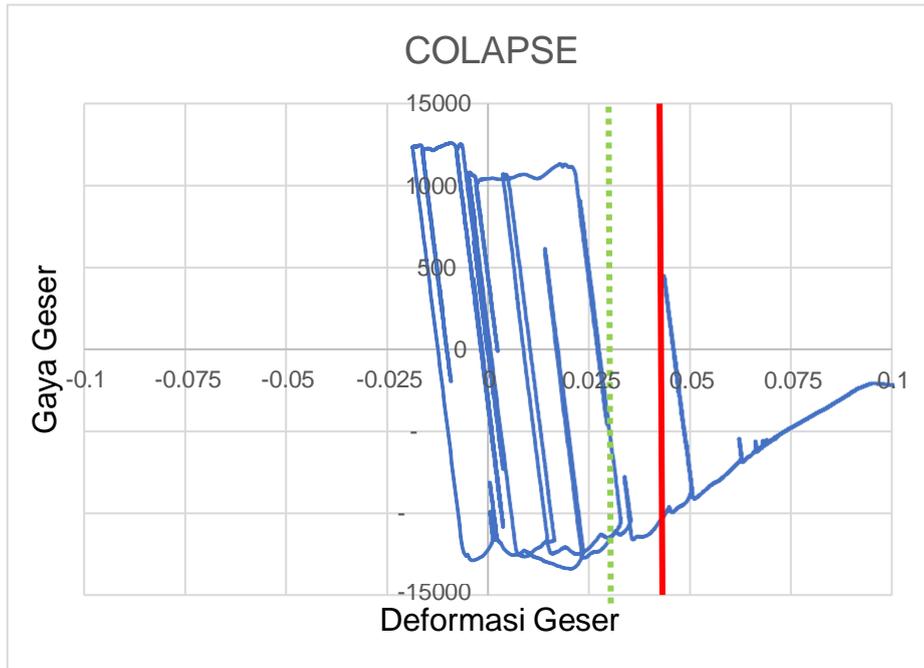
Gambar 4.12: Kinerja sendi plastis Panel Zone pada Model 2 (8 lantai) dalam kondisi IO saat terkena gempa dekat.



Gambar 4.13: Kinerja sendi plastis Panel Zone pada Model 2 (8 lantai) dalam kondisi LS saat terkena gempa dekat.



Gambar 4.14: Kinerja sendi plastis Panel Zone pada Model 2 (8 lantai) dalam kondisi CP saat terkena gempa dekat.



Gambar 4.15: Kinerja sendi plastis Panel Zone pada Model 2 (8 lantai) dalam kondisi Collapse saat terkena gempa dekat.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Perilaku sendi plastis telah terjadi pada panel zone di pemodelan 1 (4 lantai) yang dapat terlihat dengan terjadinya deformasi geser  $4\gamma_y$  (nilai yang menunjukkan kondisi deformasi geser pasca leleh) yang tercapai pada kondisi batas CP, sehingga pada kondisi batas CP telah terjadi tekuk lokal pada sayap panel zone.
2. Perilaku sendi plastis pada panel zone di pemodelan 2 (8 lantai) dapat terlihat dengan terjadinya deformasi geser  $4\gamma_y$  (nilai yang menunjukkan kondisi deformasi geser pasca leleh) yang tercapai pada kondisi batas CP, sehingga pada kondisi batas CP telah terjadi tekuk lokal pada sayap panel zone.

#### **5.2 Saran**

1. Di lakukan penambahan baik dari jumlah model maupun tingkatan bangunan untuk di evaluasi.
2. Penambahan ground motion yang akan di terapkan pada setiap mosel yang di buat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baker, J. W. (2007). Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis. *Bulletin of the seismological society of America*, 97(5), 1486-1501.
- Baker, J.W., 2015. Efficient analytical fragility function fitting using dynamic structural analysis. *Earthquake Spectra*, 31(1), pp.579-599
- Dávila-Arbona, F. J., Castro, J. M. and Elghazouli, A. Y. (2008) 'Review of panel zone design approaches for steel moment frames', 14th World Conference on Earthquake Engineering.
- Elkady A, Lignos DG. 'Modeling of the composite action in fully restrained beam- to-column connections: implications in the seismic design and collapse capacity of steel special moment frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamic*' 2014; 43(13):1935–1954. DOI: 10.1002/eqe.2430.
- Elkady, A., & Lignos, D. G. (2015). Effect of gravity framing on the overstrength and collapse capacity of steel frame buildings with perimeter special moment frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 44(8), 1289-1307.
- Farsangi, E. N., & Tasnimi, A. A. (2016). The influence of coupled horizontal–vertical ground excitations on the collapse margins of modern RC-MRFs. *International Journal of Advanced Structural Engineering (IJASE)*, 8, 169-192.
- Hamidia, M., Shokrollahi, N., & Ardakani, R. R. (2022). The collapse margin ratio of steel frames considering the vertical component of earthquake ground motions. *Journal of Constructional Steel Research*, 188, 107054.
- Hamidia, M., Shokrollahi, N., & Nasrolahi, M. (2021). Soil-structure interaction effects on the seismic collapse capacity of steel moment-resisting frame buildings. In *Structures* (Vol. 32, pp. 1331-1345). Elsevier.

## LAMPIRAN

### L.1. Syarat Periode Struktur

Penentuan periode yang akan digunakan untuk perhitungan gaya geser dasar dan gaya lateral statik ekuivalen adalah berdasarkan SNI 1726:2019.

a. Model 1 data struktur:

- Tinggi lantai bawah : 4.6 m
- Tinggi lantai tipikal : 4 m
- Hn : 16.6 m
- Cu : 1.5
- Ct : 0.0724
- x : 0.8
- T min :  $C \frac{h^x}{t_n}$
- T max :  $Cu \times T \text{ min}$

Tabel L.1: Periode struktur Model 1 untuk arah X dan Y

Kontrol Periode Arah X			
Tmin	Tmax	Tprogram	Tdipakai
0.685212121	1.027818181	2.206	1.028
Kontrol Periode Arah Y			
Tmin	Tmax	Tprogram	Tdipakai
0.685212121	1.027818181	1.572	1.028

b. Model 2 data struktur:

- Tinggi lantai bawah : 4.6 m
- Tinggi lantai tipikal : 4 m
- Hn : 32.6 m
- Cu : 1.5
- Ct : 0.0724
- x : 0.8
- T min :  $C \frac{h^x}{t_n}$
- T max :  $Cu \times T \text{ min}$

Tabel L.2: Periode struktur Model 2 untuk arah X dan Y

Kontrol Periode Arah X			
Tmin	Tmax	Tprogram	Tdipakai
1.175743662	1.763615493	2.584	1.764
Kontrol Periode Arah Y			
Tmin	Tmax	Tprogram	Tdipakai
1.175743662	1.763615493	2.462	1.764

## L.2. Modal Participating Mass Ratios

### L.2.1. Modal Participating Mass Ratios Model 1

Tabel L.3: Hasil output *Modal Participating Mass Ratios* struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 1).

SYARAT			
Moda (Periode)	Selisih Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1 - T2	29%	NOT OK	OK
T2 - T3	14%	OK	NOT OK
T3 - T4	44%	NOT OK	OK
T4 - T5	35%	NOT OK	OK
T5 - T6	12%	OK	NOT OK
T6 - T7	6%	OK	NOT OK
T7 - T8	36%	NOT OK	OK
T8 - T9	3%	OK	NOT OK
T9 - T10	11%	OK	NOT OK
T10 - T11	31%	NOT OK	OK
T11 - T12	10%	OK	NOT OK

Tabel L.4: Hasil output *Modal Participating Mass Ratios* struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 2).

SYARAT			
Moda (Perioda)	Selisih Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1 - T2	5%	OK	NOT OK
T2 - T3	29%	NOT OK	OK
T3 - T4	48%	NOT OK	OK
T4 - T5	7%	OK	NOT OK
T5 - T6	25%	NOT OK	OK
T6 - T7	18%	NOT OK	OK
T7 - T8	11%	OK	NOT OK
T8 - T9	19%	NOT OK	OK
T9 - T10	7%	OK	NOT OK
T10 - T11	19%	NOT OK	OK
T11 - T12	11%	OK	NOT OK

### L.3. Berat Sendiri Struktur

#### L.3.1. Berat Sendiri Struktur (Model 1)

Tabel L.5: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur.

Story	<i>Self Weight</i> (kN)
4	1.885186
3	1.944083
2	1.958588
1	1.960308
TOTAL	7.748

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa berat total struktur untuk tersebut adalah 7.748 kN.

### L.3.2. Berat Sendiri Struktur (Model 2)

Tabel L.6: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur.

Story	<i>Self Weight</i> (kN)
8	1.115481
7	1.202102
6	1.213938
5	1.184578
4	1.223929
3	1.239287
2	1.240929
1	1.21777
TOTAL	9.638

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa berat total struktur untuk tersebut adalah 9.638 kN.

### L.4. Perhitungan Gaya Geser Dasar dan Gaya Lateral Statik Ekvivalen

Gaya geser dasar yang digunakan untuk menghitung gaya lateral statik ekvivalen ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019.

#### Model 1

Data struktur:

- $S_{D1}$  : 0.1774
- $S_{Ds}$  : 0.236
- $R$  : 8
- $I_e$  : 1
- $S_1$  : 0.112

Tabel L.7: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 1 (R=8).

Cs minimum	Cs hitungan	Cs maksimum	CsX digunakan	CsY digunakan
0.007	0.0296	0.021576	0.0216	0.0216

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah:

$$V = C_s \times W_t$$

$$= 0.0216 \times 75984$$

$$V = 1639.41 \text{ kN}$$

- ✓ Penentuan nilai k berdasarkan SNI 1726:2019, k adalah eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0.5 detik atau kurang, k = 1.
  - Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2.5 detik atau lebih, k = 2.
  - Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0.5 dan 2.5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Tabel L.8: Nilai story shear untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 1.

Story	Berat Wx	h (mm)	$W_x \cdot h^k$ (X)	$W_x \cdot h^k$ (Y)	Force (x)	Force (y)	Story Shear (x)	Story Shear (y)
4	1.885186	4000	67302.4	67302.4	495.1	495.1	495.1	495.1
3	1.944083	4000	69405.1	69405.1	510.6	510.6	1005.8	1005.8
2	1.958588	4000	69922.9	69922.9	514.4	514.4	1520.2	1520.2
1	1.960308	4600	83505.9	83505.9	614.4	614.4	2134.6	2134.6
TOTAL			222833.9	222833.9	1639.4	1639.4	4660.5	4660.5

Berdasarkan Tabel L.8, dapat diketahui nilai gaya geser pada model 1 arah X yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk struktur tersebut adalah 1639.4 kN. Dan diketahui nilai gaya geser pada model 1 arah Y yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk struktur tersebut adalah 1639.4 kN.

## Model 2

Data struktur:

- $S_{D1}$  : 0.1774
- $S_{Ds}$  : 0.236
- $R$  : 8
- $I_e$  : 1
- $S_1$  : 0.112

Tabel L.9: Nilai  $C_s$  yang digunakan untuk Model 2 ( $R=8$ ).

$C_s$ minimum	$C_s$ hitungan	$C_s$ maksimum	$C_sX$ digunakan	$C_sY$ digunakan
0.007	0.0296	0.0126	0.0126	0.0126

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah:

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W_t \\ &= 0.0126 \times 94517 \\ V &= 1188.47 \text{ kN} \end{aligned}$$

- ✓ Penentuan nilai  $k$  berdasarkan SNI 1726:2019,  $k$  adalah eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:
  - Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0.5 detik atau kurang,  $k = 1$ .
  - Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2.5 detik atau lebih,  $k = 2$ .
  - Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0.5 dan 2.5 detik,  $k$  harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Tabel L.10: Nilai story shear untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 2.

Story	Berat $W_x$	$h$ (mm)	$W_x \cdot h^k$ (X)	$W_x \cdot h^k$ (Y)	Force (x)	Force (y)	Story Shear (x)	Story Shear (y)
8	1.115481	4000	842037.8	842037.8	330.6	330.6	330.6	330.6

Tabel L.10: *lanjutan*

Story	Berat $W_x$	h (mm)	$W_x \cdot h_x^k$ (X)	$W_x \cdot h_x^k$ (Y)	Force (x)	Force (y)	Story Shear (x)	Story Shear (y)
7	1.202102	4000	907425.0	907425.0	356.3	356.3	356.3	356.3
6	1.213938	4000	916359.5	916359.5	359.8	359.8	359.8	359.8
5	1.184578	4000	894196.7	894196.7	351.1	351.1	351.1	351.1
4	1.223929	4000	923901.4	923901.4	362.7	362.7	362.7	362.7
3	1.239287	4000	935494.6	935494.6	367.3	367.3	730.0	730.0
2	1.240929	4000	936734.1	936734.1	367.8	367.8	1097.8	1097.8
1	1.21777	4600	1154733.8	1154733.8	453.4	453.4	1551.2	1551.2
TOTAL			3026962.5	3026962.5	1188.5	1188.5	3379.1	3379.1

Berdasarkan Tabel L.10, dapat diketahui nilai gaya geser pada model 2 arah X yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk struktur tersebut adalah 1188.5 kN. Dan diketahui nilai gaya geser pada model 2 arah Y yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk struktur tersebut adalah 1188.5 kN.

#### L.5. Koreksi story shear dengan 35% base shear

Tabel L.11: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1,  $R = 8$ , untuk Model 1.

Struktur <i>Fixed Base</i>			
Lantai Ke-	Story Shear (V) (kg)	Base Shear (V) (kg)	Cek 35% V Base Shear < Story Shear V
4	79158.8	573.7920118	OK
3	113257.45	573.7920118	OK
2	141461.66	573.7920118	OK
1	167234.19	573.7920118	OK

Tabel L.12: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1, R = 8, untuk Model 2.

Struktur <i>Fixed Base</i>			
Lantai Ke-	Story Shear (V) (kg)	Base Shear (V) (kg)	Cek 35% V Base Shear < Story Shear V
8	8220.43	415.9638415	OK
7	12735.42	415.9638415	OK
6	15027.13	415.9638415	OK
5	17064.39	415.9638415	OK
4	17802.35	415.9638415	OK
3	19659.04	415.9638415	OK
2	21896.19	415.9638415	OK
1	24387.87	415.9638415	OK

## L.6. Nilai Simpangan Gedung

Tabel L.13: Hasil analisa nilai Simpangan Gedung pada (Model 1).

Story	Displacement		Elastic Drift		h (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek
	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
4	0.613	0.048	0.171	0.015	4000	0.941	0.083	61.538	OK
3	0.442	0.033	0.182	0.014	4000	1.001	0.077	61.538	OK
2	0.26	0.019	0.164	0.012	4000	0.902	0.066	61.538	OK
1	0.096	0.007	0.096	0.007	4600	0.528	0.039	70.769	OK

Tabel L.14: Hasil analisa nilai Simpangan Gedung pada (Model 2).

Story	Displacement		Elastic Drift		h (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek
	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
8	30.613	7.713	2.567	0.493	4000	14.119	2.711	61.538	OK
7	28.046	7.220	3.144	0.710	4000	17.292	3.907	61.538	OK
6	24.902	6.510	3.710	0.940	4000	20.405	5.169	61.538	OK
5	21.192	5.570	4.003	1.054	4000	22.017	5.796	61.538	OK
4	17.189	4.516	4.253	1.128	4000	23.392	6.202	61.538	OK

Tabel L.14: *lanjutan*

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
3	12.936	3.388	4.185	1.129	4000	23.018	6.210	61.538	OK
2	8.751	2.259	4.494	1.203	4000	24.717	6.614	61.538	OK
1	4.257	1.057	4.257	1.057	4600	23.414	5.811	70.769	OK

### L.7. Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (*Soft Story*)

Tabel L.15: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah X (Model 1).

Story	Story Stiffness (kN/m)	Story Stiffness > 70% Story Stiffness above	kr	ki/kr (%)	Story Stiffness < 80% Story Stiffness above
4	102139.262				
3	142422.321	OK	133494.81		
2	155922.86	OK	158467.93	116.8006868	OK
1	177058.609	OK		111.7315087	OK

Tabel L.16: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah Y (Model 1).

Story	Story Stiffness (kN/m)	Story Stiffness > 70% Story Stiffness above	kr	ki/kr (%)	Story Stiffness < 80% Story Stiffness above
4	193787.872				
3	236954.415	OK	232362.75		
2	266345.976	OK	287804.36	114.6250727	OK
1	360112.684	OK		125.1241246	OK

Tabel L.17: Kontrol ketidakberaturan kekauan tingkat lunak pada arah X (Model 2).

Story	Story Stiffness (kN/m)	Story Stiffness > 70% Story Stiffness above	kr	ki/kr (%)	Story Stiffness < 80% Story Stiffness above
8	105664.853				
7	142143.971	OK	134037.22		
6	154302.844	OK	156149.52		
5	172001.755	OK	171618.01	128.3238727	OK
4	188549.424	OK	193461.35	120.7492793	OK
3	219832.86	OK	212651.33	128.0942851	OK
2	229571.715	OK		118.6654178	OK
1	261535.409	OK		122.9879001	OK

Tabel L.18: Kontrol ketidakberaturan kekauan tingkat lunak pada arah Y (Model 2).

Story	Story Stiffness (kN/m)	Story Stiffness > 70% Story Stiffness above	kr	ki/kr (%)	Story Stiffness < 80% Story Stiffness above
8	88129.003				
7	142381.673	OK	131203.6497		
6	163100.273	OK	161132.7013		
5	177916.158	OK	179185.0627	135.6030556	OK
4	196538.757	OK	199986.8007	121.9732279	OK
3	225505.487	OK	227858.4127	125.8506059	OK
2	261530.994	OK		130.7741277	OK
1	383657.767	OK		168.3755111	OK

## L.8. Pengaruh Efek P-Delta

Tabel L.19: Hasil analisa P-Delta struktur Model 1 (R=8).

Lt	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, $\theta_{max}$	Cek
	$\Delta_x$	$\Delta_y$	P	$V_x$	$V_y$		$\theta_X$	$\theta_Y$			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
4	0.941	0.083	332.6	776.3	721	4000	0.0000	0.0000	0.1	0.1	OK

Tabel L.19: lanjutan

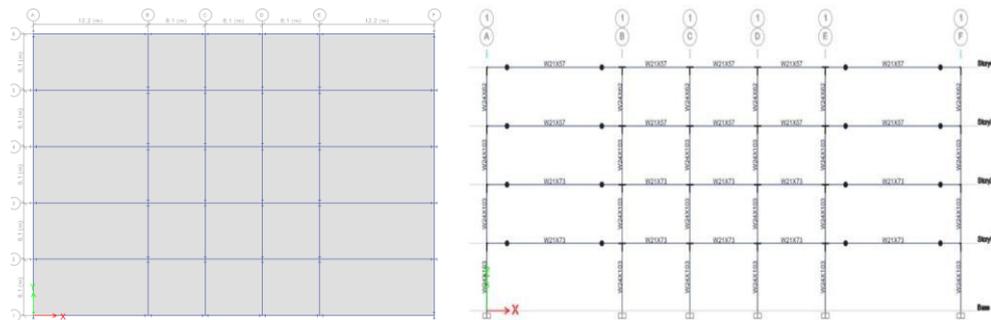
Lt	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, $\theta_{max}$	Cek
	$\Delta_X$	$\Delta_Y$	P	$V_x$	$V_y$		$\theta_X$	$\theta_Y$			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
3	1.001	0.077	687.2	1110.7	1,122	4000	0.0000	0.0000	0.1	0.1	OK
2	0.902	0.066	104655.3	1387.3	1,426	4000	0.0031	0.0002	0.1	0.1	OK
1	0.528	0.039	140594.2	1640.0	1,640	4600	0.0018	0.0001	0.1	0.1	OK

Tabel L.20: Hasil analisa P-Delta struktur Model 2 (R=8).

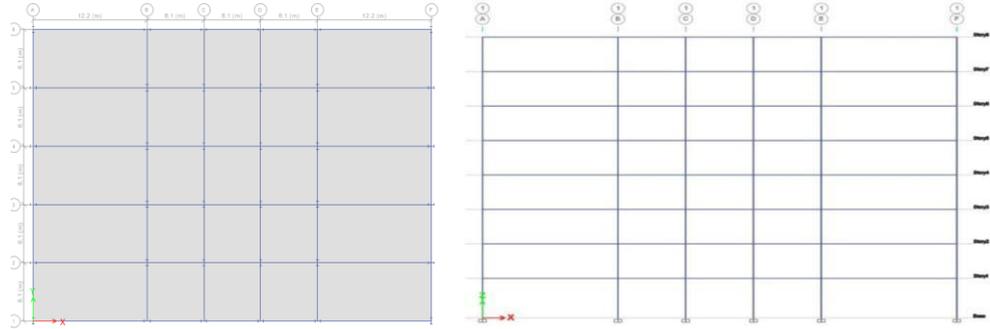
Lt	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, $\theta_{max}$	Cek
	$\Delta_X$	$\Delta_Y$	P	$V_x$	$V_y$		$\theta_X$	$\theta_Y$			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
8	14.1	2.7	14191.0	1228.8	3186.7	4000	0.007	0.001	0.1	0.1	OK
7	17.3	3.9	31604.7	1973.8	4708.6	4000	0.013	0.001	0.1	0.1	OK
6	20.4	5.2	49173.5	2487.7	5826.6	4000	0.018	0.002	0.1	0.1	OK
5	22.0	5.8	66142.7	2866.2	6663.9	4000	0.023	0.003	0.1	0.1	OK
4	23.4	6.2	83831.5	3216.8	7506.2	4000	0.028	0.003	0.1	0.1	OK
3	23.0	6.2	101686.9	3576.3	8361.1	4000	0.030	0.003	0.1	0.1	OK
2	24.7	6.6	119580.9	3939.1	9233.1	4000	0.034	0.004	0.1	0.1	OK
1	23.4	5.8	137410.1	4212.0	9802.3	4600	0.030	0.003	0.1	0.1	OK

## L.9. Model Denah Struktur

Untuk model denah struktur Model 1 dapat dilihat seperti gambar dibawah:



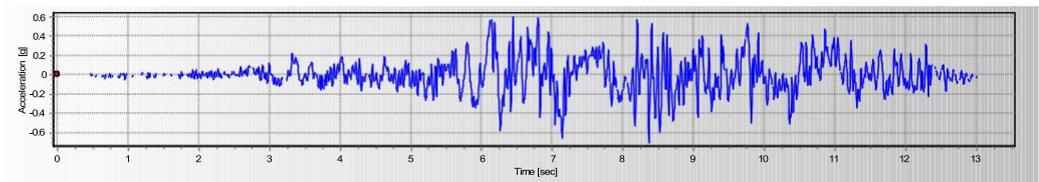
Untuk model denah struktur Model 2 dapat dilihat seperti gambar dibawah:



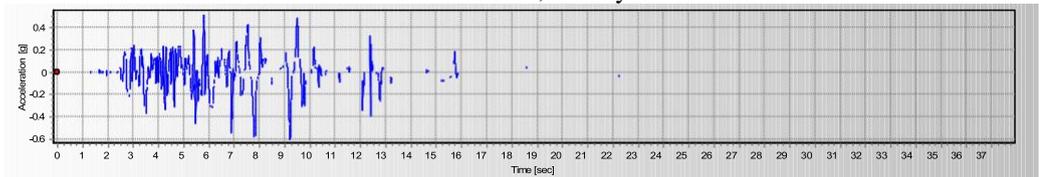
## L.10 Rekaman Gempa

Terdapat dua tipe *ground motion* yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu *ground motion* tanpa efek *pulse* dan *ground motion* mengandung efek *pulse*.

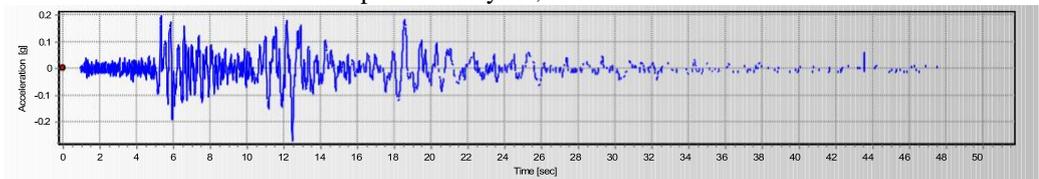
### a. Rekaman gempa tanpa mengandung efek *pulse*



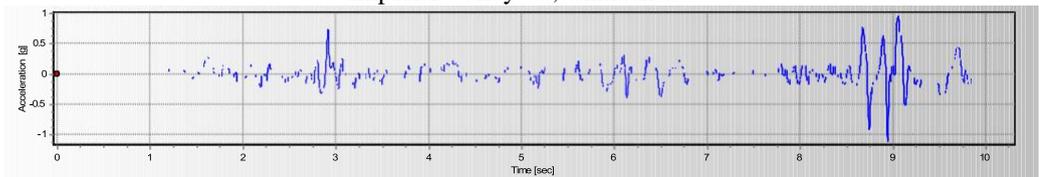
Gazli - USSR, Karakyr



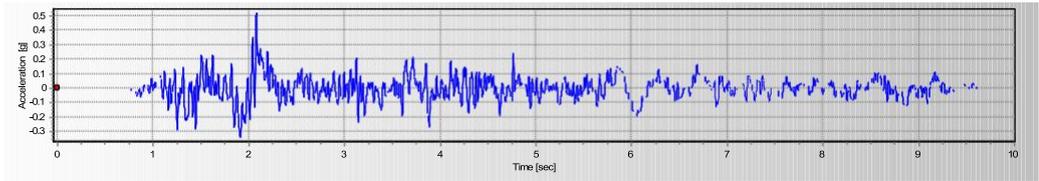
Imperial Valley-06, Bonds Corner



Imperial Valley-06, Chihuahua

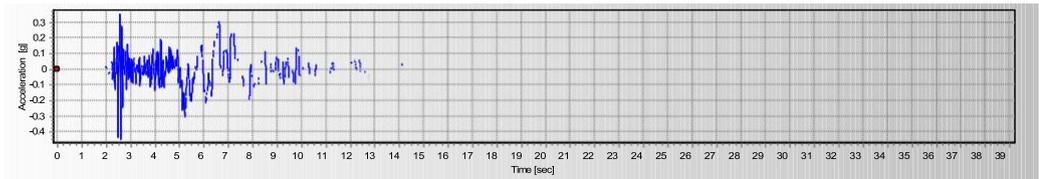


Nahanni - Canada, Site 1

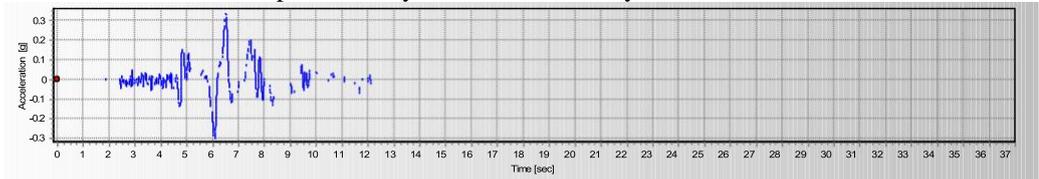


Nahanni - Canada, Site 2

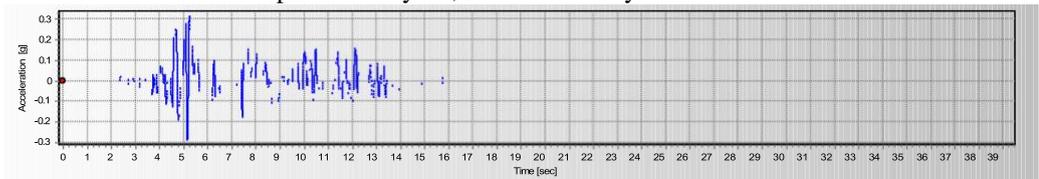
b. Rekaman gempa mengandung efek *pulse*



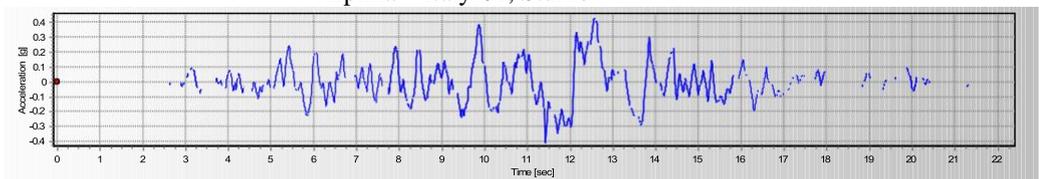
Imperial Valley-06, El Centro Array #6



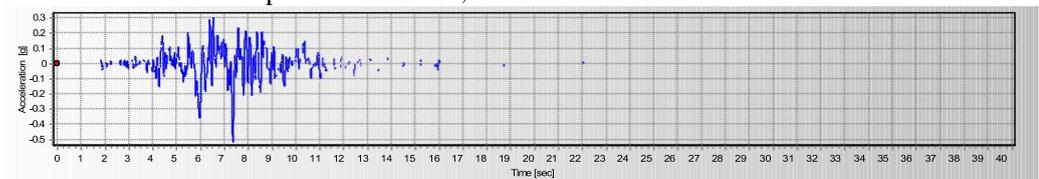
Imperial Valley-06, El Centro Array #7



Irpinia - Italy-01, Sturno



Superstition Hills-02, Parachute Test Site



Loma Prieta, Saratoga-Aloha

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA PRIBADI

Nama : Cindy Fauziyah Anggraini  
Tempat, Tanggal lahir : Karang Sari, 20 Januari 2003  
Jenis kelamin : Perempuan  
Kewarganegaraan : Indonesia  
Agama : Islam  
Alamat : Jl. M. Saman, Percut Sei Tuan,  
Kab. DeliSerdang, Sumatera Utara.  
Telepon : 081263398662  
Email : [facindy90@gmail.com](mailto:facindy90@gmail.com)

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Tahun lulus 2014 : MIN Karang Sari  
Tahun lulus 2017 : MTsN Pematangsiantar  
Tahun lulus 2020 : MAN Pematangsiantar  
2020 - Selesai : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara