

TUGAS AKHIR

EVALUASI SEISMİK UNTUK RASIO BATAS KERUNTUHAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG TIDAK BERATURAN HORIZONTAL DI INDONESIA

(Studi Literatur)

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

Disusun oleh:

DIMAS ANGGIT BRATAMA
1807210168



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

2023

LEMBAR PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa skripsi yang berjudul “EVALUASI SEISMİK UNTUK RASIO BATAS KERUNTUHAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG TIDAK BERATURAN HORIZONTAL DI INDONESIA”

Ditulis oleh Mahasiswa/i yang bernama:

Dimas Anggit Bratama (NPM: 1807210168)

untuk kemudian disebut sebagai Pihak ke-1,

adalah benar merupakan sebagian hasil dari penelitian Dosen yang melibatkan Mahasiswa/i (Pihak ke-1) di bawah ini:

Judul penelitian: Evaluasi Seismik Untuk Rasio Batas Keruntuhan Struktur Gedung Beton Bertulang Tidak Beraturan Horizontal Di Indonesia.

Nama dosen : Ade Faisal, S.T., M.Sc., PhD (NIDN: 0123097203)

Jenis penelitian : Dikti; UMSU; Mandiri; Hibah lainnya. (coret yang tidak perlu)

Nomor kontrak : (tidak diisi untuk Penelitian Mandiri)

untuk kemudian disebut sebagai Pihak ke-2.

Untuk itu Pihak ke-2 berhak mempublikasikan isi Skripsi seluruhnya tanpa harus meminta izin dari Pihak ke-1. Sedangkan Pihak ke-1 wajib meminta izin terlebih dahulu kepada Pihak ke-2 bila ingin mempublikasikan isi Skripsi ini.

Demikian Surat Pernyataan dan Persetujuan ini dibuat dengan sebenarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun.


Medan, Juni 2023

Yang membuat pernyataan dan persetujuan:

Pihak ke-2 (Dosen)

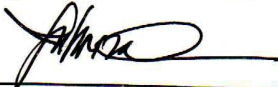
Pihak ke-1 (Mahasiswa/i)


(Ade Faisal, S.T., M.Sc., PhD)
NIDN: 0123097203


(Dimas Anggit Bratama)
NPM: 1807210168

Diketahui oleh:

Ketua Program Studi Teknik Sipil


(Assoc. Prof. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc, PhD)
NIDN: 0127047505

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Dimas Anggit Bratama

NPM : 1807210168

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Evaluasi Seismik Untuk Rasio Batas Keruntuhan Struktur Gedung Beton Bertulang Tidak Beraturan Horizontal Di Indonesia (Studi Literatur).

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan di terima 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, Juni 2023

Dosen Pembimbing


Dr. Ade Farsa, ST, MSc, PhD

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Dimas Anggit Bratama

NPM : 1807210168

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Evaluasi Seismik Untuk Rasio Batas Keruntuhan Struktur Gedung Beton Bertulang Tidak Beraturan Horizontal Di Indonesia (Studi Literatur).

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, Juni 2023

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Dr. Ade Faisal, ST, MSc, PhD

Dosen Penguji I



Dr. Fahrizal Zulkarnain

Dosen Penguji II



Rizki Efrida, ST, MT

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir ini di ajukan Oleh:

Nama : Dimas Anggit Bratama
Tempat, Tanggal Lahir : Kisaran, 11 Desember 1999
Npm : 1807210168
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul “Evaluasi Seismik Untuk Rasio Batas Keruntuhan Struktur Gedung Beton Bertulang Tidak Beraturan Horizontal Di Indonesia (Studi Literatur)”.

Bukan merupakan plagiat, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan nonmaterial, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakikatnya bukan merupakan karya tulis. Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kerjasama 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, Juni 2023

Saya yang menyatakan



Dimas Anggit Bratama

ABSTRAK

EVALUASI SEISMIK UNTUK RASIO BATAS KERUNTUHAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG TIDAK BERATURAN HORIZONTAL DI INDONESIA (STUDI LITERATUR)

Dimas Anggit Bratama

1807210168

Dr. Ade Faisal, ST, MSc, PhD

Dalam perencanaan sebuah gedung bertingkat harus memperhatikan beberapa aspek dari unsur kekuatan, kenyamanan, serta aspek ekonomis. Indonesia termasuk dalam kategori negara dengan tingkat kerawanan gempa yang tinggi. Oleh karena itu diperlukan struktur bangunan yang mampu mengurangi resiko kerusakan akibat gempa yang dapat menyebabkan efek kerusakan yang signifikan pada bangunan. Struktur beton bertulang sangat masif digunakan disetiap bangunan di Indonesia. Pada tugas akhir ini terdapat 2 jenis model bangunan struktur beton bertulang yang dimodelkan yaitu Gedung 3 lantai Torsi Normal dan Gedung 3 lantai Torsi Ekstrem untuk dianalisis secara linear dan non linear. Untuk analisis linear menggunakan gempa Palu tanah lunak dan terdapat 20 rekaman gempa *fling* yang digunakan untuk analisis non linear. Analisa yang digunakan adalah Respon Spektrum sebagai tahap desain dan Respon Riwayat Waktu Linear dan Nonlinear sebagai tahap evaluasi, dengan alat bantu software analisa struktur. Dari hasil analisis diperoleh nilai IDA (*Incremental Dynamic Analysis*) untuk model bangunan Torsi Normal pada arah X diperoleh S_{CT} 6.93 g dan S_{MT} 1.07 g serta pada arah Y diperoleh S_{CT} 5.77 g dan S_{MT} 1.07 g, lebih besar dibandingkan dengan model dengan Torsi Ekstrem dimana pada arah X dan Y masing-masing diperoleh S_{CT} 6.1 g, S_{MT} 1.07 g dan S_{CT} 5.59 g, S_{MT} 1.07 g. Dan nilai CMR (*collapse margin ratio*) untuk Torsi Normal pada X dan Y diperoleh 6.49 dan 5.4, lebih besar dibandingkan dengan Torsi Ekstrem dimana X dan Y diperoleh nilai 5.71 dan 5.23.

Kata kunci : Gempa bumi, Seismik, Beton bertulang, *Collapse Margin Ratio* (CMR)

ABSTRACT

SEISMIC EVALUATION OF COLLAPSE MARGIN RATIO FOR HORIZONTAL IRREGULARITY OF REINFORCED CONCRETE IN INDONESIA (LITERATURE STUDY)

Dimas Anggit Bratama

1807210168

Dr. Ade Faisal, ST, MSc, PhD

In planning a multi-storey building must pay attention to several aspects of strength, comfort, and economic aspects. Indonesia is included in the category of countries with a high level of earthquake vulnerability. Therefore, a building structure is needed that is able to reduce the risk of damage due to earthquakes which can cause significant damage to buildings. Reinforced concrete structures are massively used in every building in Indonesia. In this final project, there are 2 types of reinforced concrete structure building models that are modeled, namely the 3-storey Normal Torsion Building and the 3-story Extreme Torsion Building to be analyzed linearly and non-linearly. For linear analysis using the soft ground of Palu earthquake and there are 20 recorded fling earthquakes used for non-linear analysis. The analysis used is Spectrum Response as the design stage, and Linear and Nonlinear Time History Responses as the evaluation stage, with structural analysis software tools. From the analysis results obtained IDA (Incremental Dynamic Analysis) values for the Normal Torsion building model in the X direction obtained S_{CT} 6.93 g and S_{MT} 1.07 g and in the Y direction obtained S_{CT} 5.77 g and S_{MT} 1.07 g, greater than the model with Extreme Torsion where in the X and Y directions respectively obtained S_{CT} 6.1 g, S_{MT} 1.07 g and S_{CT} 5.59 g, S_{MT} 1.07 g. And the CMR (collapse margin ratio) values for Normal Torsion at X and Y are 6.49 and 5.4, greater than the Extreme Torsion where X and Y are 5.71 and 5.23 respectively.

keywords: Earthquake, Seismic, Reinforced concrete, Collapse Margin Ratio (CMR)

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang memberikan nikmat, rahmat dan karunia yang begitu besar sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir dengan lancar. Sholawat berangkai salam tiada putus kita hadiahkan kepada Baginda Nabi Muhammad Sallallahu Alaihi Wasallam yang membawa kita dari zaman kegelapan hingga zaman terang benderang. Alhamdulillah atas nikmat kesehatan jasmani dan rohani penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul “Evaluasi Seismik Untuk Rasio Batas Keruntuhan Struktur Gedung Beton Bertulang Tidak Beraturan Horizontal Di Indonesia (Studi Literatur)” sebagai syarat untuk meraih gelar sarjana program Teknik Sipil kampus Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Banyak pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Dr. Ade Faisal, ST, MSc, PhD. Selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Dosen pembimbing I dan ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Rizki Efrida, ST, MT. selaku Dosen Pembimbing II dan sekretaris Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Terimakasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua, keluarga kakak abang saya yang memberikan dukungan dan motivasi sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
5. Teman dan rekan dalam satu kelas C-1 sudah saya anggap keluarga baru yang datang di kehidupan saya, menemani setiap proses, berbagi cerita-cerita menarik selama masa perkuliahan.
6. Teman dan rekan dalam satu tim Earthquake Engineering dan Bg Afiful Anshari yang banyak memberikan saran dan masukan, membantu dan mengarahkan disetiap masalah yang ditemukan selama riset dan memberikan banyak ilmu dan pengalaman dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Pada tugas akhir ini masih tergolong jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis berharap mendapatkan kritik dan masukan demi kesempurnaan untuk menjadi bahan pembelajaran di masa depan.

Medan, Juni 2023

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to read 'Dimas' followed by a surname.

Dimas Anggit Bratama

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------------------------------|
| LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING | Error! Bookmark not defined. |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR | iii |
| ABSTRAK | iv |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR NOTASI | xv |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penulisan | 2 |
| 1.4 Ruang Lingkup | 2 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 4 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 Umum | 6 |
| 2.2 Pengertian Gempa | 6 |
| 2.3 <i>Ground Motion</i> (Getaran Tanah) | 6 |
| 2.4 Respon Spektrum | 7 |
| 2.5 Karakteristik Bangunan Tahan Gempa | 8 |
| 2.6 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019 | 9 |
| 2.6.1 Simpangan Lantai (<i>Drift</i>) Akibat Gempa | 10 |
| 2.7 Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa | 10 |

| | | |
|-----------------------------|---|----|
| 2.7.1 | Perilaku Sistem Struktur yang Diharapkan | 11 |
| 2.7.2 | Waktu Getar Alami Efektif (Perioda Alami) | 11 |
| 2.8 | Struktur Beton | 12 |
| 2.9 | Kekakuan Struktur | 12 |
| 2.10 | Daktilitas Struktur Bangunan | 12 |
| 2.11 | Bangunan Tidak Beraturan (<i>irregular</i>) | 12 |
| 2.12 | <i>Incremental Dynamic Analysis (IDA)</i> | 13 |
| 2.13 | Torsi | 15 |
| BAB 3 METODELOGI PENELITIAN | | 17 |
| 3.1 | Umum | 17 |
| 3.2 | Permodelan Struktur | 18 |
| 3.2.1 | Data Perencanaan Struktur | 18 |
| 3.2.2 | Konfigurasi Bangunan | 18 |
| 3.2.3 | Dimensi Penampang Beton yang digunakan | 20 |
| 3.3 | <i>Collapse Margin Ratio (CMR)</i> | 21 |
| 3.4 | Desain Beton bertulang | 22 |
| 3.5 | Analisis Struktur | 23 |
| 3.5.1 | Analisa Dinamik Struktur Linier | 23 |
| 3.5.1.1 | Pembebanan | 23 |
| 3.5.1.2 | Respon Spektrum Desain Gempa | 24 |
| 3.5.1.3 | Kombinasi Pembebanan | 24 |
| 3.6 | Analisa Respon Spektrum Ragam | 25 |
| 3.6.1 | Groundmotion Records | 25 |
| 3.6.2 | Analisa Respon Riwayat waktu | 27 |
| 3.7 | Pemodelan Kolom dan Balok | 28 |
| 3.7.1 | Zona Join Balok-Kolom | 29 |
| 3.8 | Pemodelan Kolom | 31 |
| 3.8.1 | Pendekatan Momen Kurvatur | 31 |

| | | |
|----------------------------|---|----|
| 3.8.2 | Persamaan Empiris | 31 |
| 3.9 | Kekuatan Hasil Lentur | 32 |
| 3.9.1 | Beban Uniaksial dengan Gaya Aksial Konstan | 32 |
| 3.9.2 | Beban dalam Dua Arah dan/atau dengan Beban Aksial Variabel | 32 |
| 3.9.3 | Kekakuan Pengerasan Pasca-Hasil | 32 |
| 3.9.4 | Kapasitas Rotasi Plastik | 33 |
| 3.10 | Pemodelan Balok | 33 |
| 3.10.1 | Kekuatan Momen | 33 |
| 3.10.2 | Kapasitas Rotasi Plastik | 33 |
| 3.10.3 | Kapasitas rotasi pasca pembatasan dan degradasi kekuatan histeris | 33 |
| 3.10.4 | Beton Terkekang dan Tidak Terkekang – Tegangan Kompresif | 34 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN | | 38 |
| 4.1 | Hasil Model Linear dan Non Linear | 38 |
| 4.2 | Hasil Analisa Linear | 38 |
| 4.2.1 | Respon Spektrum Ragam | 38 |
| 4.2.2 | Koreksi Gempa Dasar Nominal | 38 |
| 4.2.3 | Koreksi Faktor Redudansi | 39 |
| 4.2.4 | Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat | 39 |
| 4.2.5 | Nilai Simpangan Gedung | 40 |
| 4.3 | Hasil Analisa Non Linier | 40 |
| 4.3.1 | Incremental Dynamic Analysis (IDA) | 40 |
| 4.3.2 | Analisis Probability of Exceedance | 42 |
| 4.3.2.1 | Perbandingan Kurva kerapuhan Normal dengan Ekstrem | 43 |
| 4.3.3 | Analisis Probability of Collapse | 46 |
| 4.3.4 | Collapse Margin Ratio (CMR) | 47 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | | 50 |
| 5.1 | Kesimpulan | 50 |

| | |
|----------------|----|
| 5.2 Saran | 50 |
| DAFTAR PUSTAKA | 51 |
| LAMPIRAN | 53 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Respon spektrum percepatan gempa berulang pada rekaman gempa Whittier Narrows (LA-116 St. School Station) (<i>Amiri & Bojórquez, 2019</i>) | 8 |
| Gambar 2.2 | Gaya-gaya dan simpangan horisontal pada bangunan ireguler. | 13 |
| Gambar 2.3 | a) <i>Incremental dynamic analysis</i> , b) penentuan <i>Collapse Prevention</i> pada kurva IDA (Vamvatsikos dan Cornell 1966) | 15 |
| Gambar 2.4 | Besar perpindahan torsi horisontal pada bangunan ireguler. | 16 |
| Gambar 3.1 | Bagan Alir Penelitian. | 17 |
| Gambar 3.2 | Denah struktur Model. | 19 |
| Gambar 3.3 | Gambar Proyeksi struktur Model. | 20 |
| Gambar 3.4 | Ilustrasi kurva kerapuhan dan rasio margin runtuh untuk dua sistem penahan gaya gempa hipotetis – median yang sama tingkat runtuh. | 22 |
| Gambar 3.5 | Tinjauan umum sistem rangka pemikul momen beton bertulang, menunjukkan idealisasi model garis tengah engsel yang terkonsentrasi. | 28 |
| Gambar 3.6 | Konfigurasi elemen yang direkomendasikan untuk pemodelan (a) penyesuaian kekakuan balok dan kolom offset (Elwood et al., 2007), dan (b) pegas rotasi pusat sambungan dalam rangka planar (Celik & Ellingwood, 2008). | 29 |
| Gambar 3.7 | Model kantilever ideal dari balok-kolom beton bertulang dengan engsel terkonsentrasi pada ujung komponen struktur (Haselton et al., 2016). | 30 |
| Gambar 3.8 | Momen akhir tri-linier yang ideal versus respons rotasi akor dari kolom kantilever setara (NIST, 2017). | 30 |
| Gambar 3.9 | Permukaan P-M-M Beton Bertulang dalam PERFORM-3D | 32 |
| Gambar 3.10 | Inti terkekang untuk bagian yang diperkuat dengan lingkaran persegi (Mander et al., 1988). | 36 |
| Gambar 3.11 | Kekuatan penentu terbatas dari tegangan pengekang lateral untuk penampang persegi panjang (Mander et al., 1988). | 36 |

| | | |
|------------|---|----|
| Gambar 4.1 | (a) Nilai rata-rata IDR max (<i>Interstory drift ratio</i>) untuk struktur beton bertulang dengan Torsi Normal arah X, (b) Torsi Normal arah Y, (c) Torsi Ekstrem arah X, (d) Torsi Ekstrem arah Y, dan (e) Nilai rata-rata IDR max untuk Torsi Normal dan Torsi Ekstrem pada dua arah. | 42 |
| Gambar 4.2 | a) Grafik <i>probability collapse</i> keruntuhan Torsi Normal X, b) Grafik <i>probability collapse</i> keruntuhan Torsi Normal Y, c) Grafik <i>probability collapse</i> keruntuhan Torsi Ekstrem X, d) Grafik <i>probability collapse</i> keruntuhan Torsi Ekstrem Y. | 43 |
| Gambar 4.3 | Grafik perbandingan kurva kerapuhan saat <i>collapse</i> untuk bangunan (a) Dua model untuk arah X, (b) Dua model untuk arah Y, (c) Torsi Normal pada dua arah, (d) Torsi Ekstrem pada dua arah. | 45 |
| Gambar 4.4 | Grafik <i>Probability Of Collapse</i> untuk (a) Torsi normal ekstrem pada arah X, (b) Torsi normal ekstrem pada arah Y, (c) Torsi normal pada arah X Y dan (d) Torsi Ekstrem pada arah X Y. | 47 |
| Gambar 4.5 | Diagram batang <i>Collapse Margin Ratio</i> nilai perbandingan Torsi Normal dan Torsi Ekstrem pada arah X. | 48 |
| Gambar 4.6 | Diagram batang <i>Collapse Margin Ratio</i> nilai perbandingan Torsi Normal dan Torsi Ekstrem pada arah Y. | 48 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabel 3.1 | Komponen struktural bangunan. | 21 |
| Tabel 3.2 | Berat material konstruksi berdasarkan PPURG 1987. | 23 |
| Tabel 3.3 | Beban hidup pada lantai dan atap struktur berdasarkan SNI 1727:2013. | 23 |
| Tabel 3.4 | Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai $\rho=1.3$, $SDS = 1$. | 24 |
| Tabel 3.5 | Data Rekaman Gempa dengan <i>Fling</i> . | 26 |
| Tabel 4.1 | Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekivalen (V) dan Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum <i>output</i> Program Analisa Struktur Vt. | 39 |
| Tabel 4.2 | Nilai koreksi skala simpangan antar tingkat | 39 |
| Tabel 4.3 | Nilai Median RSA (T1) untuk kondisi collapse (4%). | 45 |
| Tabel 4.4 | Nilai perbandingan <i>collapse margin ratio</i> untuk arah X. | 49 |
| Tabel 4.5 | Nilai perbandingan <i>collapse margin ratio</i> untuk arah Y | 49 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|----------|--|
| A | = Percepatan |
| V | = Kecepatan |
| IDA | = <i>Incremental Dynamic Ratio</i> |
| SDOF | = <i>Single Degree Of Freedom</i> |
| MDOF | = <i>Multi Degree Of Freedom</i> |
| f_y | = Tegangan leleh |
| f_u | = Tegangan <i>ultimate</i> |
| SRPM | = Sistem Rangka Pemikul Momen |
| S_1 | = Percepatan batuan dasar pada perioda pendek |
| S_s | = Percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik |
| F_a | = Faktor amplikasi getaran pada perioda pendek |
| F_v | = Faktor amplikasi getaran pada perioda 1 detik |
| S_{MS} | = Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek |
| S_{M1} | = Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik |
| T_e | = Waktu getar efektif |
| K_e | = Kekakuan lateral efektif |
| V_y | = Kuat leleh bangunan |
| ρ | = Faktor redudansi |
| PGA | = <i>Peak Ground Acceleration</i> |
| DBE | = Desain Basis <i>Earthquake</i> |
| MCE | = <i>Maximum Considered Earthquake</i> |
| D_L | = <i>Dead load</i> |
| L_L | = <i>Live load</i> |
| E_X | = <i>Earthquake-X</i> |
| E_Y | = <i>Earthquake-Y</i> |
| CQC | = <i>Complete Quadratic Combination</i> |
| SRSS | = <i>Square Root of the Sum of Square</i> |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bangunan gedung memiliki fungsi penting bagi kehidupan manusia terutama dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Sebuah bangunan gedung dituntut dapat digunakan sesuai fungsi dan mampu bertahan sesuai dengan yang direncanakan. Dalam perencanaan sebuah gedung bertingkat harus memperhatikan beberapa aspek dari unsur kekuatan, kenyamanan, serta aspek ekonomis. Konstruksi gedung harus mampu menahan beban dan gaya-gaya yang bekerja pada konstruksi, sehingga bangunan atau struktur gedung aman dalam jangka waktu yang direncanakan. Perlu disadari pula bahwa keadaan atau kondisi lokasi gedung bertingkat mempengaruhi kekuatan gempa yang ditimbulkan dan berakibat pada bangunan itu sendiri. (Gerald et al., 2019)

Perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa sangat penting di Indonesia, mengingat sebagian besar wilayahnya terletak dalam wilayah gempa dengan intensitas sedang hingga tinggi.

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh adanya pelepasan energi regangan elastis batuan pada litosfer. Semakin besar energi yang dilepas semakin kuat gempa yang terjadi. Gempa bumi juga didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu dan sifatnya tidak berkelanjutan. Getaran pada bumi terjadi akibat adanya proses pergeseran secara tiba-tiba (*sudden slip*) pada kerak bumi. Pergeseran secara tiba-tiba terjadi karena adanya sumber gaya (*force*), baik yang bersumber dari alam maupun dari bantuan manusia (*artificial earthquakes*). Terdapat beberapa pendekatan untuk mengantisipasi terjadinya gempa agar tidak menimbulkan dampak yang besar. Pertama, pendekatan struktural yakni desain mengikuti kaidah-kaidah konstruksi yang benar dan memasukkan parameter kegempaan dalam mendirikan bangunan sesuai dengan standar yang ada. Kedua, intensif melakukan sosialisasi kepada masyarakat mengenai pemahaman dan pelatihan penyelamatan dampak gempa (Budiono & Supriatna, 2011).

Indonesia merupakan salah satu negara yang dikategorikan rawan terhadap gempa. Kondisi ini memberikan pengaruh besar dalam proses perencanaan. Maka dari itu, Badan Standarisasi Nasional mengeluarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) terbaru berkaitan dengan perencanaan gedung bertingkat. SNI 1726:2019 merupakan SNI terbaru yang mengatur tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana tata cara penerapan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung untuk mengevaluasi struktur Gedung beton bertulang tidak beraturan horizontal pada kondisi tanah lunak?
2. Bagaimana kekuatan struktur Gedung beton bertulang tidak beraturan horizontal ditinjau berdasarkan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung pada kondisi tanah lunak?

1.3 Tujuan Penulisan

1. Untuk merencanakan bangunan SRPM beton bertulang tidak beraturan horizontal di Indonesia..
2. Untuk mengevaluasi rasio batas keruntuhan struktur Gedung SRPM beton bertulang tidak beraturan horizontal di Indonesia.

1.4 Ruang Lingkup

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

- 1 Struktur bangunan yang direncanakan merupakan :
 - Struktur Beton Struktural eksentris 3 Dimensi pada 3 lantai yang difungsikan sebagai perkantoran yang terdapat di daerah Palu dengan jenis tanah lunak.

- Struktur dengan dimensi kolom dan balok yang hanya dianalisa pada batas aman saja, tidak dianalisa sampai ekonomis.
- 2 Perencanaan struktur beton, pembebanan serta gedung direncanakan berdasarkan:
- Tata cara perencanaan struktur beton menggunakan Persyaratan Beton Struktural untuk bangunan Gedung SNI 2847:2019.
 - Beban gravitasi menggunakan SNI 1727:2013 dan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987.
 - Beban gempa dan gedung direncanakan menggunakan Standar Perencanaan Tahan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726:2019.
- 3 Analisis menggunakan alat bantu berupa program yaitu:
- Program Analisa Struktur, untuk menganalisa tahap desain
 - (Analisa *Pushover* & Respon Spektrum Linear).
 - PEER NGA, COSMOS untuk mendapatkan rekaman gempa.
 - SEISMOSIGNAL, untuk mengubah groundmotion menjadi Respon Spektrum.
 - Aplikasi komputasi numerikal, untuk menskalakan groundmotion.
 - Aplikasi analisa riwayat waktu nonlinier, untuk menganalisa tahap evaluasi (Analisa Riwayat Waktu Nonlinear) yang hanya ditinjau secara 2 dimensi.
- 4 Parameter yang ditinjau:
- Linear adalah semua aspek yang harus di kontrol sesuai dengan SNI 1726:2019
 - Nonlinear :
 - Simpangan antar tingkat,
 - Simpangan atap
 - Kapasitas Struktur (gaya geser dasar vs simpangan atap)

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil evaluasi pada Evaluasi Seismik Untuk Rasio Batas Keruntuhan Struktur Gedung Beton Bertulang Tidak Beraturan Horizontal di Indonesia diharapkan akan memberikan pengetahuan seberapa besar rasio sampai mencapai keruntuhannya akibat gempa.

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB 1 PENDAHULUAN

Didalam bab ini akan menguraikan penjelasan mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, ruang lingkup permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Didalam bab ini akan menguraikan penjelasan mengenai mekanisme gempa, konsep perencanaan struktur beton, analisa struktur beton berbresing eksentris, dan konsep tentang kekuatan bangunan beton terhadap gempa yang terjadi.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Didalam bab ini akan menguraikan bagaimana metode penelitian yang digunakan dari awal hingga akhir penelitian, juga dipaparkan penjelasan mengenai cara memodelkan dan mendesain struktur bangunan beton berbresing eksentris terhadap gempa yang terjadi dengan menggunakan Program Analisa Struktur.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Didalam bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai perhitungan, analisis pemodelan bentuk gambar, grafik, tabel dan beserta pembahasannya.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Didalam bab ini akan menyajikan penejelasan mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari keseluruhan penulisan Tugas Akhir ini dan saran-saran yang membangun sehingga lebih baik lagi kedepan.

BAB 2

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, teori gempa, sistem struktur penahan gempa, dan teori-teori terkait lainnya yang berhubungan dengan perhitungan atau analisa data yang diperlukam dalam Tugas Akhir ini.

2.2 Pengertian Gempa

Gempa bumi merupakan getaran akibat pergerakan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan enersi secara tiba-tiba. Pelepasan enersi secara tiba-tiba menimbulkan gelombang seismik yang dapat merusak segala sesuatu di permukaan bumi, seperti bangunan, pohon-pohon, bahkan dapat menimbulkan korban jiwa (Bahri & Mungkin, 2019).

Selain itu gempa bumi juga bisa disebabkan oleh aktivitas gunung berapi yang masih aktif, pada saat proses erupsi. Gempa ini disebut gempa vulkanik. Kepulauan Indonesia termasuk daerah yang rawan gempa bumi, karena lokasinya yang berada di cincin api dunia dan banyak gunung berapi yang masih aktif baik di darat ataupun di laut.

2.3 *Ground Motion* (Getaran Tanah)

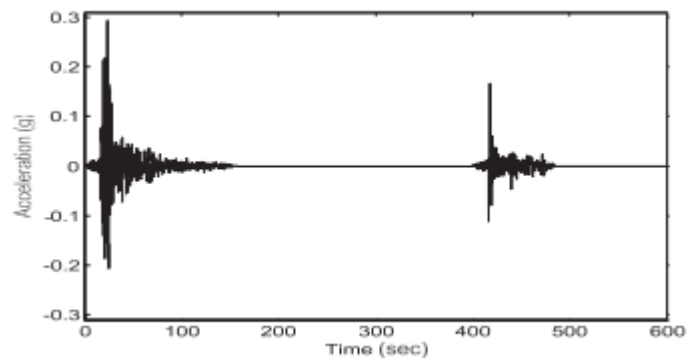
Ground motion adalah pergerakan permukaan bumi yang diakibatkan adanya gempa atau ledakan. Di dalam ilmu teknik gempa, *ground motion* juga populer dengan sebutan *strong motion* untuk lebih menekankan pada percepatan tanah akibat gempa daripada respon-respon tanah yang lain. Pada umumnya, pengertian 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/nopulse), dan gempa berulang.

2.4 Respon Spektrum

Menurut teori dinamika struktur (*structural dynamics*) salah satu cara untuk menentukan/menghitung simpangan, gaya-gaya dinamik pada struktur derajat kebebasan banyak (*Multi Degree of Freedom, MDOF*) adalah dengan menggunakan metode respons spectrum. Respon spektrum adalah suatu spectrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T , lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu (Pawirodikromo, 2012).

Respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*Spectral Displacement, SD*), kecepatan maksimum (*Spectral Velocity, SV*) atau percepatan maksimum (*Spectral Acceleration, SA*) suatu massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*Single Degree of Freedom, SDOF*). Terdapat 2 macam respon spectrum yang ada yaitu Respon Spektrum elastik dan Respon Spektrum inelastik. Respons spektrum elastik adalah suatu spectrum yang didasarkan atas respons elastik struktur dengan derajat kebebasan tunggal (SDOF) berdasarkan rasio redaman dan beban gempa tertentu. Inelastik Respons Spektrum juga disebut desain Respons Spektrum, yaitu spectrum yang diturunkan berdasarkan elastic respons spectrum dengan tingkat daktilitas tertentu (Pawirodikromo, 2012)



Gambar 2.1: Respon spektrum percepatan gempa berulang pada rekaman gempa Whittier Narrows (LA-116 St. School Station) (Amiri & Bojórquez, 2019)

2.5 Karakteristik Bangunan Tahan Gempa

Suatu bangunan yang baik pada daerah yang terletak berdekatan dengan daerah pertemuan lempengan benua seperti di Indonesia hendaknya didesain terhadap kemungkinan beban gempa yang akan terjadi di masa yang akan datang, yang waktunya tidak dapat diprediksi secara tepat (Budiono & Supriatna, 2011).

Berikut yang termasuk bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut :

1. Apabila gempa ringan terjadi, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan, baik komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya.
2. Apabila gempa sedang terjadi, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-struktural, akan tetapi komponen struktural tidak boleh rusak.
3. Apabila gempa kuat terjadi, bangunan boleh mengalami kerusakan, baik komponen non-struktural maupun struktural, akan tetapi penghuni bangunan harus tetap selamat, artinya sebelum bangunan runtuh masih cukup waktu bagi penghuni bangunan untuk keluar ketempat aman.

Sulit untuk menghindari kerusakan bangunan akibat gempa, bila digunakan perencanaan konvensional, karena hanya bergantung pada kekuatan komponen struktur itu sendiri, serta perilaku respon pasca elastisnya. Seiring dengan perkembangan teknologi dalam perencanaan bangunan tahan gempa, telah dikembangkan suatu pendekatan disain alternatif untuk mengurangi resiko kerusakan bangunan saat terjadi gempa, dan mampu mempertahankan integritas komponen struktural dan non-struktural terhadap gempa kuat.

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa dengan tingkat keamanan memadai, struktur harus dirancang dapat memikul gaya horizontal atau gaya gempa. Struktur harus dapat memberikan layanan yang sesuai dengan perencanaan. Menurut (Budiono & Supriatna, 2011) tingkat layanan dari struktur akibat gaya gempa terdiri dari tiga, yaitu:

1. Kemampuan layan (*serviceability*)

Jika gempa dengan intensitas (*intensity*) percepatan tanah yang kecil dalam waktu ulang yang besar mengenai suatu struktur, disyaratkan tidak mengganggu fungsi bangunan, seperti aktivitas normal di dalam bangunan dan perlengkapan yang ada. Artinya tidak dibenarkan terjadi kerusakan pada struktur baik pada komponen struktur maupun elemen non-struktur yang ada. Dalam perencanaan harus diperhatikan kontrol dan batas simpangan yang dapat terjadi semasa gempa, serta menjamin kekuatan yang cukup bagi komponen struktur untuk menahan gaya gempa yang terjadi dan diharapkan struktur masih berperilaku elastis.

2. Kontrol kerusakan (*damage control*)

Jika struktur dikenai gempa dengan waktu ulang sesuai dengan umur (masa) rencana bangunan, maka struktur direncanakan untuk dapat menahan gempa ringan (kecil) tanpa terjadi kerusakan pada komponen struktur ataupun komponen non-struktur, dan diharapkan struktur masih dalam batas elastis.

3. Ketahanan (*survival*)

Jika gempa kuat yang mungkin terjadi pada umur (masa) bangunan yang direncanakan membebani struktur, maka struktur direncanakan untuk dapat bertahan dengan tingkat kerusakan yang besar tanpa mengalami keruntuhan (*collapse*). Tujuan utama dari keadaan batas ini adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia.

2.6 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019

Perencanaan suatu konstruksi gedung harus memperhatikan aspek kegempaan, terutama di Indonesia karena merupakan salah satu daerah dengan zona gempa yang tinggi. Aspek kegempaan tersebut dianalisis berdasarkan peraturan

yang berlaku di negara tersebut dan Indonesia memiliki peraturan sendiri dan peta gempunya. Peraturan yang digunakan pada penelitian ini ialah SNI 1726:2019 yang merupakan revisi dari SNI 03-1726-2012.

2.6.1 Simpangan Lantai (*Drift*) Akibat Gempa

Simpangan (*drift*) adalah sebagai perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau dapat dikatakan simpangan mendatar tiap-tiap tingkat bangunan (*horizontal story to story deflection*) (Muliadi et al., 2018). Simpangan lateral dari suatu sistem struktur akibat beban gempa adalah sangat penting yang dilihat dari tiga pandangan yang berbeda :

1. Kestabilan struktur (*structural stability*).
2. Kesempurnaan arsitektural (*architectural integrity*) dan potensi kerusakan bermacam-macam komponen non-struktur.
3. Kenyamanan manusia (*human comfort*), sewaktu terjadi gempa bumi dan sesudah bangunan mengalami gerakan gempa.

Sementara itu Richard (1987) berpendapat bahwa dalam perencanaan bangunan tinggi selalu dipengaruhi oleh pertimbangan lenturan (*deflection*), bukannya oleh kekuatan (*strength*). Simpangan antar tingkat dari suatu titik pada suatu lantai harus ditentukan sebagai simpangan horizontal titik itu, relatif terhadap titik yang sesuai pada lantai yang berada dibawahnya. Untuk menjamin agar kenyamanan para penghuni gedung tidak terganggu maka dilakukan pembatasan-pembatasan terhadap simpangan antar tingkat pada bangunan. Pembatasan ini juga bertujuan untuk mengurangi momen-momen sekunder yang terjadi akibat penyimpangan garis kerja gaya aksial di dalam kolom-kolom (yang lebih dikenal dengan P-delta).

2.7 Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa

Prinsip dari perencanaan bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa (Sampakang et al., 2013):

1. Pada saat gempa kecil tidak diijinkan terjadi kerusakan sama sekali

2. Pada saat gempa sedang diijinkan terjadinya kerusakan ringan tanpa kerusakan structural
3. Pada saat gempa besar diijinkan terjadi kerusakan pada structural tanpa terjadinya keruntuhan.

Sampakang dkk (2013) mengatakan ada beberapa hal-hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan suatu struktur tahan gempa yaitu dalam menghadapi gempa besar, kinerja struktur tahan gempa diupayakan dapat menyerap energi gempa secara efektif melalui terbentuknya sendi plastis pada bagian tertentu, dengan kriteria sebagai berikut:

1. Kekuatan, kekakuan, daktilitas, disipasi energi yang dapat dipenuhi oleh struktur beton.
2. Disipasi energi melalui plasifikasi komponen struktur tertentu, tanpa menyebabkan keruntuhan structural yang terpenuhi dengan perencanaan *Capacity Design*.

2.7.1 Perilaku Sistem Struktur yang Diharapkan

Ketika struktur harus sebuah mengalami sebuah kondisi gempa besar, maka struktur diizinkan mengalami kondisi inelastic dikarenakan sulit melakukan desain dan mahalnya biaya untuk melakukan desain, oleh karena itu perencanaan struktur tahan gempa harus berdasarkan pada metodologi *capacity design*.

2.7.2 Waktu Getar Alami Efektif (Periode Alami)

Periode adalah besarnya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu getaran. Periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan di mana frekuensi alami pada struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur (Rizkiani, 2019).

2.8 Struktur Beton

Struktur beton bertulang dirancang untuk dapat memikul seluruh beban-beban yang bekerja pada struktur. Beban merupakan gaya luar yang bekerja pada struktur seperti beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Beban-beban tersebut nantinya akan dikombinasikan menurut peraturan pembebanan yang berlaku (Tjitradi et al., 2021). Terdapat berbagai pedoman yang mengatur tentang pembebanan di Indonesia:

- a) Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019).
- b) Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019).

2.9 Kekakuan Struktur

Kekakuan (*stiffness*) adalah ukuran tegangan yang diperlukan untuk mengubah bentuk suatu satuan bahan. Besarnya kekakuan suatu bahan adalah modulus elastisitasnya, yang diperoleh dengan membagi tegangan satuan yang dialami bahan dengan satuan perubahan bentuk bahan.

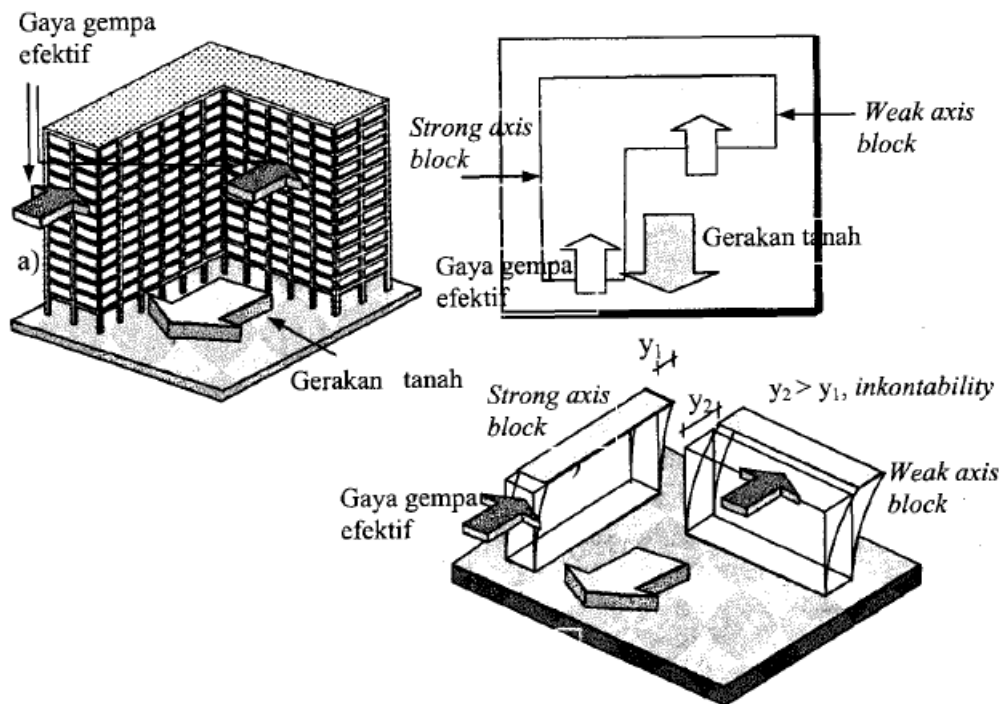
2.10 Daktilitas Struktur Bangunan

Menurut SNI – 1726-2019, faktor daktilitas struktur gedung μ adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan δ_m dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama δ_y .

2.11 Bangunan Tidak Beraturan (*irregular*)

Bangunan tidak beraturan (*irregular*) merupakan bentuk bangunan yang cenderung memiliki konfigurasi lebih kompleks dan bervariasi baik dalam arah vertikal maupun horizontal sehingga dapat menyebabkan massa dan kekakuan tidak

terdistribusi merata pada bangunan dan pusat massa yang tidak berimpit dengan pusat kekakuan.



Gambar 2.2: Gaya-gaya dan simpangan horisontal pada bangunan ireguler.

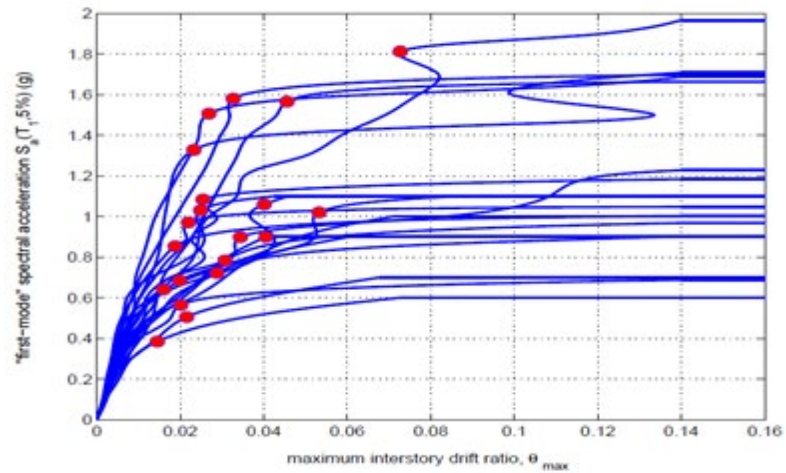
2.12 Incremental Dynamic Analysis (IDA)

Incremental Dynamic Analysis (IDA) merupakan metode analisis komputasi beban gempa untuk melakukan penilaian menyeluruh terhadap perilaku struktur dibawah beban gempa. Metode ini digunakan untuk membangun hasil analisis bahaya seismik probabilistik untuk memperkirakan resiko seismik yang dihadapi oleh struktur (Faisal, 2020)

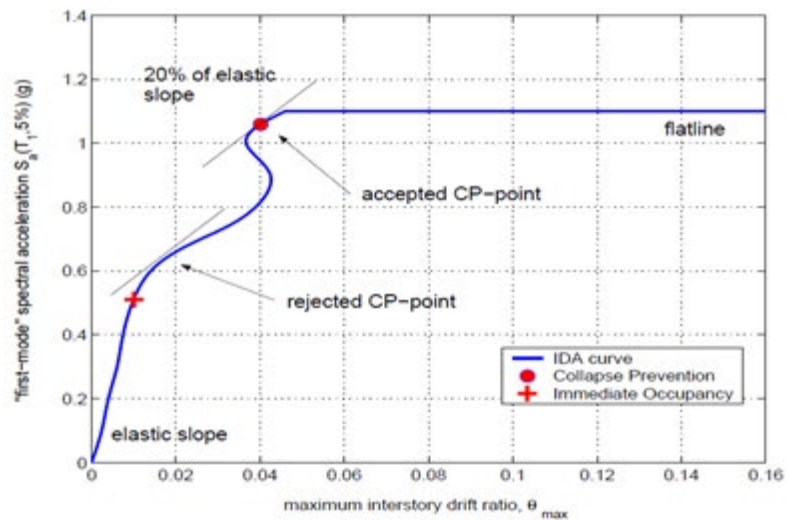
IDA melibatkan beberapa analisis riwayat waktu nonlinier terhadap model struktural di bawah rangkaian catatan gerak tanah berdasarkan tingkat intensitas seismik yang berbeda. Tingkat penskalaan dipilih untuk memaksa struktur melewati keseluruhan kerentanan rentang perilaku dari elastis hingga *inelastic* dan

akhirnya sampai ke kondisi ketidakstabilan global, dimana struktur mengalami keruntuhan.

Dalam metode analisis IDA, serangkaian nonlinier analisis dinamis dilakukan untuk setiap rekaman seismik di untuk secara akurat memperkirakan rentang respons lengkap (dari fase elastis ke keadaan leleh dan kemudian fase nonlinier dan akhirnya ke struktur keseluruhan ketidakstabilan). Dalam hal pemilihan gerakan tanah untuk analisis dinamis nonlinier, (Iervolino & Manfredi, 2008) meninjau parameter input seismik yang mempengaruhi penilaian probabilistik (misalnya jumlah catatan dan intensitasnya) dan mendiskusikan keuntungan dan kerugiannya prosedur yang diperkenalkan untuk pemilihan catatan gerakan tanah yang sesuai. Namun, dalam penelitian ini catatan gerakan tanah dipilih berdasarkan FEMA Metodologi P695 yang harus memenuhi sejumlah konflik tujuan dan konsisten dengan kinerja tujuan FEMA P695 dan persyaratan gerakan tanah dari ASCE 7. Juga catatan gerakan tanah ini digunakan dalam sejumlah tugas investigasi dengan tujuan penilaian keruntuhan struktur. Oleh karena itu, Catatan diskalakan dalam dua langkah sebelum mereka digunakan di IDA. Pada langkah pertama, setiap catatan diskalakan sehingga kecepatan puncak mereka mencapai satu. Selanjutnya, mereka seluruhnya ditingkatkan ke atas atau ke bawah pada fundamental periode arketipe untuk mencocokkan spektral MCE percepatan. Langkah selanjutnya dalam pendekatan ini adalah memproses hasil analisis, yang menghasilkan plot kurva IDA. Dalam plot ini, sumbu vertikal mewakili intensitas spektral dari gerakan tanah sebagai intensitas ukur (IM) dan sumbu horizontal mewakili maksimum rasio drift antar lantai sebagai parameter permintaan teknik dicatat dalam setiap analisis riwayat waktu.



a)

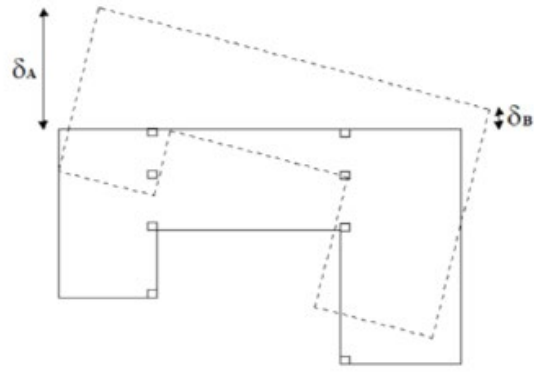


b)

Gambar 2.3: a) *Incremental dynamic analysis*, b) penentuan *Collapse Prevention* pada kurva IDA (Vamvatsikos & Cornell, 1966)

2.13 Torsi

Torsi merupakan efek momen termasuk putaran/puntiran yang terjadi pada penampang tegak lurus terhadap sumbu utama dari elemen. Beban lateral dapat mengakibatkan torsi pada bangunan ketika beban lateral tersebut cenderung memutar bangunan tersebut dengan arah vertikal. Hal ini terjadi ketika pusat beban tidak tepat dengan pusat kekakuan elemen vertical beban lateral system ketahanan struktur tersebut. Eksentrisitas diantara pusat kekakuan dan massa bangunan dapat menyebabkan gerakan torsi selama terjadinya gempa.



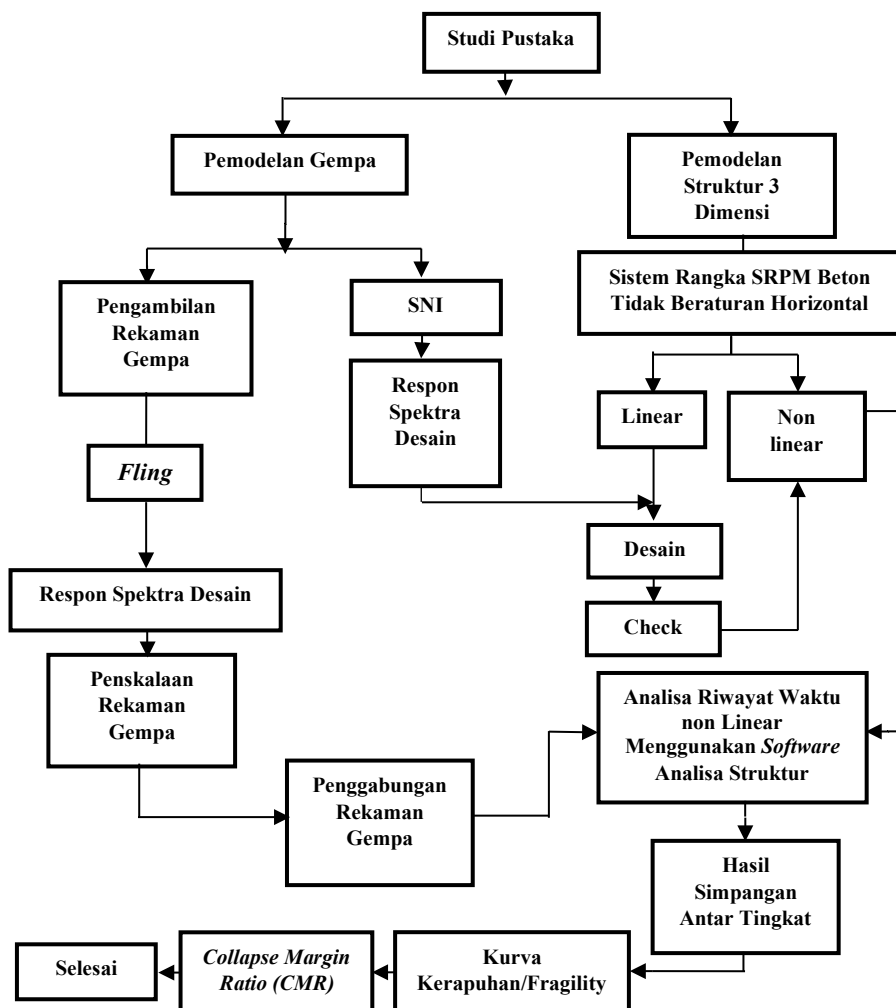
Gambar 2.4: Besar perpindahan torsi horisontal pada bangunan *irreguler*.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Bab ini berisi tentang pemodelan struktur yang direncanakan. Struktur dianalisis menggunakan *software* Program Analisa Struktur. Secara umum, metode penelitian dalam Tugas Akhir ini dibuat dalam suatu diagram alir seperti yang tampak pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Bagan Alir Penelitian.

Berdasarkan Gambar 3.1, dapat dijelaskan bahwa dalam Tugas Akhir ini analisis dilakukan terhadap 3 model dengan sistem rangka pemikul momen khusus berbresing eksentris pada bagian luar dan sistem rangka pemikul gravitasi pada bagian dalam. Model bangunan tersebut dianalisis secara Linear dan Non-Linear dengan menggunakan Metode Analisis Respon Spektrum (*Response Spectrum Analysis*) dengan menggunakan Program Analisa Struktur serta Analisis Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) dengan menggunakan *software* Analisa Struktur, untuk mendapatkan nilai simpangan antar tingkat (*interstory drift*) dan simpangan atap (*top displacement*) ketika bangunan telah dikenakan gempa. Kemudian nilai simpangan tersebut akan dibandingkan dengan nilai-nilai yang dihasilkan pada metode-metode modifikasi penskalaan gempa.

3.2 Permodelan Struktur

3.2.1 Data Perencanaan Struktur

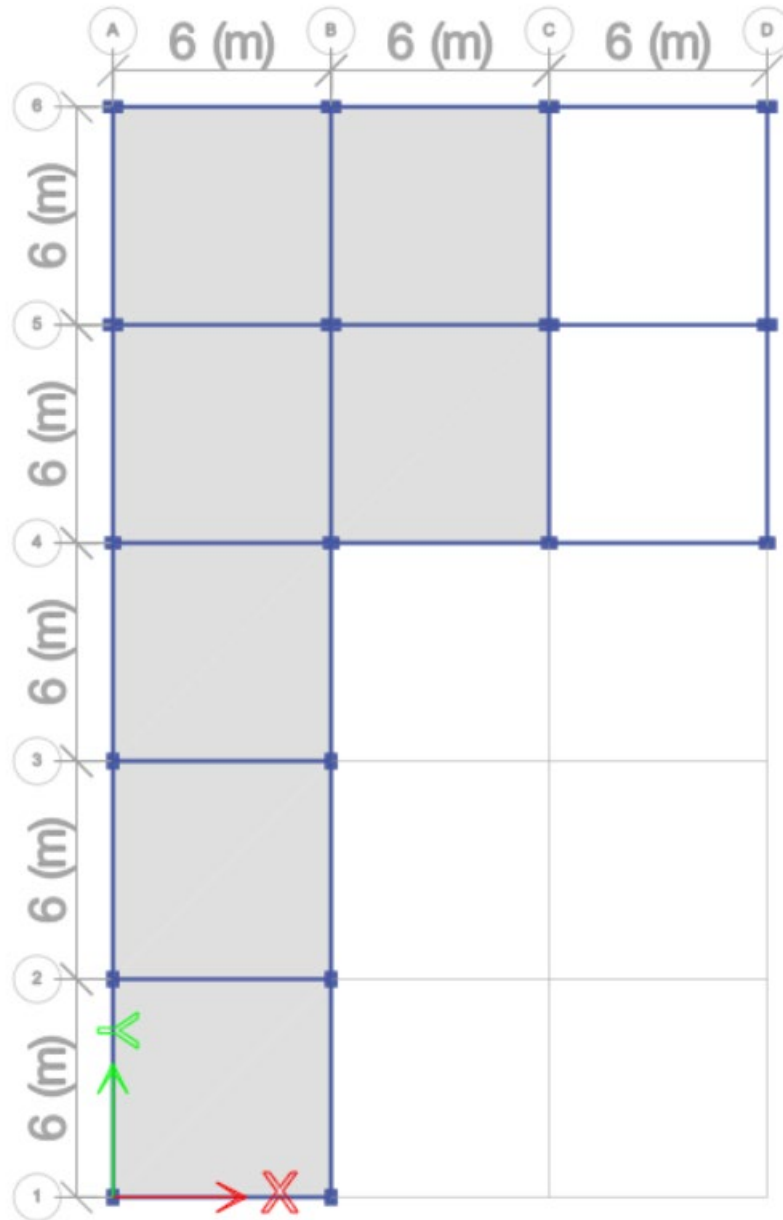
Adapun data perencanaan struktur yang digunakan pada keempat pemodelan dalam Program Analisa Struktur, yaitu:

1. Jenis pemanfaatan gedung perkantoran.
2. Gedung terletak di Kota Palu.
3. Klasifikasinya situs tanah lunak (SE).
4. Sistem struktur yang digunakan adalah SRPM Tidak Beraturan Horizontal.
5. Jenis portal yang digunakan adalah struktur beton bertulang.
6. Mutu beton yang di gunakan adalah f_c 30 Mpa dan f_y 460 Mpa
7. Mutu baja tulangan yang digunakan adalah BJTS 420:
 - Kuat leleh minimum (f_y) : 420 MPa
 - Kuat tarik minimum (f_u) : 525 Mpa

3.2.2 Konfigurasi Bagunan

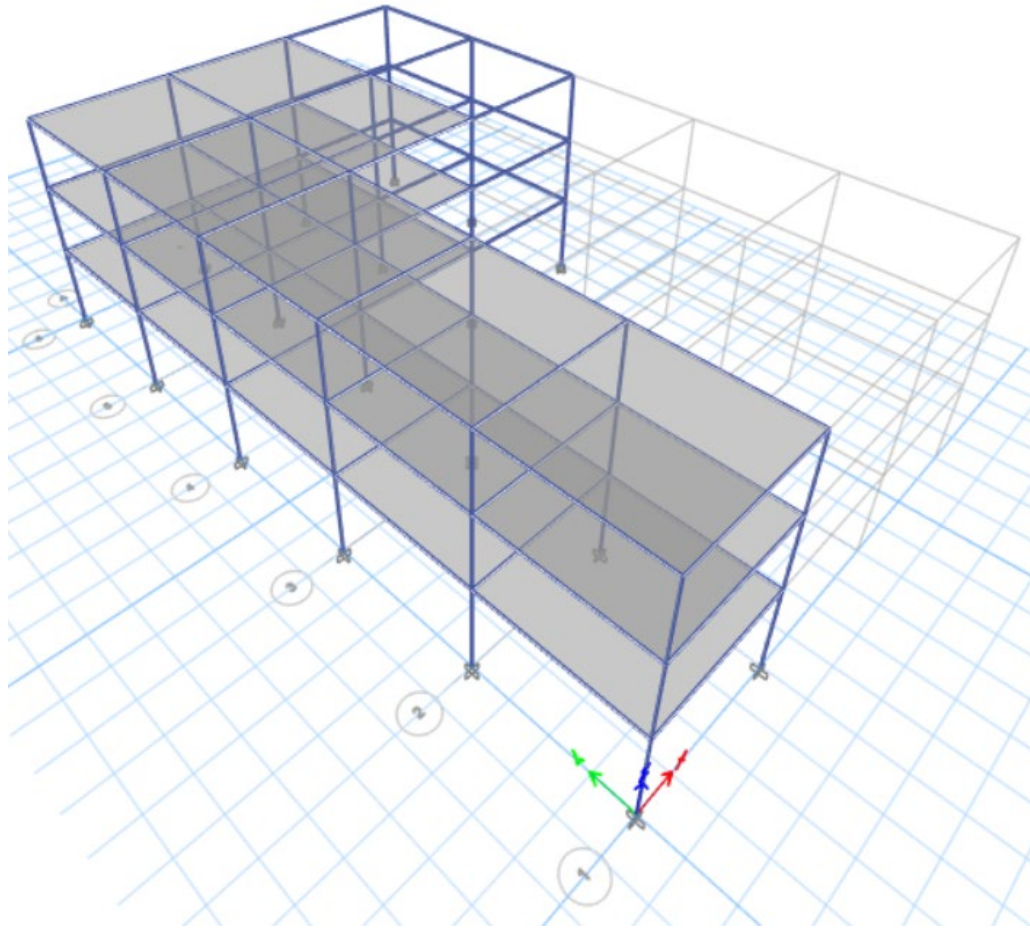
Dalam Tugas Akhir ini, struktur bangunan yang direncanakan adalah struktur beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen (SRPM) khusus, menengah, biasa dengan kondisi denah.

Bangunan berbentuk persegi yang tidak simetri atau tidak disebut dengan tidak beraturan horizontal (massa dan kekakuannya). Struktur yang ditinjau juga memiliki mekanisme sistem kaku torsional dan sistem fleksibel torsional



Denah Rangka Lantai 3 Lantai

Gambar 3.2 : Denah struktur Model.



Tampilan Isometri Model Gedung 3 Lantai.

Gambar 3.3 : Gambar Proyeksi struktur Model.

3.2.3 Dimensi Penampang Beton yang digunakan

Bangunan yang direncanakan adalah struktur tidak beraturan horizontal. Struktur gedung direncanakan dengan dimensi penampang yang berbeda sehingga memenuhi kriteria sistem tidak beraturan horizontal baik itu sistem yang fleksibel torsional ataupun sistem yang kaku torsional sesuai aturan yang berlaku (SNI 1726:2019 atau Eurocode 8).

Tabel 3.1: Komponen struktural bangunan.

| Model Bangunan | Ukuran Balok (cm) | Keterangan | Ukuran Kolom (cm) | Keterangan |
|----------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| Torsi Normal | 30 x 60 | sama untuk semua lantai | 35 x 45 | sama untuk semua lantai |
| | 40 x 60 | | 35 x 55 | |
| Torsi Ekstrem | 35 x 60 | sama untuk semua lantai | 40 x 50 | sama untuk semua lantai |
| | 40 x 60 | | 40 x 60 | |

3.3 Collapse Margin Ratio (CMR)

Collapse Margin Ratio (CMR) diperkenalkan pada ATC-63 laporan (2010), yang didasarkan pada *Incremental Dynamic Analysis* (IDA), adalah indeks yang wajar untuk mengevaluasi ketahanan anti-runtuhnya seismik global struktur. Namun, beberapa isu yang terkait dengan penentuan *CMR* masih ada, misalnya pemilihan gerakan tanah, kriteria keruntuhan, parameter seismik, beberapa Eksitasi dukungan, dll.

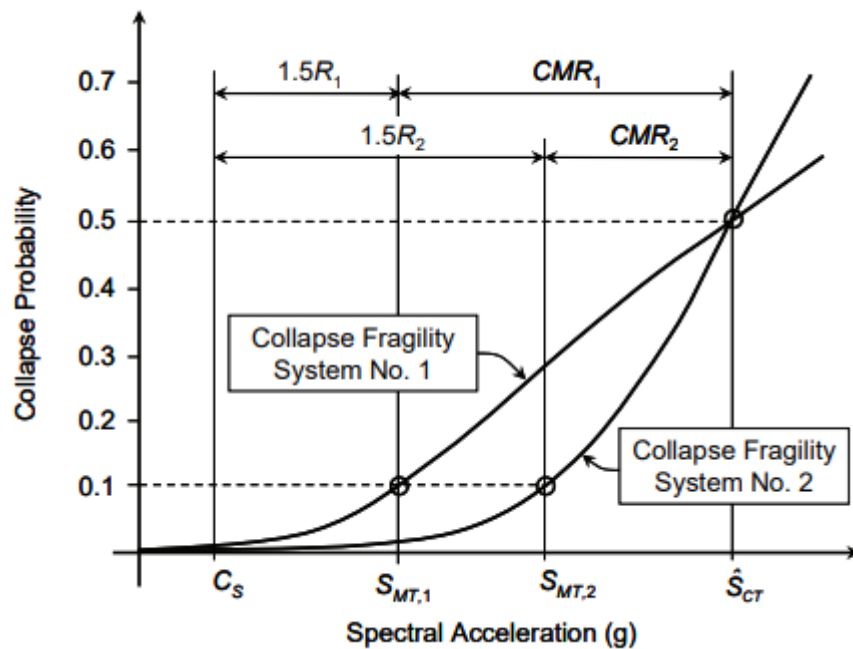
Tujuan utama dari ketentuan desain seismik dalam kode untuk bangunan adalah untuk menghindari runtuhnya struktur dan menjamin keselamatan hidup penghuni di gedung-gedung di bawah gerakan tanah yang parah. Untuk mencapai ini, resistensi anti-runtuhnya tujuan seismik struktur harus diterima kuat. Dalam kode desain saat ini, perlawanan anti-runtuhnya seismik struktur terutama dipastikan dengan konsep desain tahan gempa dan persyaratan merinci tahan gempa, tapi itu tidak bisa diukur.

Untuk mendapatkan rasio margin runtuhnya lebih masuk akal yang dapat mencerminkan resistensi anti-runtuhnya gempa sebenarnya struktur, tiga aspek yang dibahas dalam makalah ini, misalnya perpanjangan periode modus pertama di negara nonlinear struktur, pemilihan ukuran intensitas (IM) dan pengaruh bahaya seismik untuk perhitungan *CMR*. Jika tidak, kriteria keruntuhan yang digunakan untuk penilaian komputasi kegagalan global yang kritis struktur adalah penting banyak, rasional Model kerusakan global yang baru struktu (XY Ou,dkk.2017).

Untuk memperoleh peluang keruntuhan struktur yang seragam terhadap gempa rencana, dipergunakanlah suatu parameter yang disebut *MCE* (*Maximum Considered Earthquake*). *MCE* adalah suatu gempa maksimum yang terjadi di suatu wilayah dengan mempertimbangkan seismisitas dari wilayah tersebut dan disesuaikan dengan target resiko. (SNI-1726-2012).

CMR dicari sebagai rasio antara S_{MT} dengan S_{CT} dimana, S_{MT} adalah RSA yang diperlukan untuk terjadinya probabilitas keruntuhan 10 % (dalam umur bangunan kurun waktu 50 tahun) dan S_{CT} adalah nilai median RSA untuk probabilitas keruntuhan.

$$CMR = \frac{S_{CT}}{S_{MT}}$$



Gambar 3.4 : Ilustrasi kurva kerapuhan dan rasio margin runtuh untuk dua sistem penahan gaya gempa hipotetis – median yang sama tingkat runtuh.

3.4 Desain Beton bertulang

Desain beton bertulang akan dilakukan mengacu kepada SNI 2847:2019 sebelum dilakukan evaluasi seismik untuk mendapatkan rasio batas keruntuhan.

3.5 Analisis Struktur

3.5.1 Analisa Dinamik Struktur Linier

Analisis ini menggunakan Metode Respon Spektrum. Pada analisis ini, alat bantu *software* yang digunakan adalah Program Analisa Struktur.

3.5.1.1 Pembebanan

Beban gravitasi yang bekerja pada struktur bangunan diambil dari PPURG (1987) dan SNI 1727:2013 yang telah disesuaikan dengan jenis dan fungsi bangunan. Beban-beban tersebut adalah beban hidup dan beban mati yang berhubungan dengan komponen material bangunan. Nilai beban hidup dan beban mati yang digunakan dalam perencanaan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Berat material konstruksi berdasarkan PPURG 1987.

| Beban Mati | Besarnya Beban |
|-----------------------------|------------------------|
| Beton bertulang | 2400 kg/m ² |
| Plafon dan penggantung | 18 kg/m ² |
| Adukan /cm dari semen | 21 kg/m ² |
| Pasangan bata setengah batu | 250 kg/m ² |
| Penutup lantai dari keramik | 24 kg/m ² |

Tabel 3.3: Beban hidup pada lantai dan atap struktur berdasarkan SNI 1727:2013.

| Beban Hidup | Besarnya Beban |
|-------------|------------------------|
| Kantor | 2,40 kN/m ² |
| Atap | 1 kN/m ² |

Selanjutnya nilai-nilai tersebut dihitung dan diakumulasikan sesuai dengan luas bangunan pada masing-masing tingkat/lantai yang kemudian digunakan sebagai *input* dalam pemodelan Program Analisa Struktur.

3.5.1.2 Respon Spektrum Desain Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019, respon spektrum gempa didesain pada kondisi tanah lunak yang terletak di Kota Palu. Dengan memakai faktor modifikasi respon untuk SRPMK, SRPMM, SRPMB ($R = 8, 6, 5$). Nilai-nilai yang diperlukan dalam pembuatan respon spektrum desain yaitu:

1. Tanah Lunak
 - Nilai F_a = 1.16
 - Nilai F_v = 2.39
 - S_{MS} = 1.06
 - S_{MI} = 0.961
 - S_{DS} = 0.7
 - S_{DI} = 0.641
 - T_0 = 0.179
 - T_s = 0.899
 - T_L = 12

3.5.1.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dihitung berdasarkan ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019 tentang standar perencanaan bangunan tahan gempa. Sebagai contoh untuk Faktor $R = 8$ nilai $\rho = 1.3$ yang diperoleh dari kategori desain seismik D dan nilai $S_{DS} = 1$, maka kombinasi pembebanannya dapat dilihat pada Tabel 3.3 untuk faktor $R = 8$.

Tabel 3.4 : Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai $\rho=1.3, S_{DS} = 1$.

| Kombinasi | Koefisien (DL) | Koefisien(LL) | Koefisien (Ex) | Koefisien (Ey) |
|-------------|---|---------------|----------------|----------------|
| Kombinasi 1 | 1.4 | 0 | 0 | 0 |
| Kombinasi 2 | 1.2 | 1.6 | 0 | 0 |
| | $(1.2 + 0.2 S_{DS})DL + 1.0 LL + \rho (\pm 30\% QEx \pm 100\% QEy)$ | | | |
| Kombinasi 3 | 1.400 | 1 | 0.390 | 1.300 |

Tabel 3.4 : Lanjutan

| Kombinasi | Koefisien (DL) | Koefisien(LL) | Koefisien (E _x) | Koefisien (E _y) |
|---|---------------------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Kombinasi 4 | 1.400 | 1 | 0.390 | -1.300 |
| Kombinasi 5 | 1.400 | 1 | -0.390 | -1.300 |
| Kombinasi 6 | 1.400 | 1 | -0.390 | 1.300 |
| (1.2 + 0.2 S_{DS})DL + 1.0 LL + ρ (± 100% Q_{Ex} ± 30% Q_{Ey}) | | | | |
| Kombinasi 7 | 1.400 | 1 | 1.300 | 0.390 |
| Kombinasi 8 | 1.400 | 1 | 1.300 | -0.390 |
| Kombinasi 9 | 1.400 | 1 | -1.300 | -0.390 |
| Kombinasi 10 | 1.400 | 1 | -1.300 | 0.390 |
| (0.9 - 0.2 S_{DS})DL + ρ (± 30% Q_{Ex} ± 100% Q_{Ey}) | | | | |
| Kombinasi 11 | 0.700 | - | 0.390 | 1.300 |
| Kombinasi 12 | 0.700 | - | 0.390 | -1.300 |
| Kombinasi 13 | 0.700 | - | -0.390 | -1.300 |
| Kombinasi 14 | 0.700 | - | -0.390 | 1.300 |
| (0.9 - 0.2 S_{DS})DL + ρ (± 100% Q_{Ex} ± 30% Q_{Ey}) | | | | |
| Kombinasi 15 | 0.700 | - | 1.300 | 0.390 |
| Kombinasi 16 | 0.700 | - | 1.300 | -0.390 |
| Kombinasi 17 | 0.700 | - | -1.300 | -0.390 |
| Kombinasi 18 | 0.700 | - | -1.300 | 0.390 |
| Kombinasi Envelope | Nilai absolute dari seluruh kombinasi | | | |

Kombinasi Maximum memiliki tipe kombinasi yang lain dari Kombinasi 1 sampai 10 yaitu kombinasi dengan tipe linear add, sementara Kombinasi Maximum adalah kombinasi dengan tipe envelope. Tipe kombinasi ini tidak bersifat menjumlahkan beban seperti halnya tipe kombinasi linear add, namun tipe ini berfungsi untuk mencari nilai gaya maksimum dan minimum dari beban yang bergerak (dimana pada beban bergerak, beban maksimum dan minimum pada suatu batang maupun joint tergantung dari posisi bebannya).

3.6 Analisa Respon Spektrum Ragam

3.6.1 *Groundmotion Records*

Data rekaman gempa diperoleh dari *website* resmi *Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Next Generation Attenuation (NGA)*, *COSMOS Strongmotion Data Center*.

Dalam pengambilan data rekaman gempa melalui PEER NGA, diperlukan data *Station*, *Date*, dan *Magnitude* agar terdapat korelasi antara data gempa yang diambil dari *website* tersebut dengan data gempa dari bangunan yang direncanakan.

Data rekaman gempa yang diambil gempa tunggal dengan jarak *epicentral* diatas 20 km diambil sebanyak 20 data rekaman gempa diperoleh dari PEER NGA dan COSMOS seperti terlihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 : Data Rekaman Gempa dengan *Fling*.

| No | Nama <i>Groundmotion</i> | Tahun | Nama Stasiun | Mag. |
|----|--------------------------|-------|------------------|------|
| 1 | Chi-Chi Taiwan | 1999 | TCU049 | 7.6 |
| 2 | Chi-Chi Taiwan | 1999 | TCU052 | 7.6 |
| 3 | Chi-Chi Taiwan | 1999 | TCU067 | 7.6 |
| 4 | Chi-Chi Taiwan | 1999 | TCU071 | 7.6 |
| 5 | Chi-Chi Taiwan | 1999 | TCU072 | 7.6 |
| 6 | Chi-Chi Taiwan | 1999 | TCU074 | 7.6 |
| 7 | Chi-Chi Taiwan | 1999 | TCU076 | 7.6 |
| 8 | Chi-Chi Taiwan | 1999 | TCU078 | 7.6 |
| 9 | Chi-Chi Taiwan | 1999 | TCU082 | 7.6 |
| 10 | Chi-Chi Taiwan | 1999 | TCU089 | 7.6 |
| 11 | Chi-Chi Taiwan | 1999 | TCU0129 | 7.6 |
| 12 | Kocaeli Turkey | 1999 | Izmit | 7.4 |
| 13 | Kocaeli Turkey | 1997 | Yarimca | 7.4 |
| 14 | Managua Nicaragua-01 | 1972 | Managua ESSO | 6.24 |
| 15 | Fruili Italy-02 | 1976 | Forgaria Cornino | 5.5 |
| 16 | Duzce Turkey | 1999 | Sakarya | 7.4 |
| 17 | Kobe Japan | 1995 | Kobe University | 6.9 |
| 18 | Northridge-01 | 1994 | Cedar Hill | 6.7 |
| 19 | Cape Mendocino | 1992 | Cape Mendocino | 7.01 |
| 20 | Chi-Chi Taiwan | 1999 | TCU065 | 7.62 |

Setiap data rekaman gempa terdiri dari 2 data gempa horizontal (arah X dan Y) dan 1 data gempa vertikal (arah Z), namun dalam Tugas Akhir ini data rekaman gempa yang digunakan hanya gempa horizontal arah X dan arah Y karena bangunan yang direncanakan dalam bentuk 3 dimensi (3D). Gempa vertikal arah Z diabaikan karena dalam analisis data relatif sangat kecil (atau dianggap sama dengan 0).

Selanjutnya data rekaman gempa yang diperoleh tersebut diskalakan terhadap respon spektrum desain. Pada proses penskalaan dibutuhkan data respon spektrum desain agar data rekaman gempa original disesuaikan dengan kondisi geologis pada Kota Palu (tanah lunak). Selain itu, rentang perioda alami (T) juga dibutuhkan dalam proses penskalaan agar hasil skala lebih detail.

Kemudian data rekaman gempa yang telah diskalakan digunakan sebagai input pada *software* Analisa Struktur. untuk Analisis Dinamik Non Linier Inelastis dengan Metode Analisa Riwayat Waktu.

3.6.2 Analisa Respon Riwayat waktu

Analisis ini merupakan tahap evaluasi yang dijadikan sebagai perbandingan terhadap analisis linear sebelumnya, sehingga tidak perlu seluruhnya memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2019. Karena model yang digunakan merupakan model yang seluruhnya telah memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2019 pada analisis linier sebelumnya yaitu dengan Metode Respon Spektrum. Pada Metode Respon Riwayat Waktu ini dianalisis secara dua dimensi. Alat bantu *software* yang digunakan adalah Program Analisa Struktur. Sebelum dianalisis dengan Program Analisa Struktur terdapat beberapa tahapan sebagai berikut :

- a. Pengambilan rekaman gempa dari PEER NGA dan COSMOS. Daerah- daerah rekaman yang diambil tertera pada Tabel 3.5.
- b. Mengubah rekaman gempa menjadi respon spektrum dengan bantuan *software Seismosignal*. Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses penskalaan.

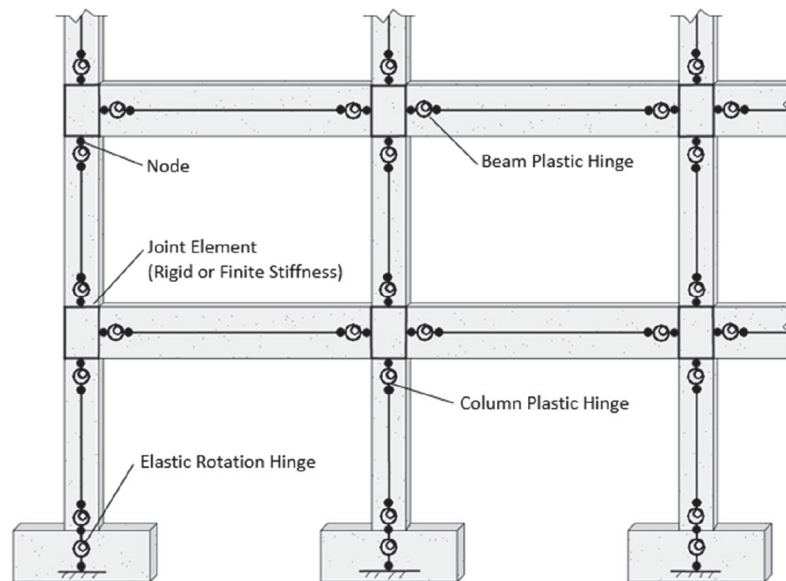
Data-data rekaman yang telah diskalakan dan digabungkan dengan MATLAB akan digunakan sebagai input data pada analisis menggunakan Program Analisa Struktur.

Adapun data-data yang dibutuhkan dalam analisis respon riwayat waktu nonlinier menggunakan *software* Analisa Struktur antara lain:

- I : Momen inersia penampang
- E : Modulus elastisitas penampang
- M_y : Momen leleh
- M_c : Momen puncak
- K_0 : Kekakuan rotasi elastis
- θ_p : Koefisien rotasi leleh
- θ_y : Koefisien rotasi leleh
- θ_c : Koefisien rotasi kapasitas plastis
- θ_{pc} : Koefisien rotasi post-capping
- θ_u : Koefisien rotasi ultimit
- $\mu\theta_c$: Daktilitas rotasi kapasitas plastis
- r : Rasio kekakuan post-yield

3.7 Pemodelan Kolom dan Balok

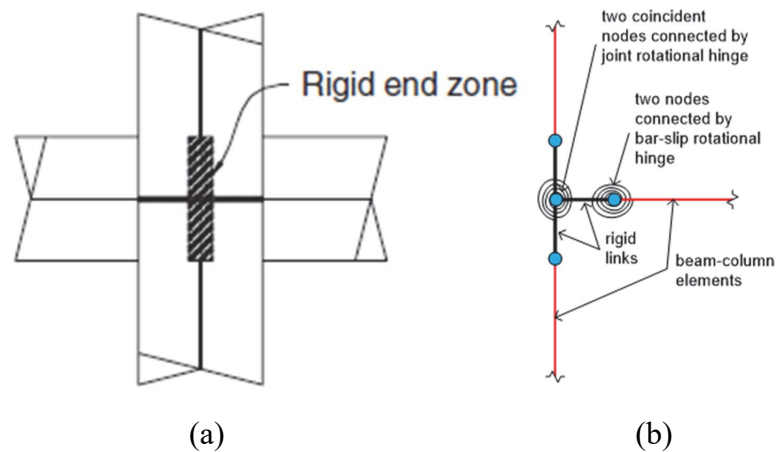
Pedoman pemodelan untuk komponen kolom dan balok khusus untuk pendekatan pemodelan komponen.



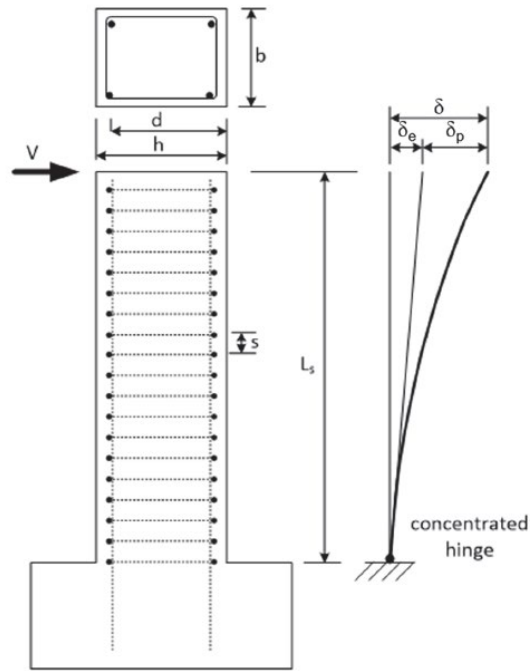
Gambar 3.5: Tinjauan umum sistem rangka pemikul momen beton bertulang, menunjukkan idealisasi model garis tengah engsel yang terkonsentrasi.

3.7.1 Zona Join Balok-Kolom

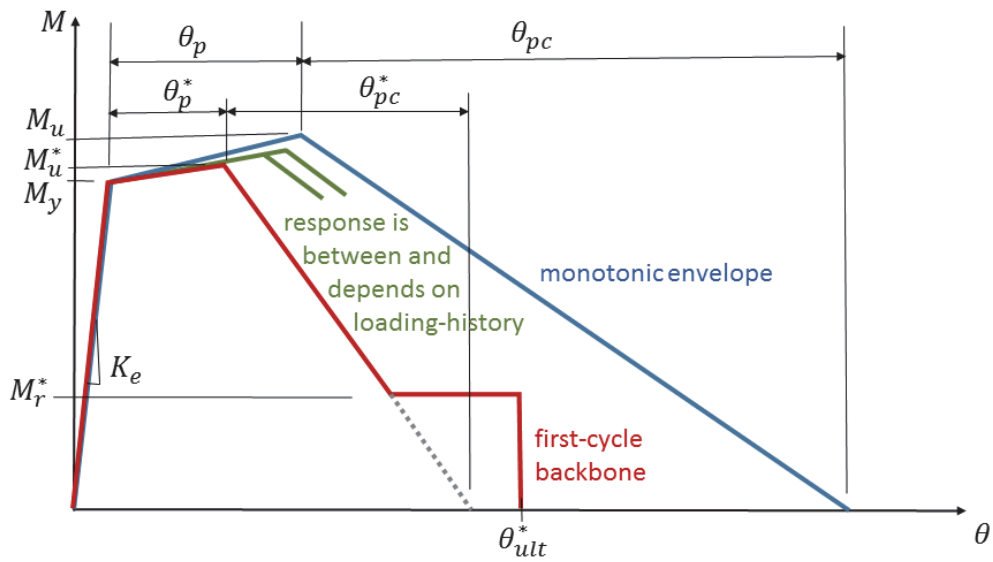
Di bawah beban gempa, balok dan kolom biasanya mengalami pembalikan momen pada sambungan balok-kolom, yang mengakibatkan pelunakan sambungan dan peningkatan fleksibilitas rangka. Ketentuan desain seismik modern dimaksudkan untuk membatasi kerusakan pada sambungan, dan memfokuskan leleh lentur pada balok pada muka zona panel sambungan dengan leleh terbatas pada kolom; namun, respons sistem dapat sedemikian rupa sehingga kolom menunjukkan respons inelastis yang signifikan pada permukaan sambungan.



Gambar 3.6: Konfigurasi elemen yang direkomendasikan untuk pemodelan (a) penyesuaian kekakuan balok dan kolom offset (Elwood et al., 2007), dan (b) pegas rotasi pusat sambungan dalam rangka planar (Celik & Ellingwood, 2008).



Gambar 3.7: Model kantilever ideal dari balok-kolom beton bertulang dengan engsel terkonsentrasi pada ujung komponen struktur (Haselton et al., 2016).



Gambar 3.8: Momen akhir tri-linier yang ideal versus respons rotasi akor dari kolom kantilever setara (NIST, 2017).

3.8 Pemodelan Kolom

3.8.1 Pendekatan Momen Kurvatur

Dalam pendekatan ini, deformasi lentur dan gelincir batang diperlakukan secara terpisah, dengan kekakuan lentur komponen struktur yang diperoleh dari analisis kelengkungan momen. Teori balok elastik memberikan kekakuan lentur efektif dari penampang elastik pada beban tertentu sebagai momen yang dibagi oleh lengkungan. (contoh: $E_c I_{effective} = M / \varphi$).

3.8.2 Persamaan Empiris

Elwood dkk. (2007) mengusulkan persamaan untuk kekakuan lentur efektif kolom yang memperhitungkan efek kekakuan dari beban aksial tekan (P), berdasarkan database uji kolom yang ekstensif (M. Berry et al., 2004). Persamaan ini telah dimasukkan ke dalam ASCE/SEI 41-13, *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* (ASCE, 2014), adalah sebagai berikut:

$$\frac{E_c I_y}{E_c I_g} = 0.3 + \left(\frac{P}{A_g f'_c} - 0.1 \right) \quad (3.1)$$

dimana:

$$0.3 \leq \frac{E_c I_y}{E_c I_g} \leq 0.7$$

Kekakuan lentur efektif, yang memperhitungkan deformasi komponen yang berasal dari lentur, slip batang, dan geser, ditentukan oleh:

$$\frac{E_c I_{eff}}{E_c I_g} = 0.003DR^{-0.65} + \gamma \leq 0.8DR \leq 0.012 \quad (3.2)$$

dimana:

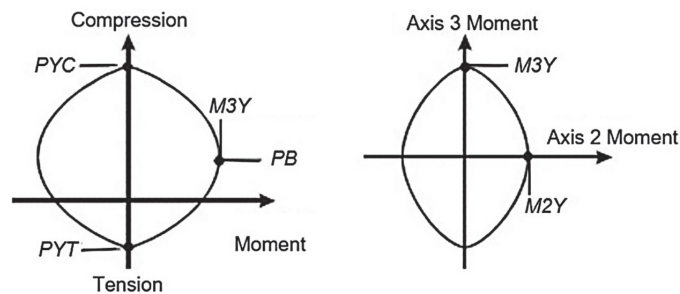
$$\gamma = (-50\rho_T + 2.5)\left(\frac{P}{A_g f'_c}\right)^{(-20\rho_T + 2.15)} + (15\rho_T + 0.05) \quad (3.3)$$

3.9 Kekuatan Hasil Lentur

3.9.1 Beban Uniaksial dengan Gaya Aksial Konstan

Distribusi tegangan tekan persegi panjang setara di bawah beban akhir dengan regangan penghancuran beton 0,003 (ACI, 2014) dengan rasio rata-rata kekuatan yang diprediksi terhadap kekuatan yang diamati sebesar 1,02 dan σ_{LN} Sebesar 0.23 (Haselton et al., 2016).

3.9.2 Beban dalam Dua Arah dan/atau dengan Beban Aksial Variabel



(a) Interaksi P-M pada $M_{2Y} = 0$

(b) Interaksi M-M pada $P = P_B$

Gambar 3.9: Permukaan P-M-M Beton Bertulang dalam PERFORM-3D

3.9.3 Kekakuan Pengerasan Pasca-Hasil

Persamaan yang diusulkan direkomendasikan untuk pembebanan monotonik dan siklik karena terbatasnya jumlah uji monotonik yang tersedia mencegah perbedaan antara kedua jenis pembebanan.

$$M_u/M_y = 1.13 \quad (3.4)$$

3.9.4 Kapasitas Rotasi Plastik

Berlawanan dengan persamaan kekakuan dan kekuatan berbasis mekanika, persamaan untuk menentukan batas deformasi, θ_p , sebagian besar didasarkan pada bukti empiris. Persamaan 3-5 dapat digunakan untuk menentukan kapasitas rotasi kurva monotonik (diukur dalam radian) antara luluh dan resistansi momen puncak.

$$\theta_p = 0.155(0.16)^v (0.02 + 40\rho_{sh})^{0.43} (0.54)^{0.01c_{units}f'_c} \quad (3.5)$$

Studi pendahuluan untuk menghubungkan keduanya (PEER/ATC 72-1, 2010) menunjukkan bahwa nilai monotonik dapat disesuaikan untuk mendapatkan sifat tulang punggung siklik yang ekuivalen sebagai berikut:

$$\theta_{p,cyclic} = 0.7\theta_p \quad (3.6)$$

$$\theta_{pc,cyclic} = 0.5\theta_{pc} \quad (3.7)$$

3.10 Pemodelan Balok

3.10.1 Kekuatan Momen

Kekuatan luluh dan momen puncak dapat ditentukan seperti kolom, tetapi harus mencakup baja pelat dalam lebar sayap efektif.

3.10.2 Kapasitas Rotasi Plastik

Kapasitas rotasi plastis balok dapat diperkirakan dengan menggunakan Persamaan 3.5 dengan penyesuaian yang dilakukan berdasarkan Persamaan 3.6 untuk non-simetris.

3.10.3 Kapasitas rotasi pasca pembatasan dan degradasi kekuatan histeris

Ada bukti eksperimental terbatas yang tersedia untuk menentukan sifat-sifat ini untuk balok.

Fungsi dari beberapa parameter termasuk panjang komponen struktur l , diameter batang d_b , kekuatan luluh baja, f_y , dan kekuatan beton f'_c . Salah satu

persamaan yang diajukan oleh (M. P. Berry & Eberhard, 2008) adalah sebagai berikut (satuan psi):

$$l_p = 0.05l + 0.008d_b f_y / \sqrt{f'_c} \quad (3.8)$$

3.10.4 Beton Terkekang dan Tidak Terkekang – Tegangan Kompresif

Kurva tegangan-regangan beton biasanya menunjukkan segmen regangan tegangan pengerasan diikuti oleh segmen pelunakan. Kemiringan negatif dapat menjadi curam untuk beton tak terkekang, yang mencerminkan kapasitas regangan ultimit yang sangat kecil, di mana beton terkekang dapat menunjukkan respons yang sangat stabil hingga regangan yang relatif besar. Persamaan-persamaan yang digunakan untuk menghitung momen kurvatur adalah sebagai berikut:

$$f_c = \frac{f'_{cc} x r}{r - 1 + x'} \quad (3.9)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (3.10)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (3.11)$$

$$E_c = 57,000 \sqrt{f'_{co}} \text{ (psi)} \quad (3.12)$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (3.13)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad (3.14)$$

$$f'_l = \frac{1}{2} k_e \rho_s f_{yh} \quad (3.15)$$

di mana f'_{cc} dan ε_{cc} masing-masing adalah tegangan beton terkekang maksimum dan regangan yang sesuai, dan f'_{co} dan ε_{co} adalah kekuatan beton tidak terikat dan regangan yang sesuai. Dengan nilai ε_{co} adalah 0,002.

f'_l adalah tegangan pengekang lateral efektif pada beton, seperti yang didefinisikan dalam Persamaan 3.15, sepanjang arah tertentu. Perhatikan bahwa ada kemungkinan untuk nilai tegangan pembatas yang berbeda f'_{lx} dan f'_{ly} sepanjang arah x dan y dari suatu penampang, secara berurutan. ρ_s dan f_{yh} masing-masing adalah rasio tulangan transversal dan kekuatan luluh.

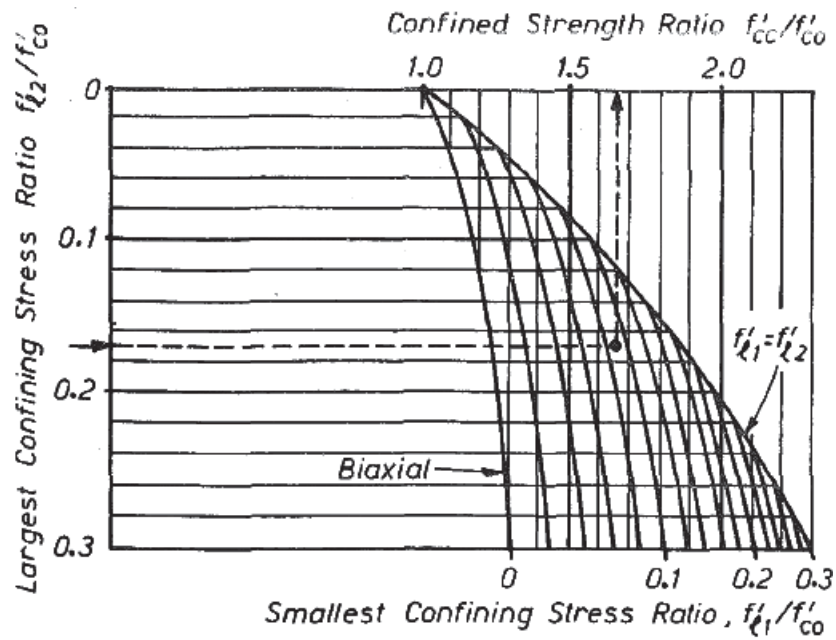
k_e adalah koefisien efektivitas pengungkungan yang didefinisikan oleh Persamaan 3.16 sebagai berikut dan Gambar 3.10 untuk penampang persegi panjang.

$$k_e = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6b_c d_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c}\right)}{1 - \rho_{cc}} \quad (3.16)$$

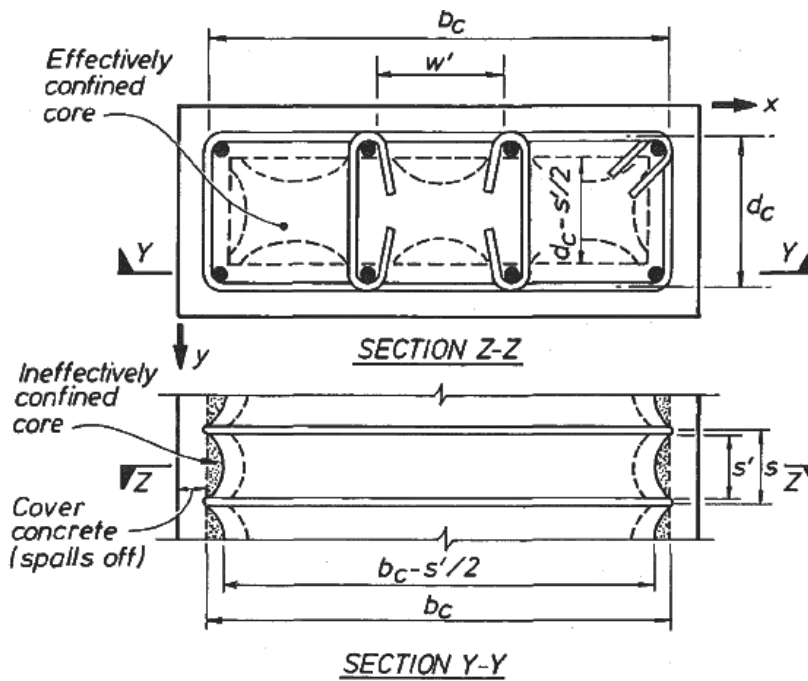
di mana ε_{cc} adalah rasio luas tulangan memanjang terhadap luas inti penampang, dan parameter w'_i , b_c , d_c dan s' didefinisikan pada Gambar 3.11.

f'_{cc} dapat dihitung dari f'_{co} , f'_{lx} dan f'_{ly} menggunakan Gambar 3.10. Ketika $f'_{lx} = f'_{ly}$, f'_{cc} dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.17.

$$f'_{cc} = f'_{co} \left(-1.254 + 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f'_l}{f'_{co}}} - 2 \frac{f'_l}{f'_{co}} \right) \quad (3.17)$$



Gambar 3.10: Inti terkekang untuk bagian yang diperkuat dengan lingkaran persegi (Mander et al., 1988).



Gambar 3.11: Kekuatan penentu terbatas dari tegangan pengekang lateral untuk penampang persegi panjang (Mander et al., 1988).

Mander mengusulkan metode yang cukup kompleks untuk menghitung ε_{cc} , yang bergantung pada penyelesaian persamaan keseimbangan energi. Sebaliknya, Paulay dan Priestley (1992) mengusulkan Persamaan 3.18 sebagai perkiraan yang lebih sederhana dan konservatif dari regangan beton terkekang ultimit, di mana ε_{su} adalah regangan tarik ultimit dari baja transversal.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + 1.4 \rho_s f_{yh} \varepsilon_{su} / f'_{cc} \quad (3.18)$$

Momen leleh pertama (M_y) dapat dikaitkan dengan putaran pegas (θ_{BS}) akibat slip-batang (S_y) sebagai berikut:

$$M_y = K_{SE} \theta_{BS} \quad (3.19)$$

Mengingat bahwa rotasi batang gelincir terjadi di sekitar sumbu netral lentur, hal ini dapat dikaitkan dengan kedalaman penetrasi regangan dan kelengkungan batang pada antarmuka batang gelincir (ϕ_y) sebagai berikut:

$$\theta_{BS} = \frac{S_y}{C_C} = \frac{\varepsilon_y l_{sp}}{s} \times \frac{\phi_y}{\varepsilon_y} = \frac{\phi_y l_{sp}}{\varepsilon_y} \quad (3.20)$$

dimana:

C_C = jarak dari sumbu netral ke pusat baja tarik.

Oleh karena itu, kekakuan pegas dengan panjang nol dapat dievaluasi sebagai berikut:

$$K_{SE} = \frac{2M_y}{\phi_y l_{sp}} \quad (3.21)$$

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Model Linear dan Non Linier

Pada Bab ini akan membahas beberapa hasil analisa linier dan non linier oleh Program Analisa Struktur diantaranya, perioda getar, nilai simpangan dan gaya-gaya dalam struktur gedung, berdasarkan model dengan sistem rangka baja dengan bresing eksentris. Semua *input* pembebanan serta kombinasi, zona gempa dan konfigurasi bangunan adalah sama. Serta perbandingan metode analisa pada tiap pemodelan, yaitu analisa respon spektrum ragam dan analisa respon riwayat waktu.

4.2 Hasil Analisa Linear

4.2.1 Respon Spektrum Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2019, 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 100% 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 : $SRSS > 15\%$, $CQC < 15\%$

Untuk perhitungan terdapat pada lampiran A.3

4.2.2 Koreksi Gempa Dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.4.1, Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100 % dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t , dimana V adalah gaya geser dasar statik ekuivalen yang dihitung sesuai pasal ini dan 7.8, dan V_t adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam, adapun syaratnya yaitu :

$$\frac{V}{V_t} \geq 1 \quad (4.1)$$

Dimana:

V = Gaya geser dasar statik ekivalen

V_t = Gaya geser hasil kombinasi ragam

Tabel 4.1: Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekivalen (V) dan Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum *output* Program Analisa Struktur V_t.

| Model Struktur | Arah Gempa | V (Statik Ekvivalen) KN | V _t (Kombinasi Ragam) KN |
|----------------|------------|----------------------------|--|
| Torsi Normal | Y | 605.56 | 768.76 |
| Torsi Ekstrem | Y | 809.92 | 1034.53 |

Untuk perhitungan terdapat pada lampiran A.5

4.2.3 Koreksi Faktor Redudansi

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.3.4.2, untuk kategori desain seismik D maka nilai faktor redundansi yang digunakan adalah ρ 1.3. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 % geser dasar dalam arah yang ditinjau. Hasil koreksi untuk setiap gaya geser diperoleh 1 lantai pada model 1 yang tidak memenuhi syarat 35 persen gaya geser dasar. Untuk perhitungan terdapat pada lampiran A.6

4.2.4 Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

Nilai V dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (V_t) dapat dilihat pada tabel 4.1. kontrol koreksi skala simpangan antar tingkat yaitu :

$$\text{Syarat : } V_t \geq C_s \cdot W$$

Tabel 4.2: Nilai koreksi skala simpangan antar tingkat

| Model Struktur | Arah Gempa | V _t | C _s . W | Kontrol |
|----------------|------------|----------------|--------------------|---------|
| Torsi Normal | Y | 768.76 | 605.56 | OK |
| Torsi Ekstrem | Y | 1034.53 | 809.92 | OK |

Dengan demikian syarat skala simpangan antar lantai telah terpenuhi, yaitu gaya geser dasar respon spektrum (V_i) lebih besar dari nilai $C_s W$, sehingga simpangan antar lantai tidak perlu dikalikan dengan faktor skala.

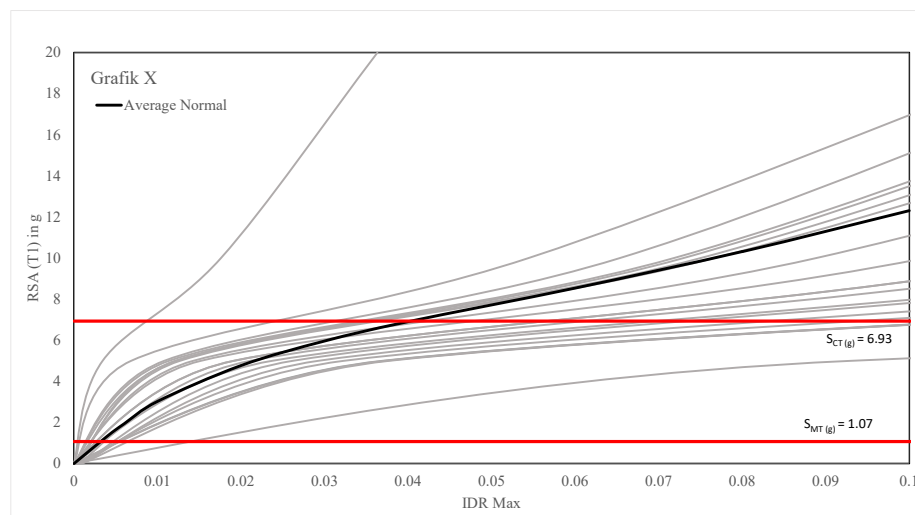
4.2.5 Nilai Simpangan Gedung

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2019, Simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan pada pasal 7.12.1 dari Tabel 20 SNI 1726:2019 untuk semua tingkat. Simpangan antar lantai yang diizinkan yaitu 0,02 dikali tinggi lantai (h_{sx}), nilai simpangan tidak boleh melebihi ketentuan tersebut. Pada hasil yang diperoleh, nilai simpangan antar lantai tidak melebihi batas izin atau memenuhi syarat. Untuk perhitungan terdapat pada lampiran A.7

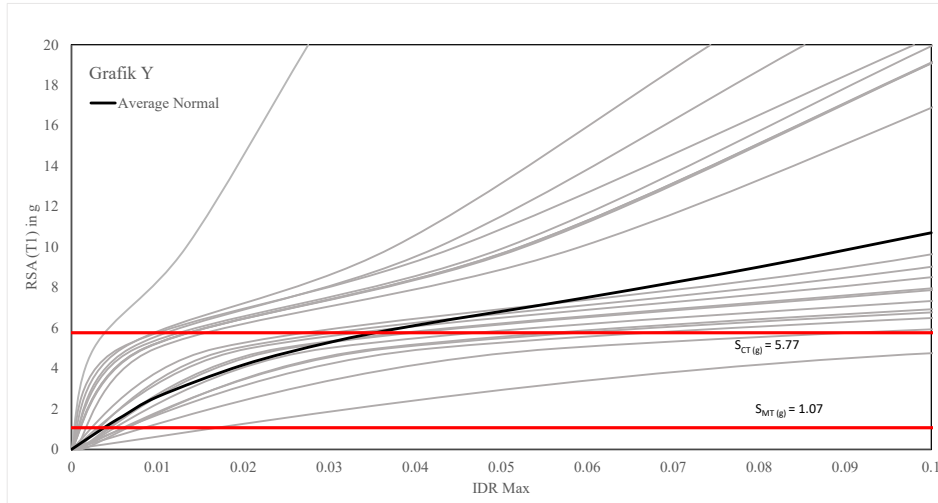
4.3 Hasil Analisa Non Linier

4.3.1 Incremental Dynamic Analysis (IDA)

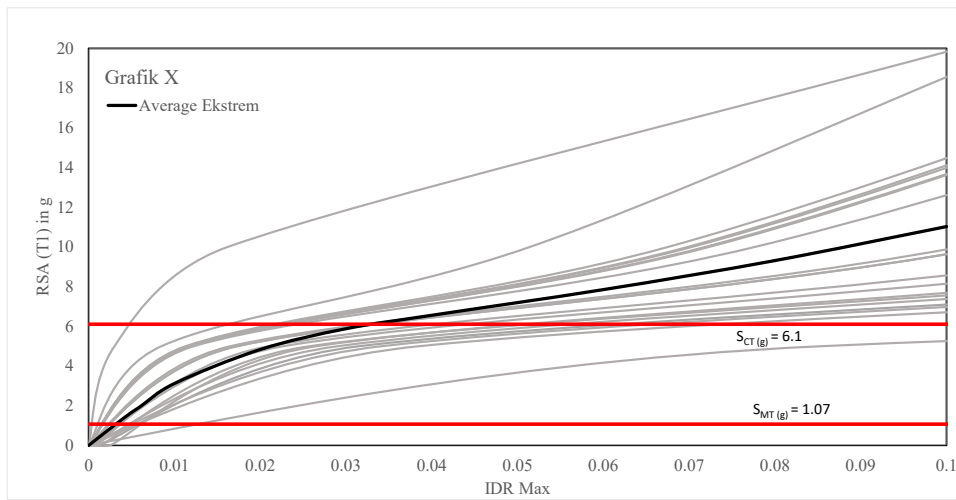
Analisis ini dilakukan untuk melihat respon struktur terhadap 20 gempa *fling* dari 3 jenis tingkat, dimana diambil nilai *max interstory drift* dari RSA terkecil hingga mencapai RSA yang menyebabkan *collapse*. Hasil analisis dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



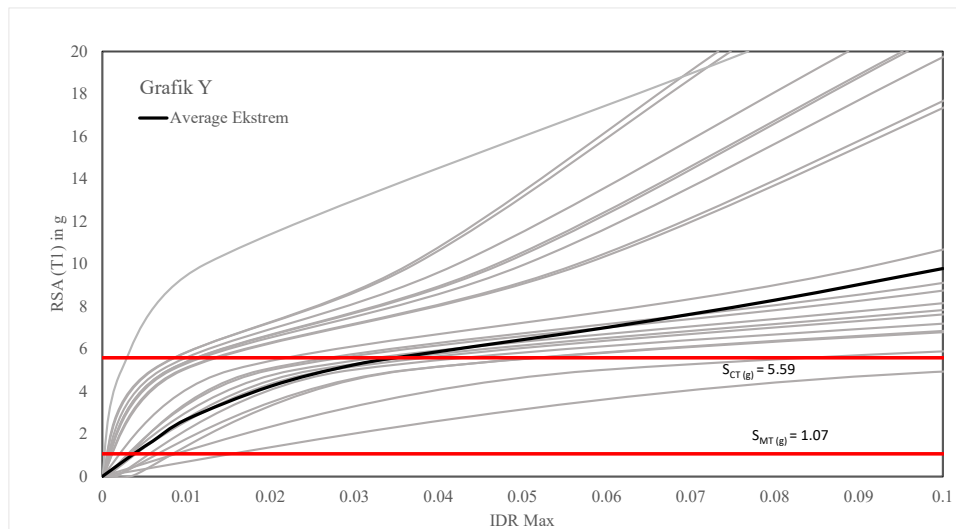
a)



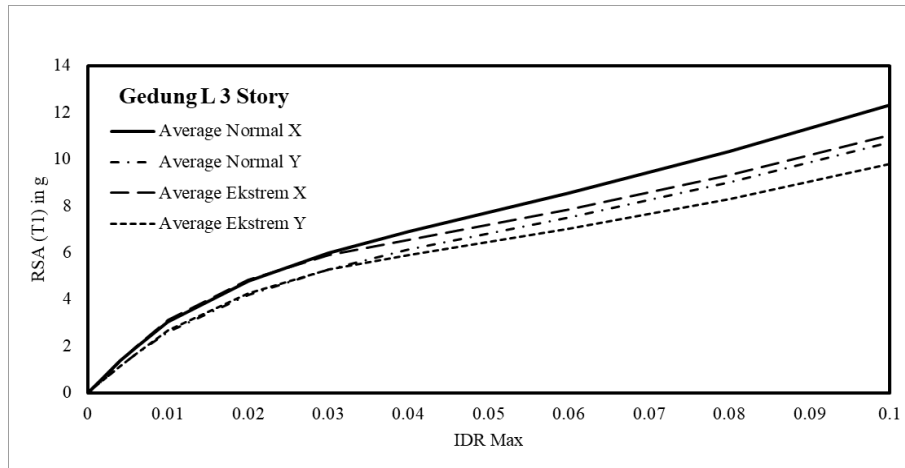
b)



c)



d)



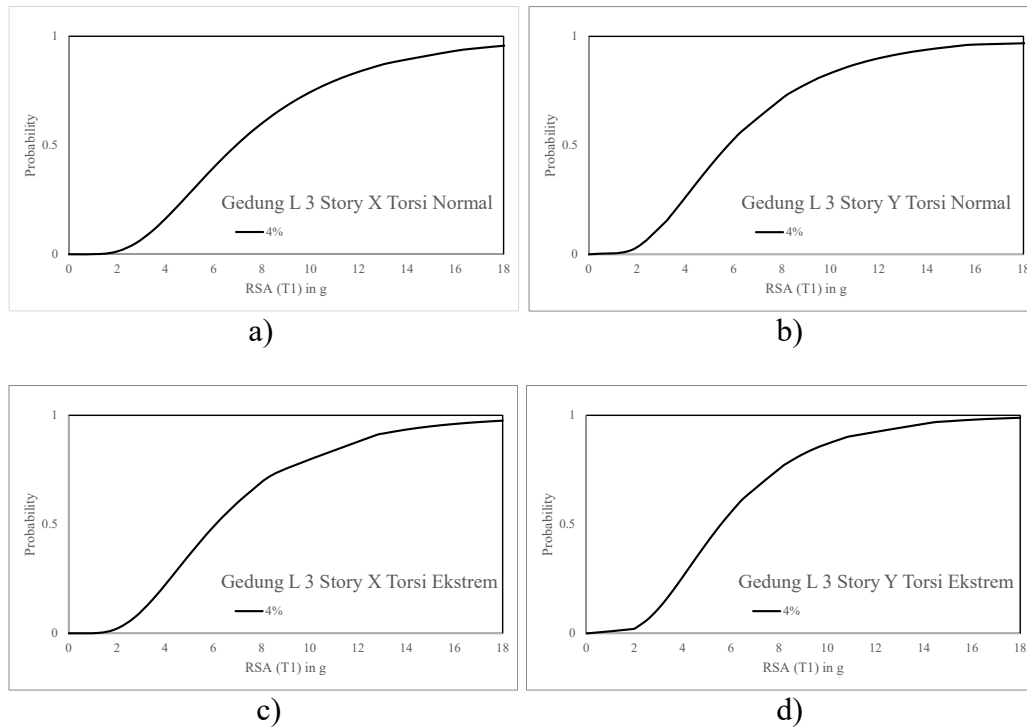
e)

Gambar 4.1: (a) Nilai rata-rata *IDR max* (*Interstory drift ratio*) untuk struktur beton bertulang dengan Torsi Normal arah X, (b) Torsi Normal arah Y, (c) Torsi Ekstrem arah X, (d) Torsi Ekstrem arah Y, dan (e) Nilai rata-rata *IDR max* untuk Torsi Normal dan Torsi Ekstrem pada dua arah.

Pada gambar a b c dan d menunjukkan nilai *IDR* yang dianalisis berdasarkan 20 rekaman gempa *fling* terhadap 2 jenis model (Torsi Normal dan Torsi Ekstrem). Nilai rata-rata untuk setiap tingkat terdapat pada garis hitam tebal untuk setiap grafiknya, dan besaran nilai S_{CT} dan S_{MT} (bergaris merah) yang memiliki rentang nilai yang hampir identik dengan setiap model dan arah gempanya. Sementara, nilai rata-rata *IDR max* untuk setiap model dilakukan perbandingan yang dapat dilihat pada gambar e, dimana nilai *RSA* yang diperoleh pada Torsi Normal arah X sekitar 12 g untuk kategori *collapse* (4%).

4.3.2 Analisis *Probability of Exceedance*

Dari proses *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) didapatkan nilai *RSA* untuk kategori *collapse* untuk 20 gempa *fling*. Kemudian dilakukan proses analisis probabilitas untuk kedua kategori tersebut untuk ketiga model yang dianalisis dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

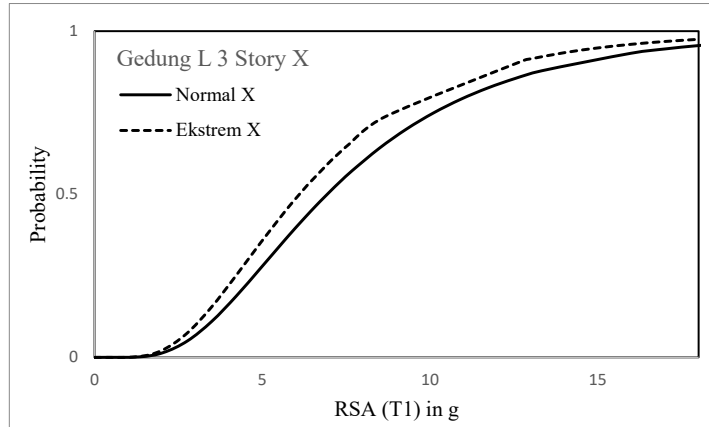


Gambar 4.2: a) Grafik *probability collapse* keruntuhan Torsi Normal X, b) Grafik *probability collapse* keruntuhan Torsi Normal Y, c) Grafik *probability collapse* keruntuhan Torsi Ekstrem X, d) Grafik *probability collapse* keruntuhan Torsi Ekstrem Y.

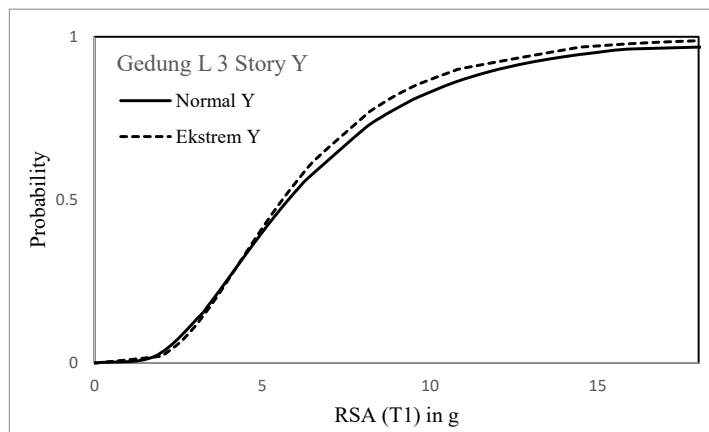
Pada gambar diatas menunjukkan nilai probabilitas untuk *collapse* (keruntuhan) dimana disetiap kurva menunjukkan besarnya persentase untuk kedua jenis kategori dan arah pada RSA tertentu dari 20 gempa yang dianalisis.

4.3.2.1 Perbandingan Kurva kerapuhan Normal dengan Ekstrem

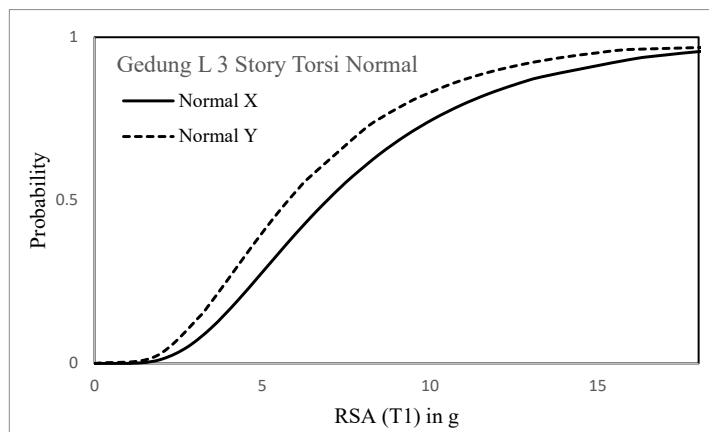
Analisa isi bertujuan untuk melihat seberapa besar perbandingan nilai RSA median pada kategori *collapse* untuk 2 jenis model dan 2 arah yang dianalisis (torsi normal, ekstrem dan arah X, Y). Hasil analisis dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



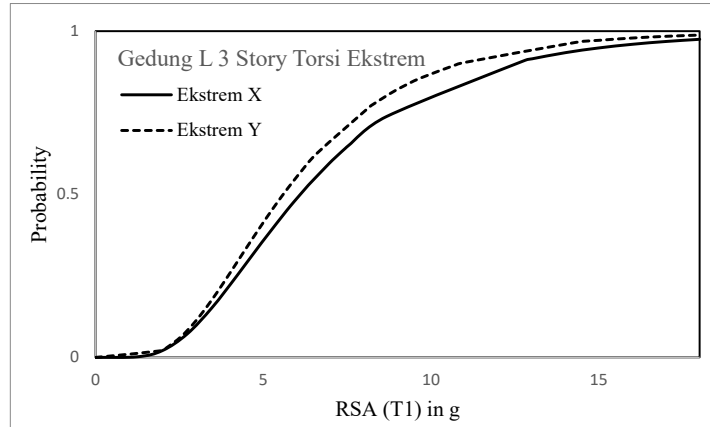
(a)



b)



c)



d)

Gambar 4.3: Grafik perbandingan kurva kerapuhan saat *collapse* untuk bangunan (a) Dua model untuk arah X, (b) Dua model untuk arah Y, (c) Torsi Normal pada dua arah, (d) Torsi Ekstrem pada dua arah.

Pada gambar diatas merupakan perbandingan kurva kerapuhan saat *collapse* untuk 2 jenis model dan arah (torsi normal, ekstrem dan arah X, Y). Disetiap model yang ditinjau nilai RSA untuk torsi ekstrem lebih kecil dibandingkan dengan torsi normal.

Tabel 4.3: Nilai Median RSA (T1) untuk kondisi *collapse* (4%).

| Collapse | | | |
|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Torsi Normal X | Torsi Normal Y | Torsi Ekstrem X | Torsi Ekstrem Y |
| 6,93 | 5,77 | 6,1 | 5,59 |

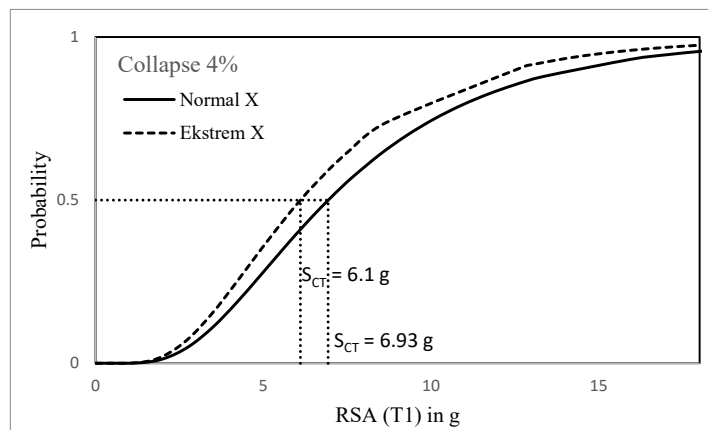
Dari Tabel diatas menunjukkan Torsi Normal arah X memiliki RSA terbesar yaitu 6,93 untuk terjadi *collapse*, kemudian Torsi Ekstrem arah X dengan RSA sebesar 6,1 untuk *collapse*, Torsi Normal arah Y dengan RSA sebesar 5,77 untuk *collapse*, dan Torsi Ekstrem arah Y memiliki RSA terkecil pada saat *collapse* yaitu 5,59.

Perbedaan nilai RSA untuk *Collapse* terjadi kemungkinan dapat terjadi dan tentunya dalam penelitian ini akibat disipasi respon yang terjadi. Respon Stuktur

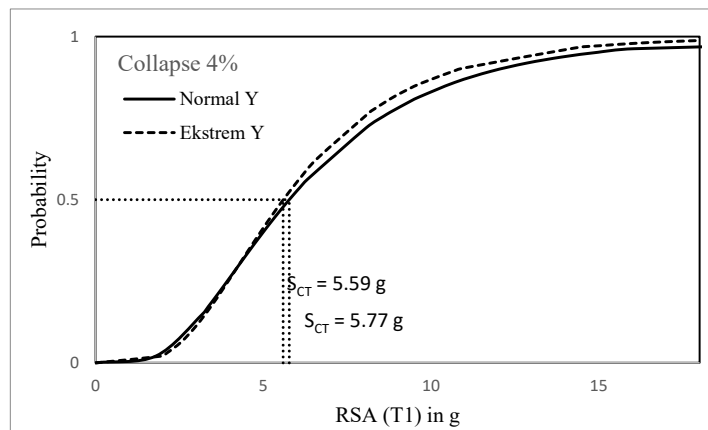
Torsi Ekstrem X Tidak Terdisipasi Secara Sempurna dibandingkan dengan struktur Torsi Normal Y. Artinya tidak sempurna adalah energi gempa tidak tersebar secara merata di setiap lantai, sehingga disalah satu lantai terjadi sebaran energi yang cukup besar yang menyebabkan simpangan yang terjadi sangat besar pada lantai tersebut.

4.3.3 Analisis *Probability of Collapse*

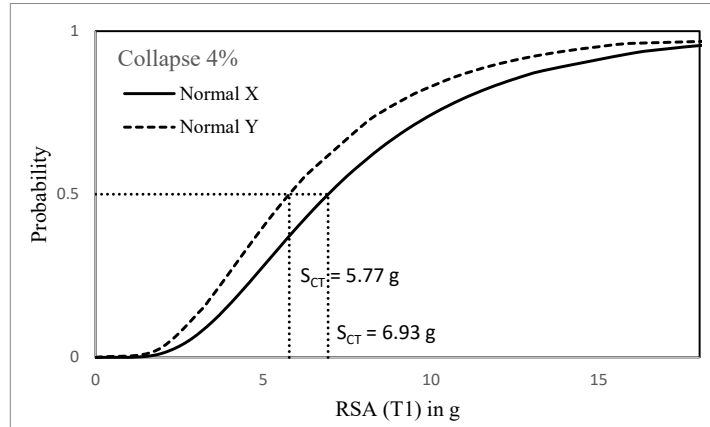
Dari proses *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) didapatkan nilai RSA untuk kategori *collapse* untuk 20 gempa fling. Kemudian dilakukan proses analisis *probability of collapse* untuk ketiga model yang dianalisis, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



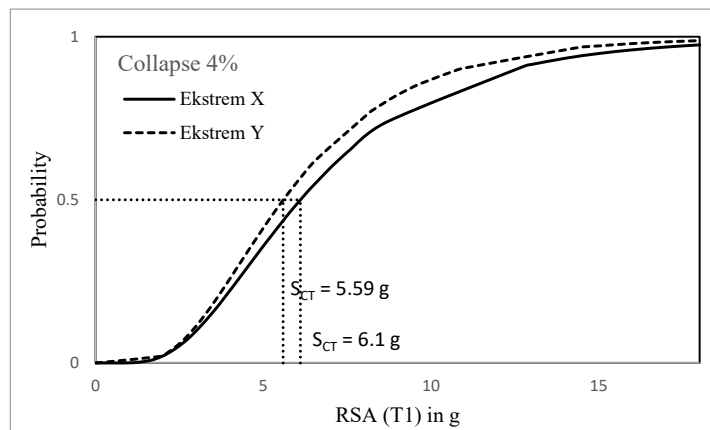
a)



b)



c)



d)

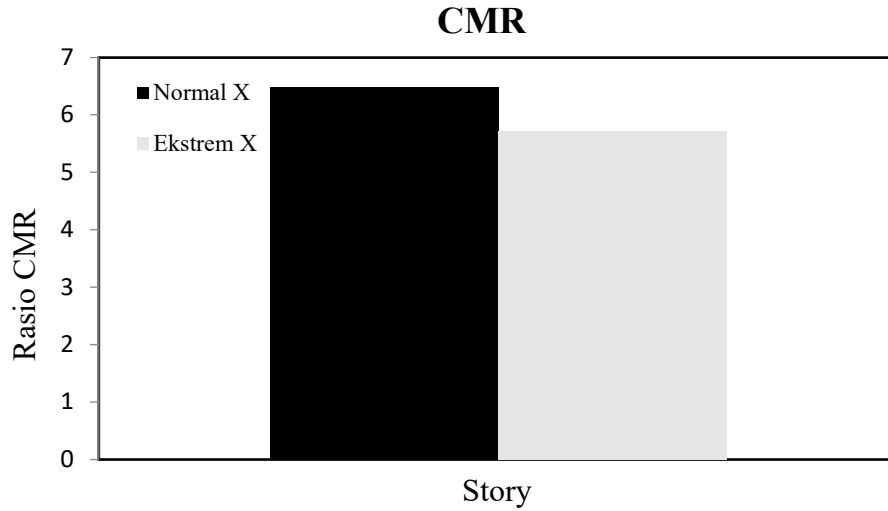
Gambar 4.4: Grafik *Probability Of Collapse* untuk (a) Torsi normal ekstrem pada arah X, (b) Torsi normal ekstrem pada arah Y, (c) Torsi normal pada arah X Y dan (d) Torsi Ekstrem pada arah X Y.

Dari Gambar diatas merupakan grafik *probability of collapse*. Diambil nilai probabilitas 50% untuk setiap model gedung, dimana diperoleh nilai *probability of collapse* pada Torsi Normal arah X adalah 6,93 g, untuk Torsi Normal arah Y adalah 5,77 g, untuk Torsi Ekstrem arah X adalah 6.1 g dan Torsi Ekstrem arah Y adalah 5,59 g.

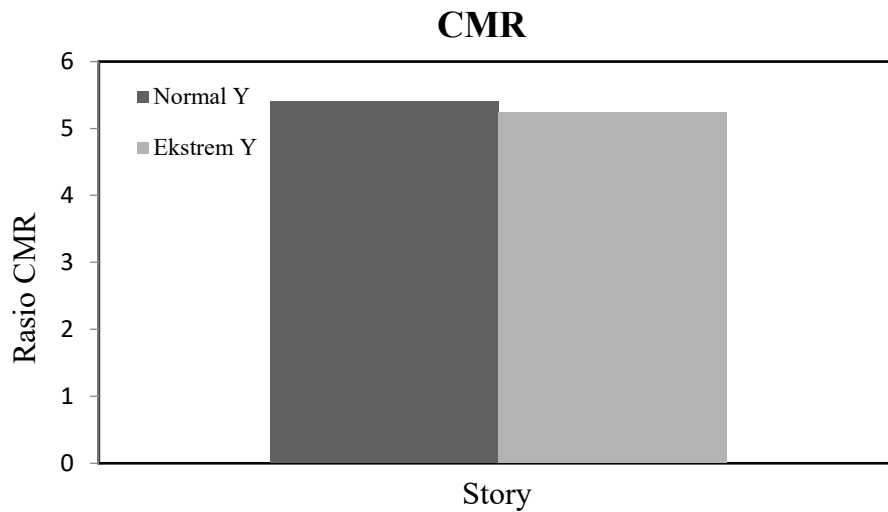
4.3.4 *Collapse Margin Ratio (CMR)*

Setelah diperoleh nilai *probability of collapse* disetiap model pada nilai mediannya, maka selanjutnya dilakukan analisa *collapse margin ratio* dengan

membandingkan nilai median pada *probability of collapse* dengan percepatan spektra MCE. Perbandingan hasil *collapse margin ratio* dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4.5: Diagram batang *Collapse Margin Ratio* nilai perbandingan Torsi Normal dan Torsi Ekstrem pada arah X.



Gambar 4.6: Diagram batang *Collapse Margin Ratio* nilai perbandingan Torsi Normal dan Torsi Ekstrem pada arah Y.

Pada gambar diagram batang diatas dapat dilihat bahwa nilai CMR paling tinggi terdapat pada model bangunan torsi normal.

Tabel 4.4: Nilai perbandingan *collapse margin ratio* untuk arah X.

| Torsi | Results | | | | | Criteria | |
|---------|----------|---------|------|------|------|----------|-------------|
| | Ω | μ_T | CMR | SSF | ACMR | Nilai | OK/Tidak OK |
| Normal | 2.5 | 8.00 | 6.49 | 1.30 | 8.42 | 1.52 | OK |
| Ekstrem | 2.5 | 6.45 | 5.71 | 1.26 | 7.22 | 1.52 | OK |

Tabel 4.5: Nilai perbandingan *collapse margin ratio* untuk arah Y

| Torsi | Results | | | | | Criteria | |
|---------|----------|---------|------|------|------|----------|-------------|
| | Ω | μ_T | CMR | SSF | ACMR | Nilai | OK/Tidak OK |
| Normal | 2.5 | 8.00 | 5.40 | 1.30 | 7.01 | 1.52 | OK |
| Ekstrem | 2.5 | 6.45 | 5.23 | 1.26 | 6.62 | 1.52 | OK |

Pada tabel diatas nilai perbandingan *collapse margin ratio* untuk kedua model bangunan. Nilai CMR terbesar ada pada gedung torsi normal kemudian dilanjutkan dengan Gedung torsi ekstrem, dapat dilihat pada diagram batang Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil analisa pada model gedung Torsi Ekstrem yang berupa kurva IDA membutuhkan RSA terkecil untuk mengalami keruntuhan dibandingkan model gedung Torsi Normal. Artinya model gedung Torsi Ekstrem memiliki kinerja keruntuhan yang sangat rentan dibandingkan tipe model gedung lainnya dan model gedung Torsi Normal memiliki kinerja keruntuhan paling baik dari semua model gedung yang di analisis.
2. Pada hasil analisis kurva kerapuhan yang di ambil nilai mediannya di dapat model gedung Torsi Normal paling besar yaitu 6,93 g untuk arah X dan 5,77 g untuk arah Y. Pada model gedung Torsi Ekstrem di dapat nilai yang lebih kecil yaitu 6,1 g pada arah X dan 5,59 g pada arah Y dengan RSA yang sama untuk 20 jenis rekaman gempa *fling*. Dengan demikian, nilai rasio batas keruntuhan yang di dapat gedung model Torsi Normal pada arah X dan Y masing-masing 6,49 dan 5,4. Untuk gedung model Torsi Ekstrem pada arah X dan Y masing-masing 5,71 dan 5,23.

5.2 Saran

1. Dalam Tugas Akhir ini, dimensi balok kolom yang ekonomis diabaikan. Disarankan untuk penganalisaan selanjutnya komponen tersebut direncanakan agar data yang dihasilkan lebih akurat dan sesuai data kondisi yang ada dilapangan.
2. Dalam Tugas Akhir ini, jika terdapat hasil yang kurang sesuai pada analisa linier dan non linier diharapkan agar dapat diskusi dengan penulis. Apabila nilai yang didapatkan jauh dari hasil yang ada.
3. Diharapkan Tugas Akhir ini dapat diteruskan atau dievaluasi kembali dalam rangka mendapatkan hasil yang optimal dan dapat dilakukan perbandingan terhadap hasil yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. (2014). ACI 318-14: Building code requirements for reinforced concrete. *AcI 318-14*.
- Amiri, S., & Bojórquez, E. (2019). Residual displacement ratios of structures under mainshock-aftershock sequences. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *121*, 179–193.
- Bahri, Z., & Mungkin, M. (2019). Penggunaan SCR sebagai alarm peringatan dini pada saat terjadi gempa bumi. *JET (Journal of Electrical Technology)*.
- Berry, M. P., & Eberhard, M. O. (2008). Performance Modeling Strategies for Modern Reinforced Concrete Bridge. *University of California, Berkeley*.
- Berry, M., Parrish, M., & Eberhard, M. (2004). PEER structural performance database user's manual (version 1.0). *University of California, Berkeley*.
- Budiono, B., & Supriatna, L. (2011). Studi komparasi desain bangunan tahan gempa dengan menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201X. *Bandung: Penerbit ITB*.
- Celik, O. C., & Ellingwood, B. R. (2008). Modeling beam-column joints in fragility assessment of gravity load designed reinforced concrete frames. *Journal of Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.1080/13632460701457215>
- Elwood, K. J., Matamoros, A. B., Wallace, J. W., Lehman, D. E., Heintz, J. A., Mitchell, A. D., Moore, M. A., Valley, M. T., Lowes, L. N., & Comartin, C. D. (2007). Update to ASCE/SEI 41 concrete provisions. *Earthquake Spectra*, *23*(3), 493–523.
- Faisal, A. (2020). Pengaruh getaran gempa yang mengandung efek pulse dan tanpa pulse pada struktur tidak simetris sebidang. *KUMPULAN BERKAS KEPANGKATAN DOSEN*.
- Geraldi, R., Christianto, D., & Pranata, H. (2019). EVALUASI STRUKTUR GEDUNG DENGAN SISTEM RANGKA BETON PEMIKUL MOMEN KHUSUS BERBASIS KINERJA. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i2.4300>
- Haselton, C. B., Liel, A. B., Taylor-Lange, S. C., & Deierlein, G. G. (2016). Calibration of model to simulate response of reinforced concrete beam-columns to collapse. *ACI Structural Journal*. <https://doi.org/10.14359/51689245>
- Iervolino, I., & Manfredi, G. (2008). A review of ground motion record selection strategies for dynamic structural analysis. *Modern Testing Techniques for Structural Systems*, 131–163.
- Mander, J. B., Priestley, M. J. N., & Park, R. (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering*.

[https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(1988\)114:8\(1804\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1988)114:8(1804))

- Muliadi, M., Afifuddin, M., & Aulia, T. B. (2018). Analisis Simpangan Antar Lantai Pada Bangunan Menggunakan Base Isolator Di Wilayah Gempa. *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi*, 3(4).
- NIST. (2017). Guidelines for Nonlinear Structural Analysis for Design of Buildings Part I-General Applied Technology Council. *NIST GCR 17-917-46v1*.
- Pawirodikromo, W. (2012). Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan. *Yogyakarta: Pustaka Pelajar*.
- PEER/ATC 72-1. (2010). Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings. In *Applied Technology Council*.
- Rizkiani, R. E. (2019). Studi Perbandingan Struktur Gedung Dispenda Kota Samarinda Berdasarkan Sni 03-1726-2002 Dan Sni 03-1726-2012. *KURVA S: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknik Sipil*, 1(1), 341–353.
- Sampakang, J. J., Pandaleke, R. E., Pangouw, J. D., & Khosama, L. K. (2013). Perencanaan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Pada Komponen Balok–kolom Dan Sambungan Struktur Baja Gedung Bpjn XI. *Jurnal Sipil Statik*, 1(10).
- Sni 1726:2019. (2019). Sni 1726:2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, 8, 254.
- Tjitradi, D., Eliatun, E., & Afriono, H. (2021). PERANCANGAN STRUKTUR BETON BERTULANG MENGGUNAKAN SOFTWARE STAADPRO V8i. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*. <https://doi.org/10.31602/jk.v4i1.5153>
- Vamvatsikos, D., & Cornell, C. A. (1966). *Application of Incremental Dynamic Analysis To an. Figure 1*, 1–12.

LAMPIRAN

A.1. Perhitungan Pembebanan Struktur

Dalam tugas akhir ini, tipe beban yang digunakan adalah beban gravitasi. Adapaun beban gravitasi yang bekerja pada struktur adalah sebagai berikut.

- ❖ Beban mati = Berat struktur sendiri, dihitung secara otomatis di Program Analisa Struktur.
- ❖ Beban mati tambahan (SDL)
 - Lantai tipikal = $1,5 \text{ kN/m}^2$
 - Lantai atap = $1,5 \text{ kN/m}^2$
- ❖ Beban Hidup (*Live*)
 - Lantai tipikal = 2 kN/m^2
 - Lantai atap = 2 kN/m^2

A.2. Syarat Perioda Struktur

Penentuan perioda yang digunakan untuk perhitungan gaya geser dasar dan gaya lateral statik ekuivalen adalah sebagai berikut dengan menggunakan acuan SNI 1726-2019.

❖ Model 1

Data struktur :

- Tinggi lantai bawah : 3,5 m
- Tinggi lantai tipikal : 3 m
- Hn : 9,5 m
- Cu : 1,4
- Ct : 0,0488
- X : 0,75

Tabel L.1 : Kontrol perioda getar alami struktur model 1

| Arah Y | | | | |
|--------------------------------|------------------------------|---------------|---------|---------|
| $T_{a\ min} = C_t \cdot h_n^x$ | $T_{a\ max} = C_u \cdot T_a$ | $T (Program)$ | T pakai | Kontrol |
| 0.264 s | 0.370 s | 0.547 s | 0.370 s | Ok |

Berdasarkan tabel L.1, perioda alami struktur yang digunakan adalah harus dikontrol menggunakan $T_{a\ min}$ dan $T_{a\ max}$ sehingga digunakan perioda yaitu 0,370 pada model 1.

❖ Model 2

Data struktur :

- Tinggi lantai bawah : 3,5 m
- Tinggi lantai tipikal : 3 m
- Hn : 9,5 m
- Cu : 1,4
- Ct : 0,0488
- X : 0,75

Tabel L.2 : Kontrol perioda getar alami struktur model 2

| Arah Y | | | | |
|--------------------------------|------------------------------|---------------|---------|---------|
| $T_{a\ min} = C_t \cdot h_n^x$ | $T_{a\ max} = C_u \cdot T_a$ | $T (Program)$ | T pakai | Kontrol |
| 0.264 s | 0.370 s | 0.684 s | 0.370 s | Ok |

Berdasarkan tabel L.2, perioda alami struktur yang digunakan adalah harus dikontrol menggunakan $T_{a\ min}$ dan $T_{a\ max}$ sehingga digunakan perioda yaitu 0,370 pada model 2.

A.3. Modal Participating Mass Ratios

A.3.1. Modal Participating Mass Ratios Model 1

Tabel L.3 : Hasil *output Modal Participating Mass Ratios* struktur pemodelan dengan program analisa struktur (Model 1).

| <i>Modal Participating Mass Ratios</i> | | | | | | |
|--|-------------|---------------|-----------|-----------|---------------|---------------|
| <i>Case</i> | <i>Mode</i> | <i>Period</i> | <i>UX</i> | <i>UY</i> | <i>Sum UX</i> | <i>Sum UY</i> |
| <i>Modal</i> | 1 | 0.547 | 0.5889 | 0.0161 | 59% | 2% |
| <i>Modal</i> | 2 | 0.542 | 0.0135 | 0.8614 | 60% | 88% |
| <i>Modal</i> | 3 | 0.445 | 0.2731 | 5.E-04 | 88% | 88% |
| <i>Modal</i> | 4 | 0.28 | 0.0002 | 0.0128 | 88% | 89% |
| <i>Modal</i> | 5 | 0.165 | 0.0128 | 0.0668 | 89% | 96% |
| <i>Modal</i> | 6 | 0.161 | 0.0465 | 0.0216 | 93% | 98% |
| <i>Modal</i> | 7 | 0.13 | 0.0451 | 0.0001 | 98% | 98% |
| <i>Modal</i> | 8 | 0.101 | 6.E-06 | 0.0039 | 98% | 98% |
| <i>Modal</i> | 9 | 0.086 | 7.E-04 | 0.0141 | 98% | 100% |
| <i>Modal</i> | 10 | 0.082 | 0.0087 | 0.0016 | 99% | 100% |
| <i>Modal</i> | 11 | 0.066 | 0.0105 | 2.E-05 | 100% | 100% |
| <i>Modal</i> | 12 | 0.054 | 0 | 9.E-04 | 100% | 100% |

Tabel L.4 : Hasil selisih presentase nilai perioda (Model 1)

| <i>Mode</i> | Presentasi | CQC < 15% | SRSS >15% |
|-------------|------------|---------------|---------------|
| 1 & 2 | 0.914 | <i>OK</i> | <i>Not OK</i> |
| 3 & 4 | 17.897 | <i>Not OK</i> | <i>OK</i> |
| 4 & 5 | 37.079 | <i>Not OK</i> | <i>OK</i> |
| 5 & 6 | 41.071 | <i>Not OK</i> | <i>OK</i> |
| 6 & 7 | 2.424 | <i>OK</i> | <i>Not OK</i> |
| 7 & 8 | 19.255 | <i>Not OK</i> | <i>OK</i> |
| 8 & 9 | 22.308 | <i>Not OK</i> | <i>OK</i> |
| 9 & 10 | 14.851 | <i>OK</i> | <i>Not OK</i> |
| 10 & 11 | 4.651 | <i>OK</i> | <i>Not OK</i> |
| 11 & 12 | 19.512 | <i>Not OK</i> | <i>OK</i> |

A.3.2. Modal Participating Mass Ratios Model 2

Tabel L.5 : Hasil *output Modal Participating Mass Ratios* struktur pemodelan dengan program analisa struktur (Model 2).

| <i>Modal Participating Mass Ratios</i> | | | | | | |
|--|-------------|---------------|-----------|-----------|---------------|---------------|
| <i>Case</i> | <i>Mode</i> | <i>Period</i> | <i>UX</i> | <i>UY</i> | <i>Sum UX</i> | <i>Sum UY</i> |
| <i>Modal</i> | 1 | 0.684 | 0.4801 | 0.105 | 48% | 11% |
| <i>Modal</i> | 2 | 0.604 | 0.1189 | 0.7603 | 60% | 87% |
| <i>Modal</i> | 3 | 0.461 | 0.2817 | 0.0216 | 88% | 89% |
| <i>Modal</i> | 4 | 0.271 | 0.0002 | 0.0087 | 88% | 90% |
| <i>Modal</i> | 5 | 0.204 | 0.0508 | 0.0073 | 93% | 90% |
| <i>Modal</i> | 6 | 0.185 | 0.0077 | 0.078 | 94% | 98% |
| <i>Modal</i> | 7 | 0.136 | 0.0417 | 0.0006 | 98% | 98% |
| <i>Modal</i> | 8 | 0.106 | 0.0082 | 0.0017 | 99% | 98% |
| <i>Modal</i> | 9 | 0.102 | 3.E-06 | 0.0021 | 99% | 99% |
| <i>Modal</i> | 10 | 0.098 | 0.0016 | 0.0139 | 99% | 100% |
| <i>Modal</i> | 11 | 0.069 | 0.009 | 0.0001 | 100% | 100% |
| <i>Modal</i> | 12 | 0.056 | 7.783E-07 | 0.0007 | 100% | 100% |

Tabel L.6 : Hasil selisih presentase nilai perioda (Model 2)

| <i>Mode</i> | Presentasi | CQC < 15% | SRSS >15% |
|-------------|------------|---------------|---------------|
| 1 & 2 | 11.696 | <i>OK</i> | <i>Not OK</i> |
| 3 & 4 | 23.675 | <i>Not OK</i> | <i>OK</i> |
| 4 & 5 | 41.215 | <i>Not OK</i> | <i>OK</i> |
| 5 & 6 | 24.723 | <i>Not OK</i> | <i>OK</i> |
| 6 & 7 | 9.314 | <i>OK</i> | <i>Not OK</i> |
| 7 & 8 | 26.486 | <i>Not OK</i> | <i>OK</i> |
| 8 & 9 | 22.059 | <i>Not OK</i> | <i>OK</i> |
| 9 & 10 | 3.774 | <i>OK</i> | <i>Not OK</i> |
| 10 & 11 | 3.922 | <i>OK</i> | <i>Not OK</i> |
| 11 & 12 | 29.592 | <i>Not OK</i> | <i>OK</i> |

A.4. Berat Sendiri Struktur

A.4.1. Berat sendiri struktur (Model 1)

Tabel L.7 : Hasil *output* berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur.

| <i>Mass Summary by Story</i> | | |
|------------------------------|-----------|-----------|
| <i>Story</i> | UX | UY |
| | kg | kg |
| <i>Story3</i> | 215472.44 | 215472.44 |
| <i>Story2</i> | 229600.73 | 229600.73 |
| <i>Story1</i> | 231955.44 | 231955.44 |
| <i>Base</i> | 16483 | 16483 |
| <i>Total</i> | 693511.61 | 693511.61 |

Dari hasil perhitungan diatas, total dari berat keseluruhan gedung dan termasuk beban yang ada adalah 693511.61 Kg

A.4.2. Berat sendiri struktur (Model 2)

Tabel L.8 : Hasil *output* berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur.

| <i>Mass Summary by Story</i> | | |
|------------------------------|-----------|-----------|
| <i>Story</i> | UX | UY |
| | kg | kg |
| <i>Story3</i> | 293486.67 | 293486.67 |
| <i>Story2</i> | 307614.96 | 307614.96 |
| <i>Story1</i> | 309969.67 | 309969.67 |
| <i>Base</i> | 16483 | 16483 |
| <i>Total</i> | 927554.3 | 927554.3 |

Dari hasil perhitungan diatas, total dari berat keseluruhan gedung dan termasuk beban yang ada adalah 927554.3 Kg

A.5 Perhitungan Gaya Geser Dasar dan Gaya Lateral Statik Ekuivalen

Menghitung gaya geser dasar untuk mendapatkan hasil gaya lateral statik ekuivalen, dimana mengacu pada peraturan SNI 1726-2019.

Model 1

❖ Data Struktur :

- S_{D1} : 0,641 g
- S_{DS} : 0,713 g
- R : 8
- I_e : 1
- S_1 : 0,401 g

❖ C_s Hitung : $C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$

: 0,089

$$\diamond \text{ Cs Max} : C_{S \max} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

: 0,303

$$\diamond \text{ Cs Min} : C_{S \min} = \frac{0.5 \times S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

: 0,031

Tabel L.9 : Nilai C_s untuk Model 1 (R=8)

| Arah Y | | | | |
|--------|-----------|------------|-------------|----------|
| Arah Y | Cs Hitung | Cs Minimum | Cs Maksimum | Cs Pakai |
| | 0.089 s | 0.031 s | 0.303 s | 0.089 |

Pada SNI 1726-2019, penentuan nilai C_s yaitu C_s hitung harus berada diantara $C_s \min$ dan $C_s \max$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung model 1 adalah :

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,089 \times 6796,414 \text{ KN}$$

$$V = 605,352 \text{ KN}$$

$$\text{Ket : } W_t = 693512 \text{ Kg} \times 0,0098$$

$$W_t = 6796,414 \text{ KN}$$

❖ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3, k adalah eksponen yg 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 Penentuan nilai k

| Distribusi Beban Gempa | |
|------------------------|-------------|
| Periode | K |
| 0.5 | 1 |
| 2.5 | 2 |
| 0,5-2,5 | Interpolasi |

Hasil interpolasi dari kedua periode adalah 0.935, maka nilai k yang digunakan adalah 0.935.

Tabel L.11 : Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 1

| Lantai | Berat (KN) W_x | Tinggi Lantai h_x | $W_x \cdot h_x^k$ | <i>Force</i> | <i>Story Shear (Fx)</i> |
|----------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------|-------------------------|
| <i>Story 3</i> | 215472.44 | 9.5 | 1768329.942 | 278.998 | 279.00 |
| <i>Story 2</i> | 229600.73 | 6.5 | 1321439.404 | 208.490 | 487.49 |
| <i>Story 1</i> | 231955.44 | 3.5 | 748355.8946 | 118.072 | 605.56 |
| <i>Base</i> | 16483 | 0 | 0 | 0.000 | 605.56 |
| <i>Total</i> | 693511.61 | | 3838125.241 | 605.560 | |

Berdasarkan Tabel L.11 diatas, dapat dilihat bahwasanya nilai gaya geser pada lantai 1 untuk struktur model 1 adalah 605.56 KN.

Model 2

❖ Data Struktur :

- S_{D1} : 0,641 g
- S_{DS} : 0,713 g
- R : 8
- I_e : 1
- S_1 : 0,401 g

❖ C_s Hitung : $C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$

: 0,089

$$\text{❖ Cs Max} : C_{S \max} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

: 0,303

$$\text{❖ Cs Min} : C_{S \min} = \frac{0.5 \times S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

: 0,031

Tabel L.12 : Nilai Cs untuk Model 2 (R=8)

| Arah Y | | | | |
|--------|-----------|------------|-------------|----------|
| Arah Y | Cs Hitung | Cs Minimum | Cs Maksimum | Cs Pakai |
| | 0.089 s | 0.031 s | 0.303 s | 0.089 |

Pada SNI 1726-2019, penentuan nilai C_s yaitu C_s hitung harus berada diantara $C_s \min$ dan $C_s \max$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung model 2 adalah :

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,089 \times 9090.032 \text{ KN}$$

$$V = 809.643 \text{ KN}$$

$$\text{Ket : } W_t = 927554 \text{ Kg} \times 0,0098$$

$$W_t = 9090.032 \text{ KN}$$

❖ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3, k adalah eksponen yg 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.13 Penentuan nilai k

| Distribusi Beban Gempa | |
|------------------------|-------------|
| Periode | K |
| 0.5 | 1 |
| 2.5 | 2 |
| 0,5-2,5 | Interpolasi |

Hasil interpolasi dari kedua periode adalah 0.935, maka nilai k yang digunakan adalah 0.935.

Tabel L.14 : Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 2

| Lantai | Berat (KN) W_x | Tinggi Lantai h_x | $W_x \cdot h_x^k$ | <i>Force</i> | <i>Story Shear</i> (F_x) |
|----------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------|---------------------------------|
| <i>Story 3</i> | 215472.44 | 9.5 | 1768329.942 | 373.153 | 373.15 |
| <i>Story 2</i> | 229600.73 | 6.5 | 1321439.404 | 278.850 | 652.00 |
| <i>Story 1</i> | 231955.44 | 3.5 | 748355.8946 | 157.918 | 809.92 |
| <i>Base</i> | 16483 | 0 | 0 | 0.000 | 809.92 |
| <i>Total</i> | 693511.61 | | 3838125.241 | 809.922 | |

Berdasarkan Tabel L.14 diatas, dapat dilihat bahwasanya nilai gaya geser pada lantai 1 untuk struktur model 2 adalah 809,92 KN.

A.6. Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear*

Tabel L.15 : Hasil analisa koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1,3, dan nilai $R=8$, Untuk model 1.

| <i>Story</i> | V_x | 35% <i>Base Shear</i> | Kontrol |
|--------------|--------|-----------------------|---------|
| 3 | 279 | 211.9 | OK |
| 2 | 487.49 | 211.9 | OK |
| 1 | 605.56 | 211.9 | OK |
| <i>Base</i> | 0 | 0 | OK |

Tabel L.16 : Hasil analisa koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1,3, dan nilai R=8, Untuk model 2.

| Story | V _x | 35% Base Shear | Kontrol |
|-------|----------------|----------------|---------|
| 3 | 373.15 | 283.4 | OK |
| 2 | 652 | 283.4 | OK |
| 1 | 809.92 | 283.4 | OK |
| Base | 0 | 0 | OK |

A.7. Nilai Simpangan Gedung

Tabel L.17 : Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk model 1 untuk arah X.

| Story | Combo | Direction | δ_{ex} | $\delta_{xe} = (\delta_{ex} - \delta_{ex-1})$ | $\Delta_x = \delta_{xe} \frac{C_{dx}}{I_e}$ | h _{sx} | $\frac{\Delta_{ijin}}{h_{sx}} = 0.020$ | Cek |
|----------|----------|-----------|---------------|---|---|-----------------|--|-----|
| | | | (mm) | (mm) | (mm) | | (mm) | |
| Lantai 3 | Envelope | X | 11.6 | 2.995 | 16.473 | 3000 | 60 | OK |
| Lantai 2 | Envelope | X | 8.605 | 4.371 | 24.041 | 3000 | 60 | OK |
| Lantai 1 | Envelope | X | 4.234 | 4.234 | 23.287 | 3500 | 70 | OK |

Tabel L.18 : Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk model 1 untuk arah Y.

| Story | Combo | Direction | δ_{ex} | $\delta_{xe} = (\delta_{ex} - \delta_{ex-1})$ | $\Delta_x = \delta_{xe} \frac{C_{dx}}{I_e}$ | h _{sx} | $\frac{\Delta_{ijin}}{h_{sx}} = 0.020$ | Cek |
|----------|----------|-----------|---------------|---|---|-----------------|--|-----|
| | | | (mm) | (mm) | (mm) | | (mm) | |
| Lantai 3 | Envelope | Y | 12.207 | 2.914 | 16.027 | 3000 | 60 | OK |
| Lantai 2 | Envelope | Y | 9.293 | 4.528 | 24.904 | 3000 | 60 | OK |
| Lantai 1 | Envelope | Y | 4.765 | 4.765 | 26.208 | 3500 | 70 | OK |

Berdasarkan Tabel L.17 dan Tabel L.18 diatas, seluruh simpangan antar tingkat sudah memenuhi syarat aman, dengan angka izin $\Delta_{ijin} = 0.020 h_{sx}$.

Tabel L.19 : Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk model 2 arah X.

| Story | Combo | Direction | δ_{ex} | $\delta_{xe} = (\delta_{ex} - \delta_{ex-1})$ | $\Delta_x = \delta_{xe} \frac{C_{dx}}{I_e}$ | h_{sx} | $\Delta_{ijin} = 0.020 h_{sx}$ | Cek |
|----------|----------|-----------|---------------|---|---|----------|--------------------------------|-----|
| | | | (mm) | (mm) | (mm) | | (mm) | |
| Lantai 3 | Envelope | X | 16.654 | 4.207 | 23.139 | 3000 | 60 | OK |
| Lantai 2 | Envelope | X | 12.447 | 6.196 | 34.078 | 3000 | 60 | OK |
| Lantai 1 | Envelope | X | 6.251 | 6.251 | 34.381 | 3500 | 70 | OK |

Tabel L.20 : Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk model 2 arah Y.

| Story | Combo | Direction | δ_{ex} | $\delta_{xe} = (\delta_{ex} - \delta_{ex-1})$ | $\Delta_x = \delta_{xe} \frac{C_{dx}}{I_e}$ | h_{sx} | $\Delta_{ijin} = 0.020 h_{sx}$ | Cek |
|----------|----------|-----------|---------------|---|---|----------|--------------------------------|-----|
| | | | (mm) | (mm) | (mm) | | (mm) | |
| Lantai 3 | Envelope | Y | 15.869 | 3.739 | 20.565 | 3000 | 60 | OK |
| Lantai 2 | Envelope | Y | 12.13 | 5.832 | 32.076 | 3000 | 60 | OK |
| Lantai 1 | Envelope | Y | 6.298 | 6.298 | 34.639 | 3500 | 70 | OK |

Berdasarkan Tabel L.19 dan Tabel L.20 diatas, seluruh simpangan antar tingkat sudah memenuhi syarat aman, dengan angka izin $\Delta_{ijin} = 0.020 h_{sx}$.

A.8. Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (*Soft Story*)

Tabel L.21 : Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah X (Model 1).

| Story | Kekakuan total | Ki/Ki+1 (%) | Rata-rata Kek. 3 tingkat (Kr) | Ki/Kr (%) |
|-------|----------------|-------------|-------------------------------|-----------|
| 3 | 88807.64 | | | |
| 2 | 102926.9 | 116% | 106118.02 | |
| 1 | 126619.5 | 123% | | 119% |

Tabel L.22 : Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah X (Model 2).

| Story | Kekakuan total | Ki/Ki+1 (%) | Rata-rata Kek. 3 tingkat (Kr) | Ki/Kr (%) |
|-------|----------------|-------------|-------------------------------|-----------|
| 3 | 86963.43 | | | |
| 2 | 98538.67 | 113% | 100969.02 | |
| 1 | 117405 | 119% | | 116% |

A.9. Pengaruh Efek P-Delta

Tabel L.23 : Hasil analisa P-Delta struktur Model 1 (R=8).

| Story | Py kN | Δy mm | Ie | Vy kN | hsy mm | Cdx | $\theta_x = \frac{P_x \cdot \Delta_x \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_{dx}}$ | Cek |
|--------------|------------------------|------------------------|-----------|------------------------|-------------------------|------------|---|------------------|
| Lt 3 | 2419.8 | 16.473 | 1 | 364.3 | 3000 | 5.5 | 0.0066 | P-Δ Diabaikan |
| Lt 2 | 5172.2 | 24.041 | 1 | 627.6 | 3000 | 5.5 | 0.0120 | P-Δ Diabaikan |
| Lt 1 | 7924.5 | 23.287 | 1 | 768.8 | 3500 | 5.5 | 0.0125 | P-Δ Diabaikan |

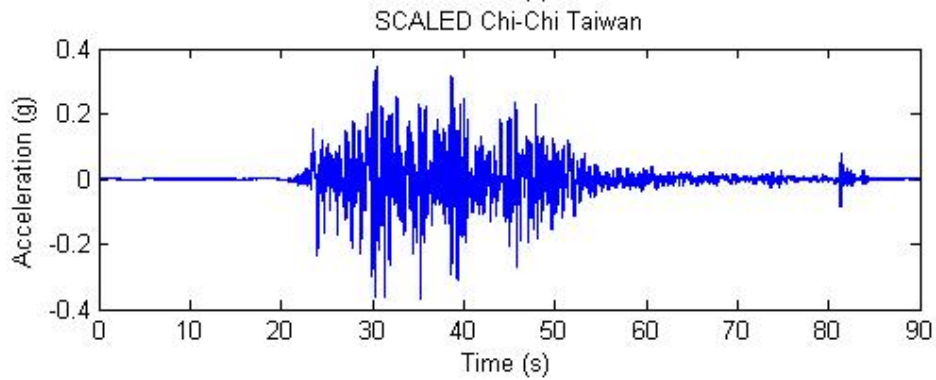
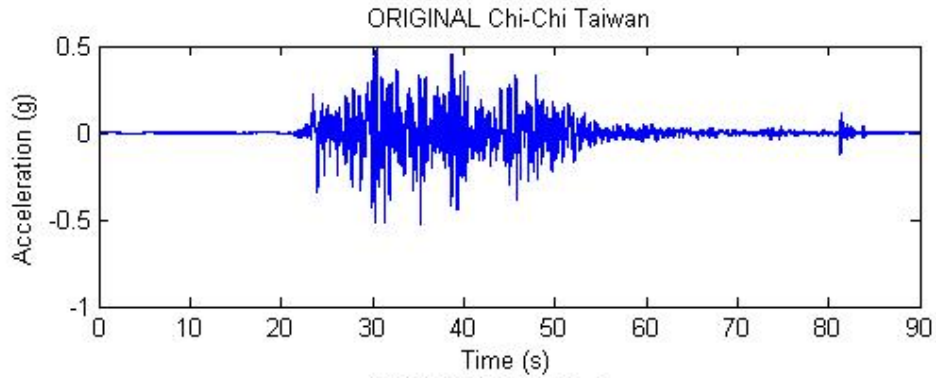
Tabel L.24 : Hasil analisa P-Delta struktur Model 2 (R=8).

| Story | Py kN | Δy mm | Ie | Vy kN | hsy mm | Cdx | $\theta_x = \frac{P_x \cdot \Delta_x \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_{dx}}$ | Cek |
|--------------|------------------------|------------------------|-----------|------------------------|-------------------------|------------|---|------------------|
| Lt 3 | 2527.9 | 23.139 | 1 | 499.9 | 3000 | 5.5 | 0.0071 | P-Δ Diabaikan |
| Lt 2 | 5388.3 | 34.078 | 1 | 850.8 | 3000 | 5.5 | 0.0131 | P-Δ Diabaikan |
| Lt 1 | 8248.7 | 34.381 | 1 | 1034.5 | 3500 | 5.5 | 0.0142 | P-Δ Diabaikan |

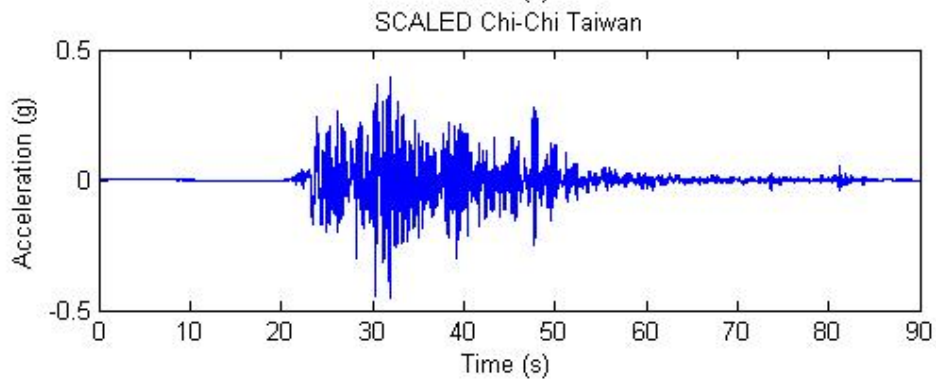
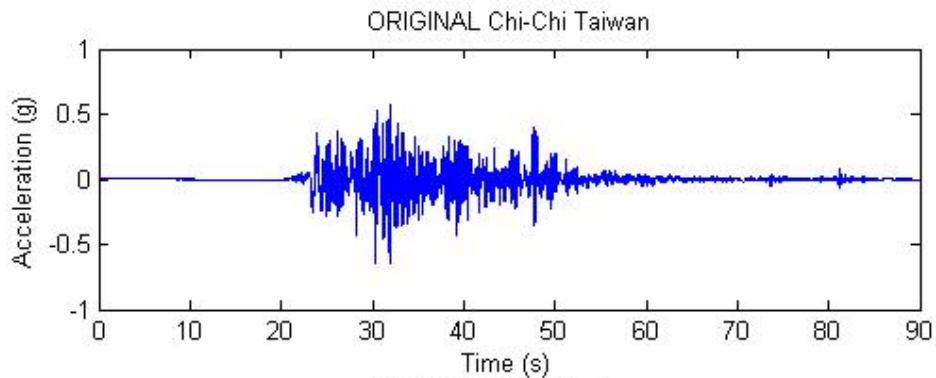
A.10 Ground Motion (Rekaman gempa)

1. Ground motion Chi-chi Taiwan (*fling*)

Arah X

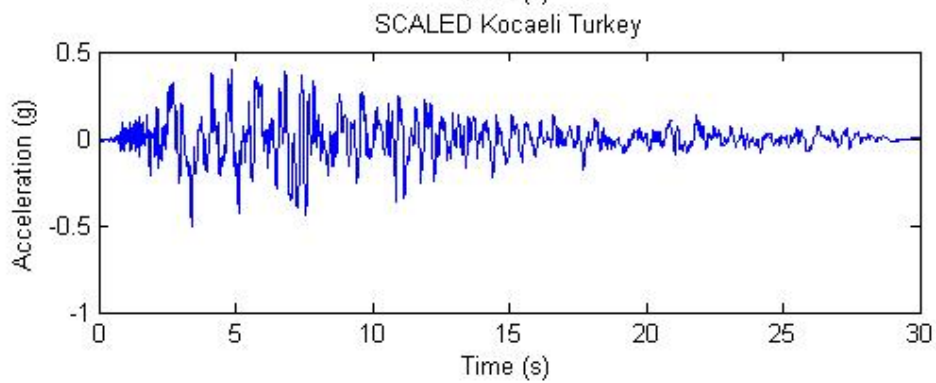
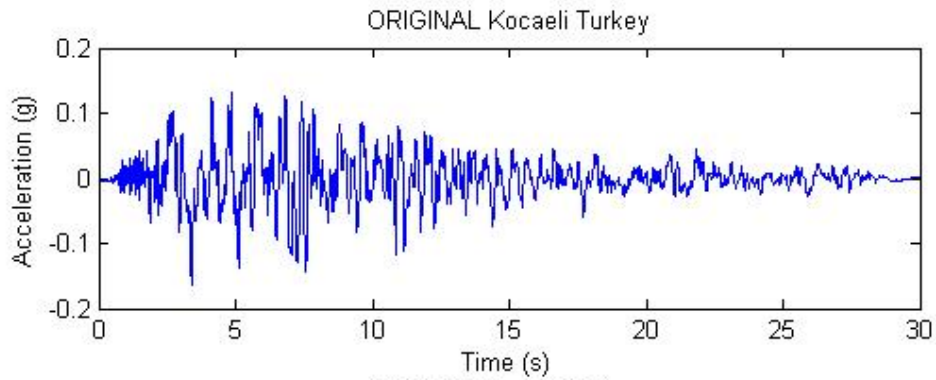


Arah Y

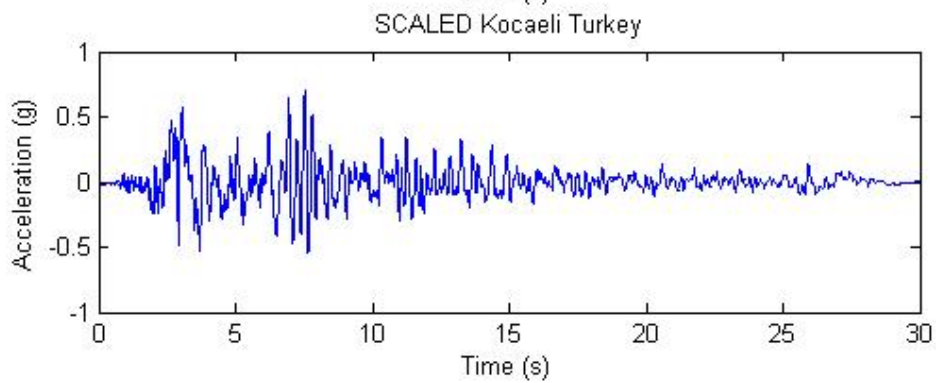
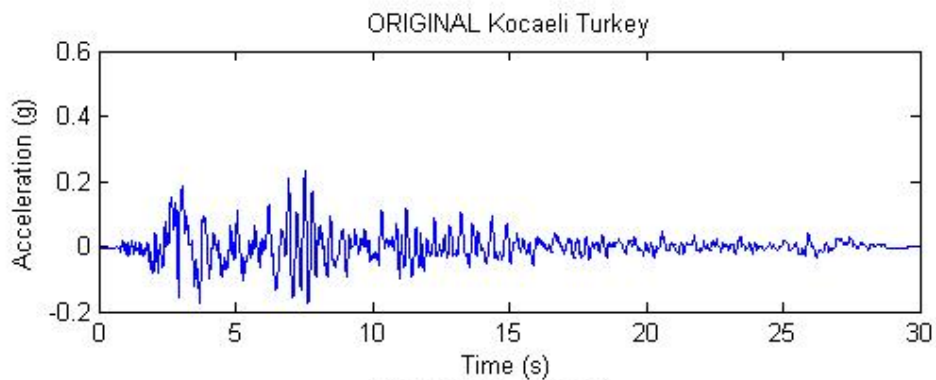


2. Ground Motion Kocaeli Turkey (*fling*)

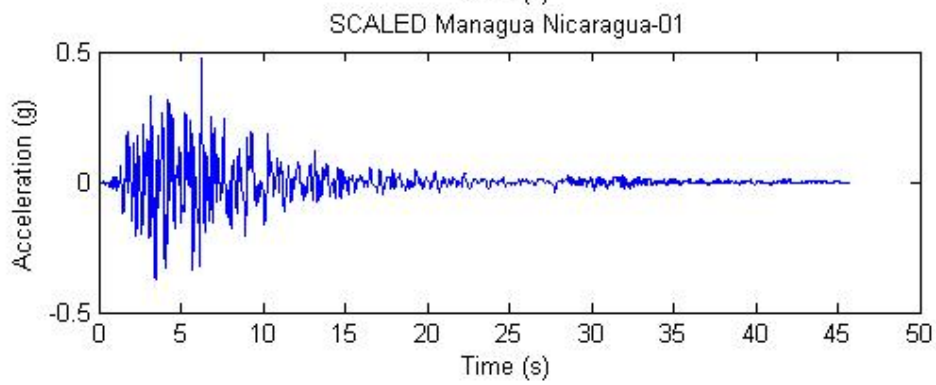
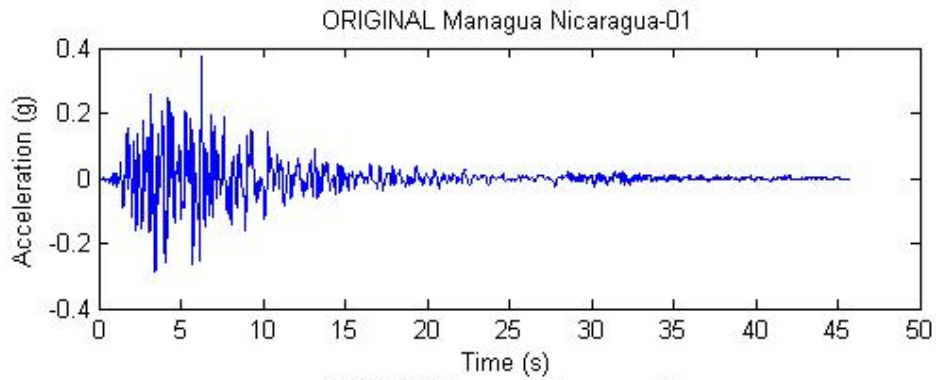
Arah X



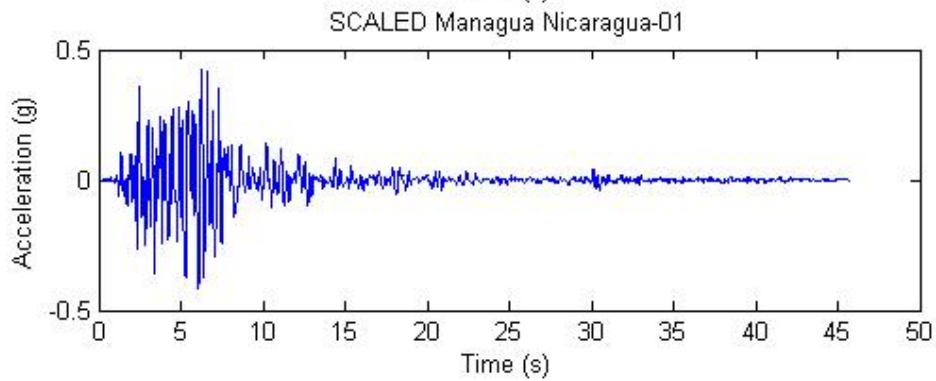
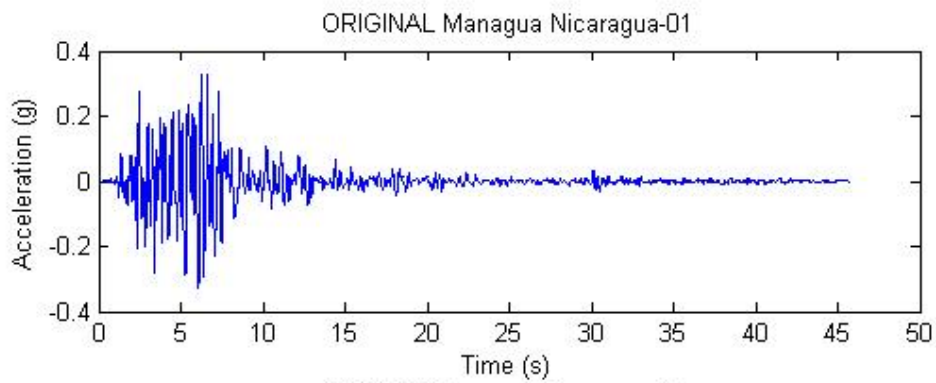
Arah Y



3. *Ground Motion Managua Nicaragua-01 (fling)*
Arah X

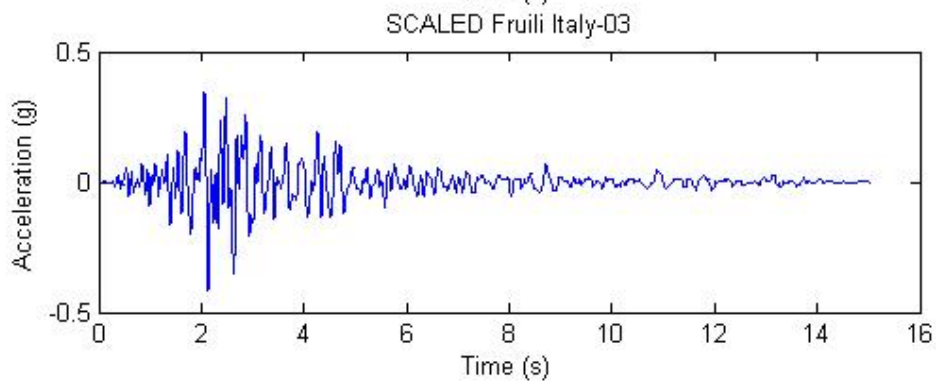
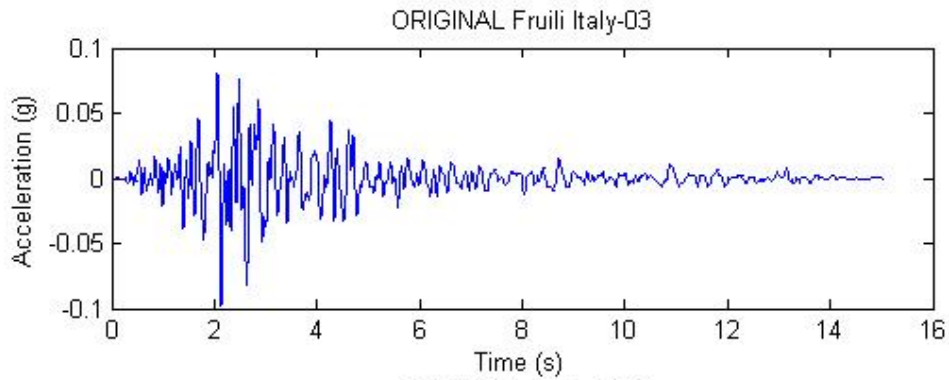


Arah Y

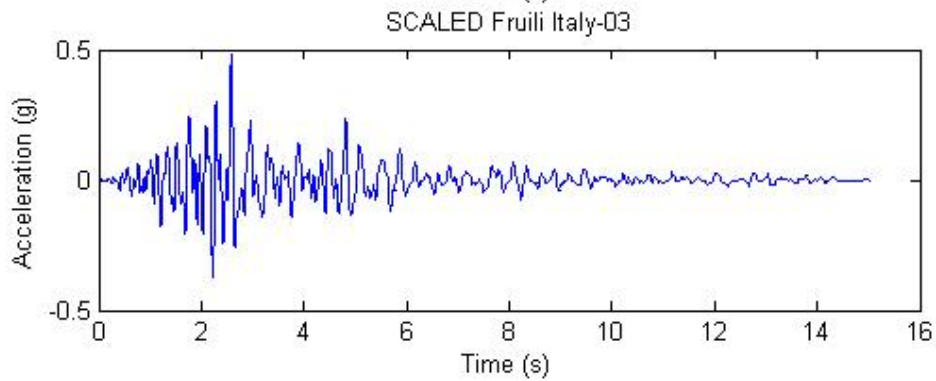
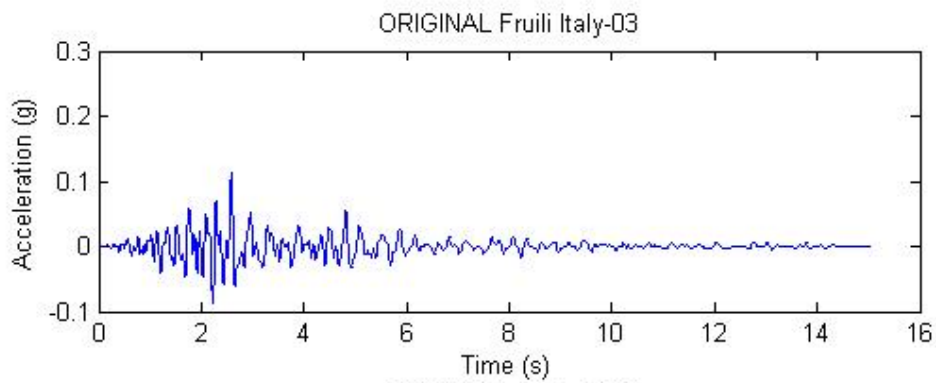


4. Ground Motion Friuli Italy-02 (*fling*)

Arah X

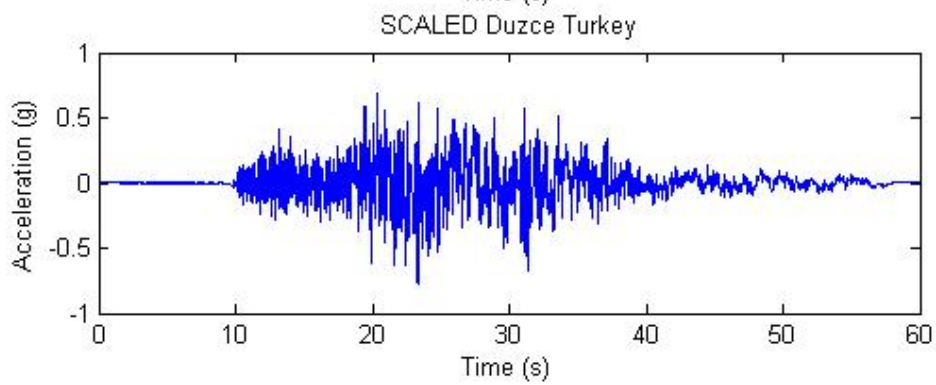
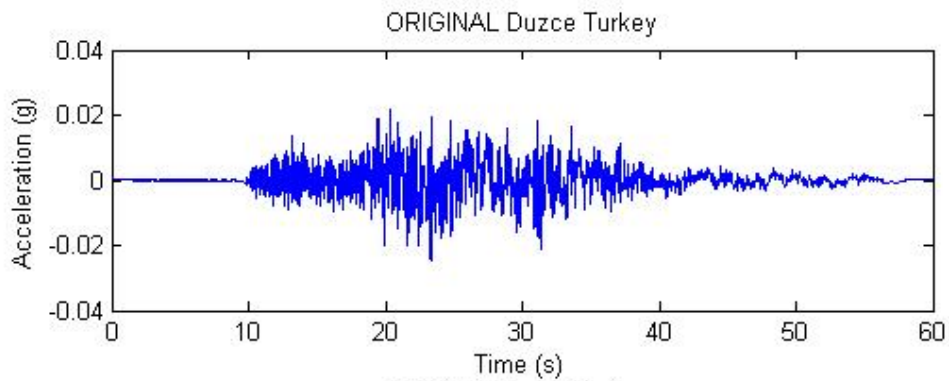


Arah Y

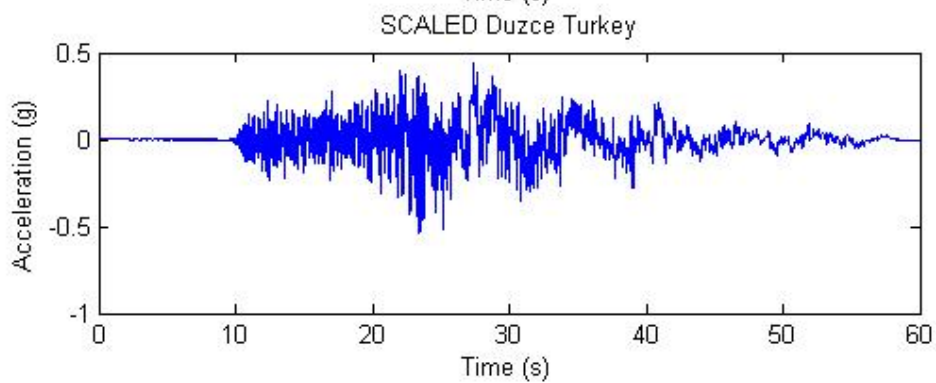
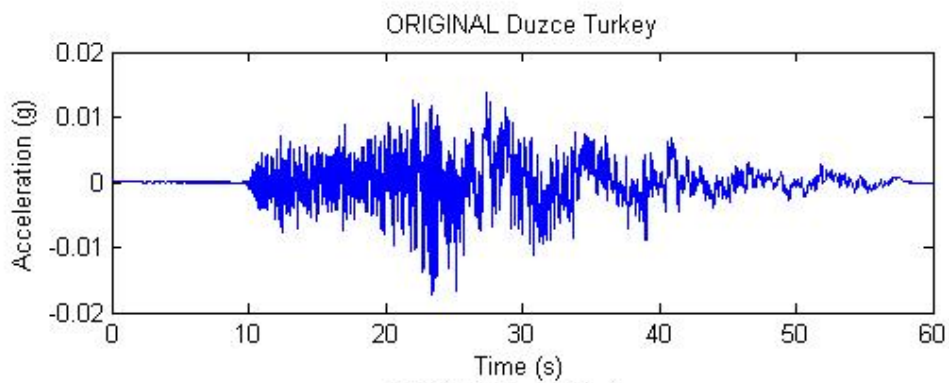


5. Ground Motion Duzce Turkey (*fling*)

Arah X

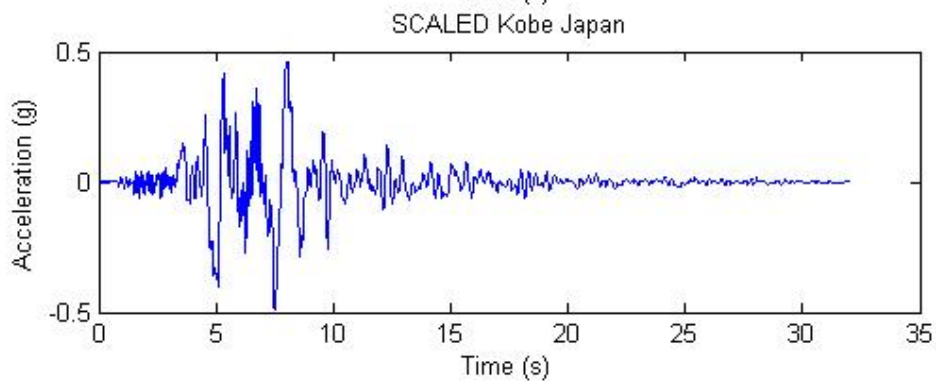
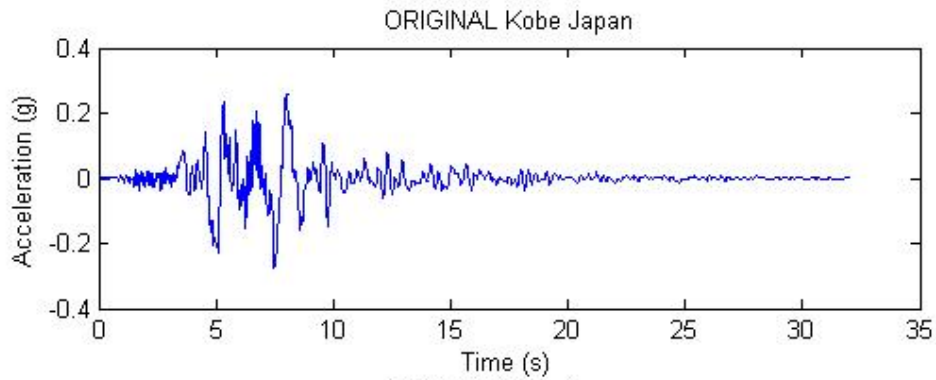


Arah Y

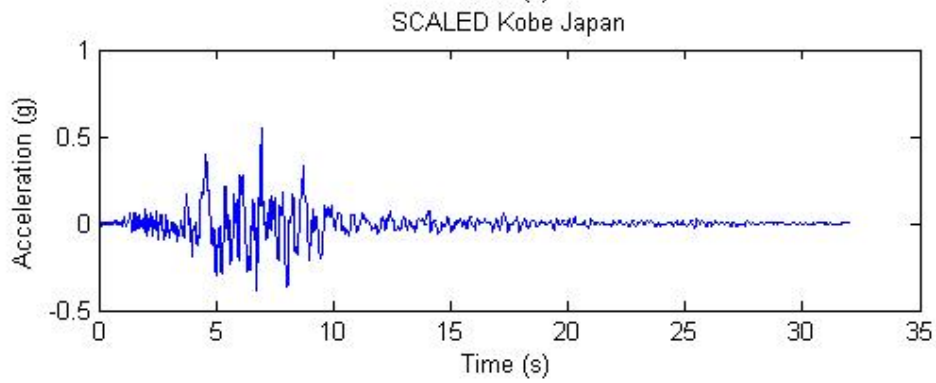
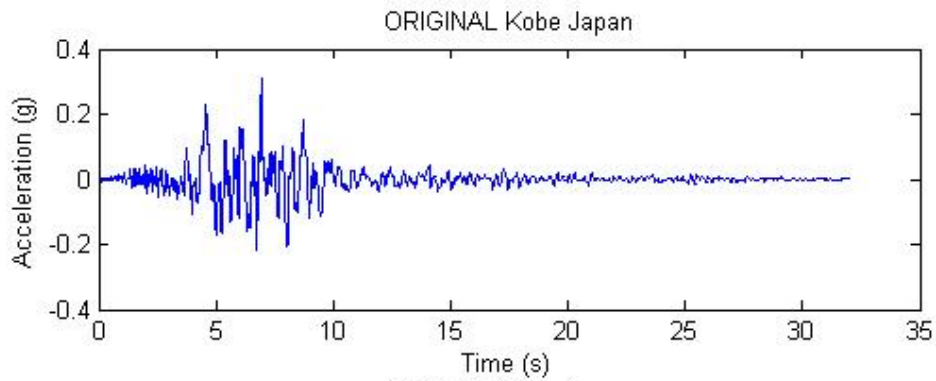


6. Ground Motion Kobe Japan (fling)

Arah X

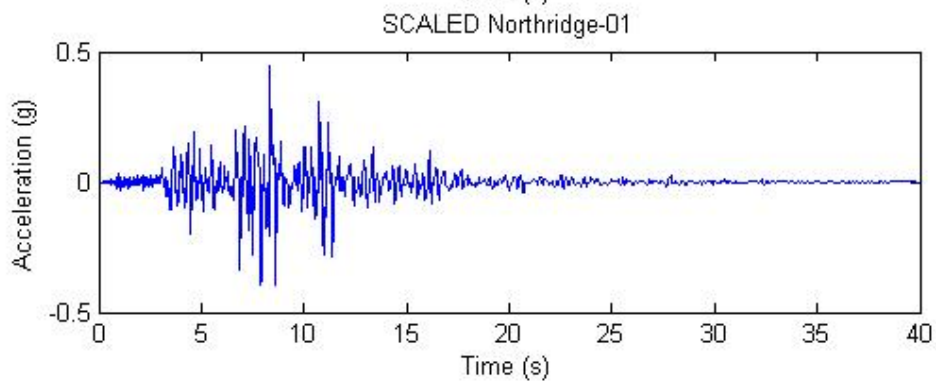
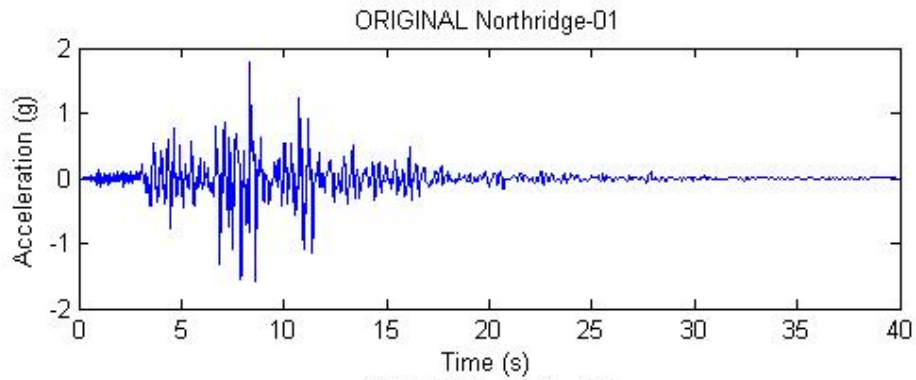


Arah Y

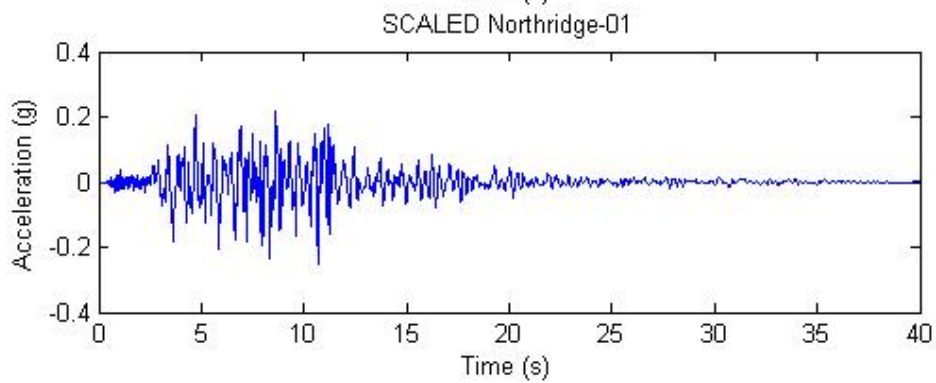
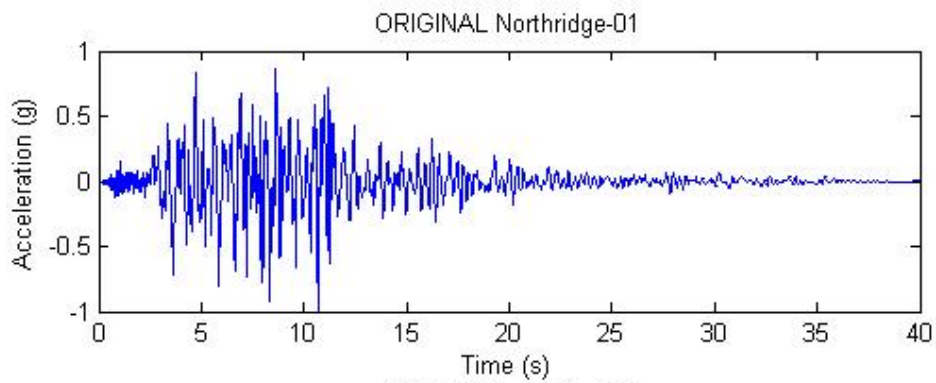


7. Ground Motion Northridge-01 (*fling*)

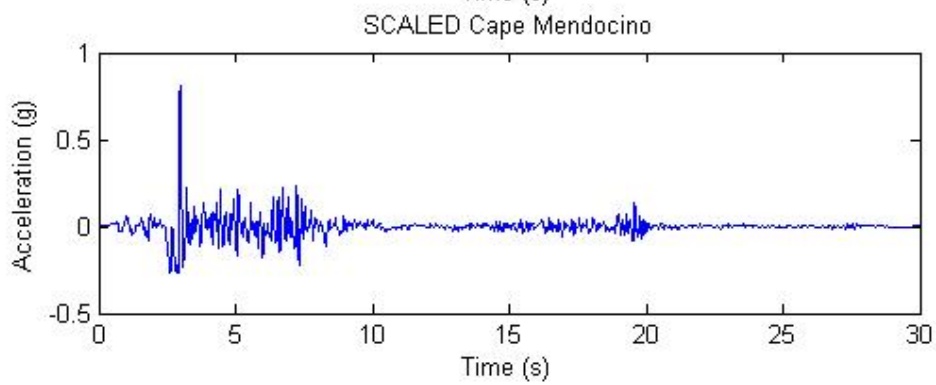
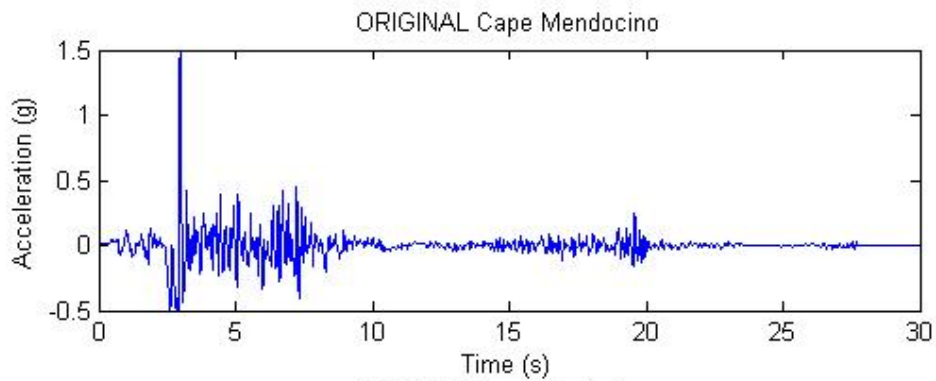
Arah X



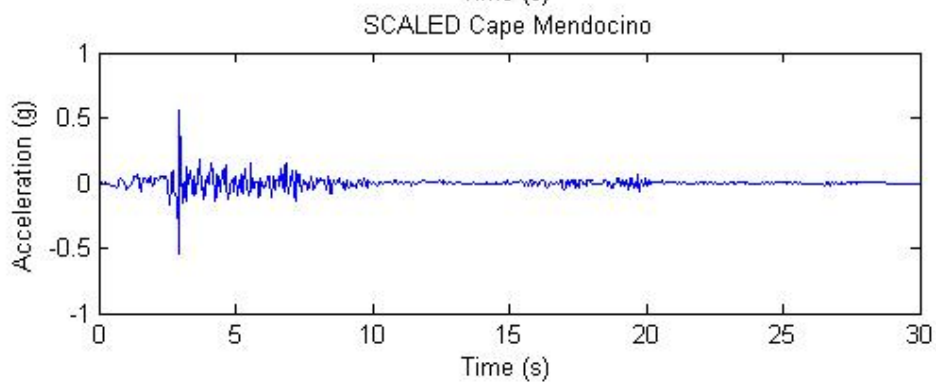
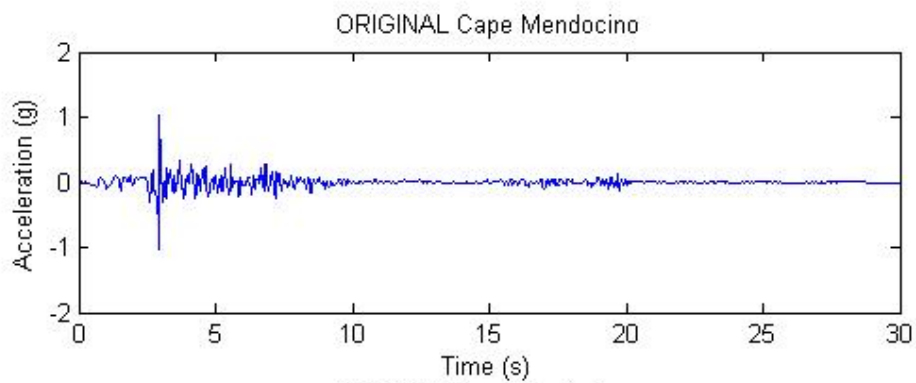
Arah Y



8. *Ground Motion Cape Mendocino (fling)*
Arah X



Arah Y



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Diri Penyusun

Nama Lengkap : Dimas Anggit Bratama
Tempat, Tanggal Lahir : Kisaran, 11 Desember 1999
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat : Jl. Budi Utomo, Siumbuh Umut, Kec. Kota Kisaran Timur, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara.
Agama : Islam
Nama Ayah : Yahman, SH
Nama Ibu : Lisdaniar
No. Handphone : 082246877383
Email : dimasbratama1112@gmail.com

Riwayat Pendidikan

| No | Tingkat Pendidikan | Nama Sekolah | Tahun |
|----|--------------------------------|---|-----------|
| 1 | Taman Kanak-Kanak | TK Kemala Bhayangkari 08 Kisaran | 2005-2006 |
| 2 | Sekolah Dasar | SD Swasta Diponegoro Kisaran | 2006-2012 |
| 3 | Sekolah Menengah Pertama | SMPN 6 Kisaran | 2012-2015 |
| 4 | Sekolah Menengah Atas | SMAN 2 Kisaran | 2015-2018 |
| 5 | Perguruan Tinggi (Strata 1) | Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan | 2018-2023 |