

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KERUNTUHAN STRUKTUR SRPM BAJA
DENGAN BRACING KONSENTRIK AKIBAT GETARAN
GEMPA BERULANG DAN PENGARUH RANGKA BEBAN
GRAVITASI
(*Study Literatur*)**

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

Disusun Oleh:

RIAN AGUSTIAN
1807210214P



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061)6622400
Website : <http://www.umsu.ac.id> Email : rektor@umsu.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir Ini diajukan oleh:

Nama : Rian Agustian
NPM : 1807210214P
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Evaluasi Keruntuhan Struktur SRPM Baja Dengan
Bracing Konsentrik Akibat Getaran Gempa
Berulang Dan Pengaruh Rangka Beban Gravitasi
Bidang Ilmu : Struktur

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA

PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 11 November 2020

Dosen Pembimbing 1


Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc

Dosen Pembimbing 2


Bambang Hadibroto, S.T, M.T

LEMBAR PENGESAHAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

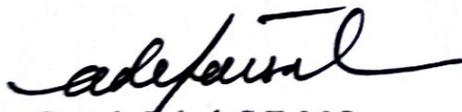
Nama : Rian Agustian
NPM : 1807210214P
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : EVALUASI KERUNTUHAN STRUKTUR SRPM BAJA
DENGAN BRACING KONSENTRIK AKIBAT
GETARAN GEMPA BERULANG DAN PENGARUH
RANGKA BEBAN GRAVITASI
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan 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, 11 November 2020

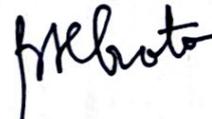
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc

Dosen Pembimbing II



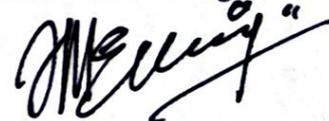
Bambang Hadibroto, S.T., M.T

Dosen Pembimbing I



Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc.

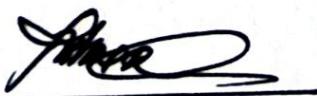
Dosen Pembimbing II



Irma Dewi, S.T., M.Si

Program Studi Teknik Sipil

Ketua



Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Rian Agustian
Tempat / Tanggal Lahir : Panji Mulia 1 / 31 Agustus 1997
NPM : 1807210214P
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Evaluasi Keruntuhan Struktur Srpm Baja Dengan Bracing Konsentrik Akibat Getaran Gempa Berulang Dan Pengaruh Rangka Beban Gravitasi”

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

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan 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, 06 November 2020

Saya yang menyatakan,



Rian Agustian

ABSTRAK

EVALUASI KERUNTUHAN STRUKTUR SRPM BAJA DENGAN BRACING KONSENTRIK AKIBAT GETARAN GEMPA BERULANG DAN PENGARUH RANGKA BEBAN GRAVITASI (STUDI LITERATUR)

RianAgustian

1807210214P

Dr. Ade Faisal, ST, M.Sc

Bambang Hadibroto, ST, MT

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh adanya pelepasan energi regangan elastis batuan pada litosfir. Tidak jarang gempa datang secara berulang (gempa susulan) terkhusus wilayah Indonesia yang merupakan wilayah zona gempa. Oleh karena itu diperlukan struktur bangunan yang mampu meminimalisir resiko kerusakan akibat gempa terkhusus gempa yang datang secara berulang yang memberikan energi lebih besar dibandingkan dengan gempa tunggal. Pada tugas akhir ini direncanakan sebuah struktur dengan 9 lantai yang dimodelkan terhadap 1 jenis penskalaan rekaman gempa yaitu penskalaan MCE untuk analisis nonlinier. Dari hasil analisis yang di dapatkan dari hasil memodelkan struktur baja dengan kondisi tanah keras (R6) terhadap gempa tunggal dan gempa berulang yang didapatkan nilai *Incremental Dynamic Analysis* nilai IDR dari gempa berulang lebih besar dari pada gempa tunggal, pada gempa tunggal memiliki nilai $RSA(T1) = 1$ mendapatkan nilai $IDR = 0,083$ dan pada gempa berulang memiliki nilai $RSA(T1) = 1$ menapatkan nilai $IDR = 0,094$. Hasil analisis juga menunjukkan nilai probabilitas (CP) = 5%, dan (LS) = 2,5%, yang diperoleh gempa berulang selalu memerlukan nilai $RSA(T1)$ yang lebih besar dari pada gempa tunggal untuk mencapai kondisi mendekati keruntuhan. sedangkan nilai probabilitas 10% memerlukan nilai $RSA(T1)$ yang lebih besar dari pada gempa berulang untuk mencapai kondisi keruntuhan.

Kata kunci: *Incremental Dynamic Analysis, Probability of collapse, baja*

ABSTRACT

EVALUATION OF THE COLLAPSE OF STEEL SRPM STRUCTURES WITH CONCENTRIC BRACING DUE TO REPEATED EARTHQUAKE VIBRATIONS AND THE EFFECTH OF GRAVITY LOAD FRAMES (LITERATURE STUDY)

RianAgustian

1807210214P

Dr. Ade Faisal, B.Eng, M.Sc

Bambang Hadibroto, B.Eng, M.Eng

Earthquakes are a natural phenomenon caused by the release of elastic stretch energy of rocks in the lithosphere. It is not uncommon for earthquakes to come repeatedly (aftershocks), especially in Indonesia, which is an earthquake zone area. Therefore, a building structure is needed that is able to minimize the risk of damage due to earthquakes, especially earthquakes that come repeatedly which provide greater energy than a single earthquake. In this final project, a 9-story structure is designed to be modeled against 1 type of earthquake scaling, namely MCE scaling for nonlinear analysis. From the analysis results obtained from the results of modeling steel structures with hard ground conditions (R6) against single earthquakes and repeated earthquakes, the Incremental Dynamic Analysis value of IDR from repeated earthquakes is greater than single earthquakes, in a single earthquake it has an RSA (T1) value.) = 1 get the value of IDR = 0.730 and in repeated earthquakes it has a value of RSA (T1) = 1 getting a value of IDR = 1,346. The results of the analysis also show that the probability value (CP) = 5%, and (LS) = 2.5% obtained by repeated earthquakes always require an RSA (T1) value that is greater than a single earthquake to reach conditions close to while the 10% probability value requires an RSA (T1) value that is greater than repeated earthquakes to achieve a collapse condition.

Key words: Incremental Dynamic Analysis, Probability of collapse, steel.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Evaluasi Keruntuhan Struktur SRPM Baja Dengan Bracing Konsentrik Akibat Getaran Gempa Berulang Dan Pengaruh Rangka Beban Gravitasi” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

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, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Bambang Hadibroto, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain. Sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Dosen Pembimbing 1
4. Ibu Hj Irma Dewi, S..T, M.Si. sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Dosen Pembimbing 2
5. Teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Waris dan Ibunda tercinta Widia Wati yang telah berjuang membesarkan dan memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai kepada penulis.
6. Seluruh civitas akademika Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis.

7. Teman dan rekan seperjuangan Abangda Afiful Ansari, Teuku Gilang, M. Rahmatullah Amin, Misbatullah, Indri Dwi, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 11 November 2020

Penulis

Rian Agustian

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR | iv |
| ABSTRAK | v |
| <i>ABSTRACT</i> | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN | xv |
| BAB 1 PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 4 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.4 Ruang Lingkup | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 5 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 5 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Umum | 7 |
| 2.2 Pengertian Gempa | 7 |
| 2.3 Wilayah Gempa | 8 |
| 2.4 Karakteristik Teknik Gerakan Tanah (<i>Groundmotion</i>) | 9 |
| 2.4.1 Gempa Dekat | 9 |
| 2.4.2 Gempa Jauh (<i>Far-Field</i>) | 10 |
| 2.4.3 Gempa Pulse | 11 |
| 2.5 Analisis Respon Spektrum (<i>Response Spectrum</i>) | 12 |
| 2.6 Bresing Konsentrik | 12 |
| 2.7 Material Baja | 13 |
| 2.8 Sistem Rangka Pemikul Momen | 14 |

| | |
|---|----|
| 2.9 Kekakuan Struktur | 14 |
| 2.10 Periode Alami Struktur | 15 |
| 2.11 Karakteristik Bangunan Tahan Gempa | 15 |
| 2.11.1 Perencanaan Berbasis Kinerja | 15 |
| 2.11.2 <i>Fragility Curves</i> | 16 |
| 2.11.3 Analisis <i>Pushover</i> | 18 |
| 2.12 <i>Incremental Dynamic Analysis</i> | 19 |
| 2.13 Program Ruaumoko | 20 |
| BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN | |
| 3.1. Umum | 21 |
| 3.2. Pemodelan Struktur 2 Dimensi | 22 |
| 3.2.1. Data Perencanaan Struktur | 22 |
| 3.2.2. Konfigurasi Bangunan | 22 |
| 3.2.3 Dimensi Profil Baja Yang Digunakan | 24 |
| 3.3. Analisis Struktur | 24 |
| 3.3.1. Analisis Dinamik Struktur Linier | 24 |
| 3.3.2 Pembebanan | 24 |
| 3.4 Respon Spektrum Desain Gempa | 25 |
| 3.4.1 Desain Respon Spektrum Padang Pariaman (Tanah keras) | 25 |
| 3.4.2 Kombinasi Pembebanan | 26 |
| 3.4.3 Analisis Respon Spektrum Ragam | 27 |
| 3.4.4 <i>Groundmotion Records</i> (Data Rekaman Gempa) | 27 |
| 3.4.5 Analisis Respon Riwayat Waktu | 29 |
| 3.5 Analisis Dinamik Struktur Nonlinear | 32 |
| 3.5.1 Analisis Respon Riwayat Waktu | 32 |
| 3.5.2 Momen Leleh | 33 |
| 3.5.3 Kapasitas Rotasi | 33 |
| 3.5.4 Rotasi Leleh (θ_y) | 33 |
| 3.5.5 Kurva Kerapuhan | 33 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1. Hasil Model Linier dan Non Linier | 34 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.2. | Hasil Analisa Linier | 34 |
| 4.2.1. | Respon Spektrum Ragam | 34 |
| 4.2.2. | Koreksi Gempa Dasar Nominal | 35 |
| 4.2.3. | Koreksi Faktor Redudansi | 35 |
| 4.2.4. | Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat | 35 |
| 4.2.5. | Nilai Simpangan Gedung | 36 |
| 4.2.6. | Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak | 36 |
| 4.2.7. | Pengaruh Efek P-Delta | 36 |
| 4.3. | Hasil Analisa Non Linier | 37 |
| 4.3.1 | <i>Incremental Dynamic Analysis (IDA)</i> | 37 |
| 4.3.2 | <i>Interstory Drift</i> | 37 |
| 4.4 | Pengaruh Gempa Tunggal dan Berulang | 38 |
| 4.5 | <i>Analisis Probability of collapse</i> | 39 |
| 4.6 | Perbandingan Kurva <i>Fragility</i> | 41 |
| 4.7 | Kondisi Keruntuhan Struktur | 42 |
| 4.8 | Median Kurva Kerapuhan | 43 |
| BAB 5 | KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 5.1 | Kesimpulan | 45 |
| 5.2 | Saran | 45 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1.1 Struktur Rangka Bresing Konsentrik | 3 |
| Gambar 2.1 Wilayah gempa menurut SNI 03-1726-2002 | 8 |
| Gambar 2.2 Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) | 10 |
| Gambar 2.3 Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) | 11 |
| Gambar 2.4 Contoh smoothed response spectrum dari beberapa gempa | 12 |
| Gambar 2.5 Sistem bresing X 2 lantai | 13 |
| Gambar 2.6 Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja | 16 |
| Gambar 2.7 Perbandingan kurva kerapuhan Baker | 17 |
| Gambar 2.8 Kurva Pushover | 18 |
| Gambar 2.9 Contoh kurva IDA | 19 |
| Gambar 3.1 Bagan alir | 21 |
| Gambar 3.2 Denah Struktur | 23 |
| Gambar 3.3 Gambar proyeksi stuktur lantai 9 | 23 |
| Gambar 3.4 Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Padang Pariaman dengan jenis tanah lunak. | 25 |
| Gambar 3.5 Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (<i>main-shock</i>) sebelum diubah menjadi respon spektrum | 30 |
| Gambar 3.6 Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (<i>main-shock</i>) setelah diubah menjadi respon spektrum | 30 |
| Gambar 3.7 Respon spektrum dengan 10 daerah gempa setelah diskalakan terhadap respon spektrum diindonesia (Padang Pariaman). | 30 |
| Gambar 3.8 Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (<i>main-shock</i>) setelah diskalakan (gambar bawah) ini termasuk gempa tunggal | 31 |
| Gambar 3.9 Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (<i>Main-shock</i>) dan Kalamata Greece-02 (<i>after-shock</i>) setelah digabungkan (<i>Repeated</i>), ini termasuk gempa berulang. | 31 |
| Gambar 4.1 Grafik IDA perbandingan gempa tunggal dan gempa berulang terhadap model struktur 9 lantai dengan faktor R=6 | 39 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.2 Grafik kurva kerapuhan 10% (<i>Collapse</i>) gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 9 lantai dengan faktor R=6 | 40 |
| Gambar 4.3 Grafik kurva kerapuhan 5% (<i>collapse prevention</i>) gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 9 lantai dengan faktor R=6 | 40 |
| Gambar 4.4 Grafik kurva kerapuhan 2,5% (<i>life safety</i>) gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 9 lantai dengan faktor R=6 | 41 |
| Gambar 4.5 Grafik kurva kerapuhan dengan <i>collapse</i> (C), <i>collapse prevention</i> (CP), dan <i>life safety</i> (LS) pada gempa tunggal dan terhadap struktur 9 lantai dengan faktor R=6 | 42 |
| Gambar 4.6 Grafik kurva kerapuhan dengan <i>collapse</i> (C), <i>collapse prevention</i> (CP), dan <i>life safety</i> (LS) pada gempa berulang dan terhadap struktur 9 lantai dengan faktor R=6 | 42 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabel 2.1 | Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing wilayah gempa Indonesia | 8 |
| Tabel 3.1 | Komponen Struktural Bangunan | 24 |
| Tabel 3.2 | Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan Nilai $\rho = 1.4$, $S_{DS} = 1,116$ | 26 |
| Tabel 3.3 | Rekaman getaran gempa dari PEER NGA & COSMOS | 28 |
| Tabel 4.1 | Nilai gaya geser dasar nominal Analisa ekuivalen (V_1) dan nilai Gaya geser dasar nominal Analisa respon spektrum <i>output</i> program Analisa struktur V_t | 35 |
| Tabel 4.2 | Nilai gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum sumbu X | 36 |
| Tabel 4.3 | Nilai perbandingan <i>interstory drift</i> untuk pemodelan 9 lantai faktor $R=6$ dengan acuan gempa tunggal dan gempa berulang yang mengandung <i>pulse</i> dan <i>nopulse</i> . | 38 |
| Tabel 4.4 | Nilai persentasi <i>interstory drift</i> untuk pemodelan 9 lantai faktor $R=6$ dengan acuan gempa tunggal dan gempa berulang yang mengandung <i>pulse</i> dan <i>nopulse</i> . | 38 |
| Tabel 4.5 | Nilai RSA(T1) untuk kondisi keruntuhan pada gempa tunggal dan gempa berulang. | 43 |
| Tabel 4.6 | Nilai RSA(T1) untuk nilai median <i>Probability of collapse</i> (50%) pada struktur 4 lantai. | 43 |

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

| | |
|----------|--|
| 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 |
| MCE_R | = <i>Maximum Considered Earthquake Ratio</i> |
| 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 redundansi |
| PGA | = <i>Peak Ground Acceleration</i> |
| DBE | = <i>Desain Basis Earthquake</i> |
| MCE | = <i>Maximum Considered Earthquake</i> |
| DL | = <i>Dead load</i> |
| LL | = <i>Live load</i> |
| EX | = <i>Earthquake-X</i> |
| EY | = <i>Earthquake-Y</i> |
| CQC | = <i>Complete Quadratic Combination</i> |
| SRSS | = <i>Square Root of the Sum of Square</i> |
| MRF | = <i>Moment Resisting Frames</i> |
| SRBK | = <i>Sistem Rangka Bering Eksentrik</i> |

| | |
|----------------|---|
| CQC | = <i>Complete Quadratic Combination</i> |
| SRSS | = <i>Square Root Of The Sum Of Square</i> |
| V _t | = Gaya geser dasar kombinasi ragam |
| V ₁ | = Gaya geser dasar nominal <i>statik ekivalen</i> |
| IDR | = <i>Inter Story Drift</i> |
| C | = <i>Collapse</i> |
| C _p | = <i>Collapse Prevention</i> |
| RSA | = <i>Respon Spectrum Analisis</i> |
| LS | = <i>Life Safety</i> |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang cukup rawan akan terjadinya gempa bumi, itu dikarenakan Indonesia dilalui oleh jalur pertemuan 3 lempeng tektonik, yaitu: lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Indonesia memiliki beberapa sejarah tentang gempa, gempa terbesar yang pernah terjadi di Indonesia merupakan gempa di Aceh dengan kekuatan 9,1-9,3 SR yang disertai dengan Tsunami. Beban gempa adalah salah satu beban yang harus diperhitungkan jika kita mendesain suatu bangunan di daerah yang rawan gempa. Tidak seperti beban lainnya dimana besarnya tidak dipengaruhi oleh struktur bangunan yang terkena gempa, besarnya beban gempa sangat dipengaruhi oleh struktur bangunannya. Ini terjadi karena beban gempa bekerja melalui lapisan tanah yang bergerak siklis baik dalam arah horizontal maupun arah vertikal. Gerakan siklis ini akan menyebabkan bagian bawah suatu bangunan untuk ikut bergerak mengikuti gerakan lapisan tanah dimana bangunan tersebut berdiri.

Kejadian sebuah gempa umumnya dikaitkan kepada gempa utama yang dimilikinya. Sedangkan pada proses perencanaan, bangunan hanya dirancang untuk dapat menahan sebuah gempa tunggal yang berasal dari gempa utama terkuat yang pernah terjadi sebelumnya. Pada kenyataannya struktur bangunan, yang telah rusak sebagian (tetapi bangunan tetap berdiri dan bisa dihuni) akibat sebuah gempa utama, dapat mengalami guncangan gempa susulan yang lebih kecil kekuatannya dari pada gempa utama, atau mengalami guncangan gempa utama lain di kemudian hari (gempa berulang). (Tondi Amirsyah Putra, dkk, 2018).

Studi-studi yang terkait dengan gempa berulang menunjukkan bahwa struktur bangunan dapat mengalami kerusakan yang lebih parah bila mengalami gempa berulang akibat akumulasi kerusakan (Elnashai dkk., 1998; Amadio dkk., 2003) hal serupa juga diutarakan oleh Hatzigeorgiou and Liolios (2010). dimana berbagai jenis bangunan bertingkat yang dimodelkan mengalami gempa berulang

akan mengalami kerusakan yang lebih banyak dibandingkan bila mengalami gempa tunggal.

Konfigurasi Struktur Bangunan Baja Tahan Gempa yang dikenal dalam SNI 1729-2002 dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen (Moment Resisting Frames)

Sistem Rangka Pemikul Momen mempunyai kemampuan menyerap energi yang baik, tetapi memerlukan terjadinya simpangan antar lantai yang cukup besar supaya timbul sendi-sendi plastis pada balok yang akan berfungsi untuk menyerap energi gempa. Simpangan yang terjadi begitu besar akan menyebabkan struktur tidak kaku sehingga mengakibatkan kerusakan non-struktural yang besar disamping akan menambah pengaruh efek $P-\Delta$ terutama pada bangunan tinggi.

2. Sistem Rangka Bresing Konsentrik (Concentrically Braced Frames)

Sistem Rangka Bresing Konsentrik merupakan pengembangan dari sistem portal tak berpengaku atau lebih dikenal dengan Moment Resisting Frames (MRF). Sistem Rangka Bresing Konsentrik dikembangkan sebagai sistem penahan gaya lateral dan memiliki tingkat kekakuan yang cukup baik. Hal ini bertolak belakang dengan sistem MRF yang hanya bisa digunakan sebagai penahan momen. Kekakuan sistem ini terjadi akibat adanya elemen pengaku yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral yang terjadi pada struktur. Sistem ini penyerapan energinya dilakukan melalui pelelehan yang dirancang terjadi pada pelat buhul. Sistem ini daktilitasnya kurang begitu baik sehingga kegagalannya ditentukan oleh tekuk bresing.

3. Sistem Rangka Bresing Eksentrik (Eccentrically Braced Frames)

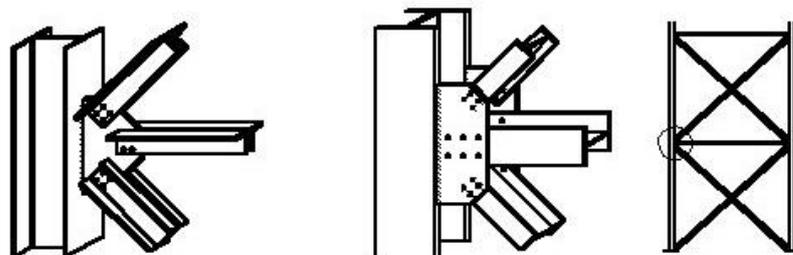
Pada Sistem Rangka Bresing Eksentrik ada suatu bagian dari balok yang disebut Link dan direncanakan secara khusus. SRBE diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis yang cukup besar pada Link saat memikul gaya-gaya akibat beban gempa rencana karena element link tersebut berfungsi sebagai pendisipasi energi ketika struktur menerima beban gempa. Pendisipasian energi ini diwujudkan dalam bentuk plastifikasi pada elemen link tersebut. Hal tersebut yang menyebabkan Sistem SRBE mempunyai nilai daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan SRBK yang lebih

mengutamakan pada kekuatan strukturnya. Kolom-kolom, batang bresing, dan bagian dari balok di luar Link harus direncanakan untuk tetap dalam keadaan elastis akibat gaya-gaya yang dihasilkan oleh Link pada saat mengalami pelelehan penuh hingga tahap perkerasan regangan.

Di Indonesia ada tiga macam struktur yang digunakan, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa atau yang biasa disingkat dengan SRPMB, yaitu metode yang digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang masuk pada zona 1 dan 2 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan rendah.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah atau yang biasa disingkat SRPMM, yaitu metode yang digunakan pada perhitungan struktur gedung yang masuk pada zona 3 dan 4 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan sedang.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus atau yang biasa disingkat SRPMKK, yaitu metode yang digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang masuk pada zona 5 dan 6 wilayah dengan tingkat kegempaan tinggi.

Struktur rangka baja berpengaku konsentrik merupakan sistem struktur rangka baja pemikul beban gempa yang banyak digunakan di Indonesia. Pada sistem ini, balok, kolom dan bresing tersusun membentuk suatu truss, sehingga gaya lateral yang terjadi disalurkan sesuai dengan karakter struktur truss. Kelebihan bresing konsentrik yaitu kekakuan elastis yang tinggi, dan proses pemeliharaan yang relatif mudah. Respon inelastis bresing konsentrik saat terjadi gempa besar melalui pelelehan pada bresing yang mengalami gaya aksial tarik dan tekuk pada bresing yang mengalami gaya aksial tekan.



Gambar 1.1: Struktur Rangka Bresing Konsentrik

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh sistem rangka penahan beban gravitasi terhadap perilaku keruntuhan struktur SRPM baja?
2. Bagaimana pengaruh gempa berulang terhadap kinerja struktur pada SRPM baja?

1.3 Tujuan Penulisan

1. Untuk mengetahui pengaruh sistem rangka penahan beban gravitasi terhadap perilaku keruntuhan struktur SRPM baja.
2. Untuk mengetahui pengaruh gempa berulang terhadap kinerja struktur pada SRPM baja.

1.4 Ruang Lingkup

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

1. Struktur bangunan yang direncanakan merupakan:
 - a. Struktur baja pemikul momen (SRPM) 2 dimensi pada 9 lantai yang difungsikan sebagai perkantoran yang terdapat di daerah Padang Pariaman dengan jenis tanah lunak.
 - b. Struktur dengan dimensi kolom dan balok yang hanya dianalisa pada batas aman saja, tidak dianalisa sampai ekonomis.
2. Perencanaan struktur baja, pembebanan serta gedung direncanakan berdasarkan:
 - a. Tata cara perencanaan struktur baja menggunakan Persyaratan Baja Struktural untuk bangunan Gedung SNI 1729:2015.
 - b. Beban gravitasi menggunakan SNI 1727:2013 dan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987.
 - c. Beban gempa dan gedung direncanakan menggunakan Standar Perencanaan Tahan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726:2012.

3. Analisis menggunakan alat bantu berupa program :
 - a. Program Analisa Struktur, untuk menganalisa tahap desain (Analisa Pushover & Respon Spektrum Linear).
 - b. PEER NGA, COSMOS untuk mendapatkan rekaman gempa.
 - c. SEISMOSIGNAL, untuk mengubah groundmotion menjadi Respon Spektrum.
 - d. Aplikasi Komputasi numerikal, untuk menskalakan groundmotion.
 - e. Aplikasi analisa riwayat waktu nonlinier, untuk menganalisa tahap evaluasi (Analisa Riwayat Waktu Nonlinear) yang hanya ditinjau secara 2 dimensi.
4. Parameter yang ditinjau:
 - a. Linear adalah semua aspek yang harus di kontrol sesuai dengan SNI 1726:2012
 - b. Nonlinear : Simpangan antar tingkat (Kurva IDA)

1.5 Manfaat Penulisan

Dari hasil perencanaan pada pemodelan Struktur Baja dengan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) maka diharapkan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat untuk mengetahui bagaimana cara merencanakan struktur gedung baja dengan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dengan bresing konsentrik bila mengalami gempa berulang.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan pada Tugas Akhir ini sebagaiberikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan menguraikan penjelasan mengenai mekanisme gempa, konsep perencanaan struktur bangunan baja, analisa struktur baja sistem rangka pemikul momen (SRPM), dan konsep tentang kekuatan bangunan baja terhadap gempa yang terjadi.

BAB III PEMODELAN STRUKTUR

Bab ini akan menampilkan bagaimana metodologi penelitian yang digunakan dari awal sampai akhir penelitian dan penjelasan mengenai cara memodelkan dan mendesain struktur bangunan baja dengan sistem rangka pemikul momen (SRPM) terhadap gempa yang terjadi dengan menggunakan Program Analisa Struktur dan RUAOMOKO2D versi 04.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

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

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Melanjutkan dari permasalahan yang ada pada BAB I, maka dalam BAB II ini akan dibahas mengenai teori-teori dasar dan syarat-syarat/ketentuan yang berhubungan dalam perencanaan struktur bangunan yang akan dianalisa, seperti struktur baja, teori gempa, dan teori-teori terkait lainnya yang berhubungan dengan perhitungan atau analisa data yang diperlukan dalam Tugas Akhir ini.

2.2 Pengertian Gempa

Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. pengertian tersebut mengapa permukaan tanah menjadi bergetar, yaitu akibat energy gempa yang merambat dari pusat gempa kesegala arah. sebagai mana di ketahui bahwa sesuatu kekuatan akan terkandung dalam suatu energi, artinya energy gempa akan menghasilkan sesuatu kekuatan dalam hal ini adalah getaran tanah (Tavio, 2014).

Berdasarkan waktunya gempa bumi dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu:

1. Gempa bumi utama (*Main Shock*)

Gempa bumi utaman yaitu gempa bui yang terjadi pada guncangan awal akibat deformasi yang di akbiatkan oleh adanya interaksi antara lempeng.

2. Gempa bumi susulan (*After Shock*)

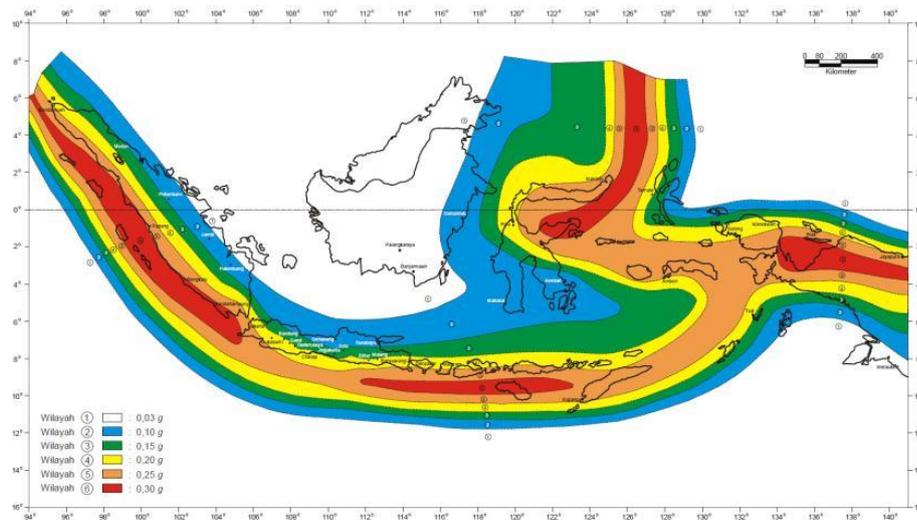
Gempa bumi susulan merupakan gempa bumi yang terjadi setelah datangnya gempa bumi yang terjadi setelah gempa bumi utama. susulan berarti yang kedua, ketiga, dan seterusnya

3. Gempa bumi *swarm*

Gempa bumi ini terjadi di zona labil seperti buatan kapur dengan magnitudo

2.3 Wilayah Gempa

Berdasarkan SNI 03-1726-2002, Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 wilayah gempa seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1, di mana wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 dengan kegempaan paling tinggi. Pembagian wilayah gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan perioda ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk setiap wilayah gempa ditetapkan dalam Gambar 2.1 dan Tabel 2.1.



Gambar 2.1: Wilayah gempa menurut SNI 03-1726-2002

Tabel 2.1: Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia.

| Wilayah Gempa | Percepatan puncak batuan dasar ('g') | Percepatan puncak muka tanah Ao ('g') | | | |
|---------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------|-------------|---|
| | | Tanah Keras | Tanah Sedang | Tanah Lunak | Tanah Khusus |
| 1 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,08 | Diperlukan evakuasi khusus di setiap lokasi |
| 2 | 0,10 | 0,12 | 0,15 | 0,20 | |
| 3 | 0,15 | 0,18 | 0,23 | 0,30 | |
| 4 | 0,20 | 0,24 | 0,28 | 0,34 | |
| 5 | 0,25 | 0,28 | 0,32 | 0,36 | |
| 6 | 0,30 | 0,33 | 0,36 | 0,38 | |

2.4 Karakteristik Teknik Gerakan Tanah (*Ground Motion*)

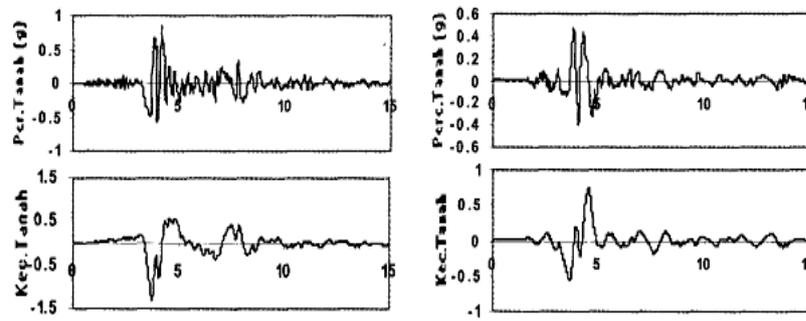
Pada umumnya, pengertian gerakan tanah akibat gempa lebih banyak ditinjau pada percepatan tanah, sekaligus menjadi parameter utama. Gerakan tanah dengan seperti itu dimaksudkan sebagai terjemahan dari *ground motion* yaitu suatu istilah yang populer dalam teknik gempa. Selain percepatan tanah (*ground acceleration*), maka kecepatan gerakan (*ground velocity*) dan simpangan tanah (*ground displacement*) sangat umum di pakai sebagai sebutan tentang *ground motion*.

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

2.4.1 Gempa Dekat

Pawirodikromo (2012) mengatakan bahwa percepatan tanah gempa dekat umumnya mempunyai 1-2 kali siklus getaran kuat (*strong-vibration cycles/pulse*). Siklus getaran kuat tersebut disebabkan oleh adanya kecepatan rambat patah V_r (*fault rupture velocity*) yang relatif dekat dengan kecepatan gelombang geser V_s . Berapa batasan jarak gempa dekat tersebut tidaklah dapat ditentukan secara pasti. Namun, beberapa peneliti mengindikasikan hanya beberapa sampai belasan kilometer saja.

Kalkan, dkk(2004) memberikan batasan bahwa rekaman gempa *near-fault* adalah gempa yang direkam ≤ 15 km dari patahan (*fault rupture*). Contoh rekaman gempa dekat dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.2: Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).

Gambar 2.2 menunjukkan data rekaman gempa yang terjadi di Northridge pada tahun 1994 dan Parkfield pada tahun 1997. Pada gambar tersebut tampak jelas bahwa terdapat 2 kali *acceleration strong pulse* yang sangat berbeda dengan sebelum dan sesudahnya. Secara umum gempa dekat ini ditandai dengan munculnya kandungan *pulse* yang kuat pada rekaman gempunya.

2.4.2 Gempa Jauh (*Far-field*)

Rekaman gempa pada *far-field* pada prinsipnya berbeda dengan gempa *near-field* dikarenakan energi gempa yang merambat pada jarak yang jauh maka terdapat waktu yang cukup bagi media tanah untuk menyerap sebagian energi gempa. Semakin jauh gelombang merambat maka semakin besar energi gelombang gempa yang diserap oleh media tanah. Perubahan respon tanah (percepatan, kecepatan dan perpindahan) setelah gelombang gempa merambat pada jarak atau durasi tertentu disebut atenuasi.

Pada umumnya gempa jauh (*far-field*) memiliki percepatan yang lebih kecil, frekuensi yang lebih rendah, impulsif, fluktuatif, respons tanah/batuan dan redaman yang kecil. Karena *ground motion acceleration history*, A mempunyai frekuensi getaran yang lebih tinggi daripada *velocity* maka *ground acceleration* beratenuasi lebih cepat daripada *ground velocity*, V . Dengan kondisi seperti ini maka gempa jarak jauh mempunyai A/V rasio yang lebih rendah daripada gempa jarak-jarak dekat.

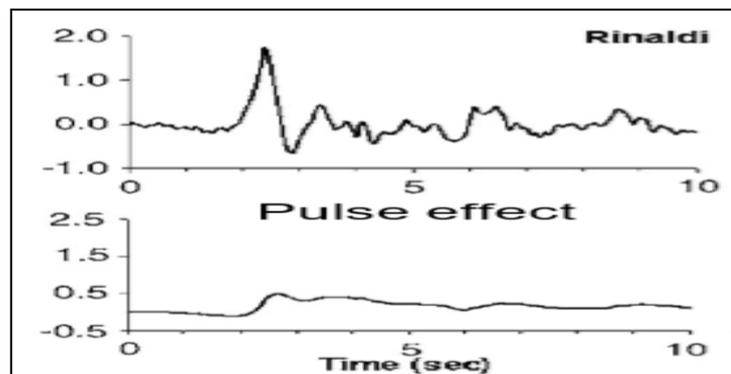
Menurut Song et al. (2016) kegiatan kegempaan tidak jarang terjadi gempa susulan, pada umumnya intensitas gempa susulan tidak sebesar gempa awal namun dapat merusak struktural yang tampak tidak rusak akibat guncangan pertama. Gempa susulan (after shock) memiliki kemungkinan percepatan tanah puncak (Peak Ground Acceleration) yang lebih tinggi, durasi yang lebih lama dan pelepasan energi yang berbeda dengan gempa awal (main shock).

Kapasitas struktur untuk tetap kokoh ketika menghadapi gempa susulan ialah bergantung pada kekuatan residual dan kapasitas perpindahan (Di Trapani, 2018). Metode Incremental Dynamic Analysis (IDA) telah banyak digunakan sebagai referensi untuk penilaian probabilistic kinerja seismik pada struktur bangunan.

Jarak waktu gempa susulan (aftershock) dengan gempa utama (mainshock) tidak dapat diprediksi datangnya, interval waktu antara mainshock dengan aftershock dapat dalam hitungan jam bahkan tahun. Gempa berulang tidak hanya berakibat dari aktivitas patahan saja namun juga dapat berasal dari penggabungan antara gempa dekat (near fault) dan gempa jauh (far field) (Faisal, 2013).

2.4.3 Gempa *Pulse*

Getaran gempa dekat yang mengandung efek *pulse* dapat menyebabkan bangunan yang tidak direncanakan secara baik akan mengalami kerusakan. Bangunan yang tidak simetris sebidang termasuk yang memiliki resiko rusak bila mengalami gempa dekat.

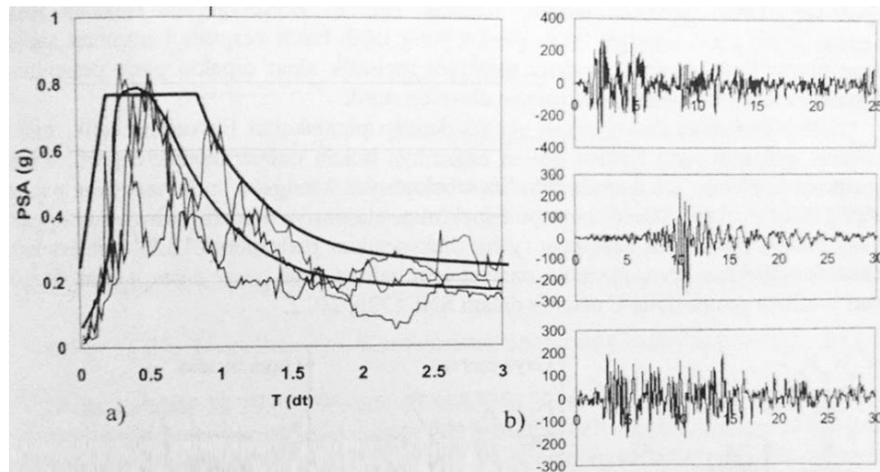


Gambar 2.3: Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).

Gambar 2.3 menunjukkan data rekaman gempa yang mengandung *pulse*, pada gambar bagian atas merupakan waktu dengan kecepatan, dapat dilihat bahwa pada waktu ± 2.5 detik terjadi kenaikan yang drastis pada kecepatan rekaman gempa dan pada gambar bagian bawah merupakan waktu dengan perpindahan, dimana pada saat kenaikan kecepatan pada waktu ± 2.5 detik, seketika terjadi juga kenaikan nilai pada perpindahan .

2.5 Analisis Respon Spektrum (*Response Spectrum*)

Respon spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk kurva antara periode struktur T , dengan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Analisis dinamik respon spektrum memberikan pembagian gaya geser tingkat yang lebih teliti disepanjang tinggi gedung dibandingkan dengan analisis statik ekuivalen.



Gambar 2.4: Contoh smoothed response spectrum dari beberapa gempa

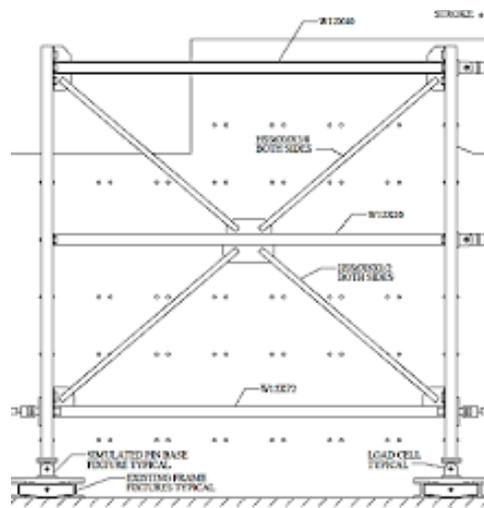
2.6 B्रेसing Konsentrik

Sistem Rangka B्रेसing Konsentrik merupakan pengembangan dari sistem portal tidak berpengaku atau lebih dikenal dengan Moment Resisting Frames (MRF) sebagai sistem penahan gaya lateral dan memiliki tingkat kekakuan yang cukup baik.

Mekanisme keruntuhan direncanakan terjadi pada elemen bressing dan pelat buhul sambungan bressing ke balok dan kolom. Pada saat terjadi gempa besar,

diharapkan terjadi tekuk pada batang bresing (akibat beban aksial yang diterimanya) sehingga terjadi putaran sudut pada ujung bresing yang kemudian menyebabkan pelat buhul pada sambungan ujung bresing leleh (terjadi sendi plastis).

Menurut SNI 02-1729-2002, Jika batang elemen bresing mempunyai profil yang langsing maka akan mengurangi kekakuan bresing. Sehingga diupayakan agar elemen yang digunakan tidak menggunakan profil langsing. Berdasarkan jenis elemen bresing yang mengalami gaya aksial, maka elemen bresing harus dicek terhadap tekuk.



Gambar 2.5: Sistem bresing X 2 lantai (Bradley C, Sizemore J, Nelson J. 2014)

2.7 Material Baja

Menurut Thamrin Nasution, besi dan baja mempunyai kandungan unsur utama yang sama yaitu Fe, hanya kadar karbonlah yang membedakan besi dan baja, penggunaan besi dan baja dewasa ini sangat luas mulai dari perlatan seperti jarum, peniti sampai dengan alat – alat dan mesin berat.

Berikut ini disajikan klasifikasi baja menurut komposisi kimianya:

1. Baja karbon (carbon steel) sifatnya mudah ditempa dan mudah di mesin
2. Baja Paduan Rendah Kekuatan Tinggi (High Strength Low Alloy steel).
3. Baja Paduan.

Keunggulan konstruksi baja antara lain adalah:

- a. Mempunyai kekuatan yang tinggi.

- b. Keseragaman dan keawetan yang tinggi, sifat elastis, daktilitas baja cukup tinggi pemakaian baja sebagai material konstruksi adalah kemudahan penyambungan antarelemen yang satu dan yang lainnya menggunakan alat sambung las atau baut.

2.8 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen merupakan salah satu sistem struktur yang dirancang untuk menahan beban gempa rencana. Pada struktur baja sistem rangka pemikul momen terbagi atas 3 tipe, yaitu :

1. Sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB)
2. Sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM)
3. Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK)

Perbedaan dari ketiga sistem struktur diatas yaitu kemampuannya dalam mengalami deformasi inelastis dan tingkat daktilitas. Menurut SNI 03-1729-2002 pada SRPMK dan SRPMM dari hasil pengujian kualifikasi menunjukkan rotasi inelastis sekurang-kurangnya 0,3 dan 0,2 radian pada semua sambungan balok ke kolom yang di desain untuk memikul beban gempa, sedangkan pada SRPMB diharapkan mengalami rotasi inelastis sekurang-kurangnya 0,1 radian. Pada SRPMK tingkat daktilitasnya adalah daktail penuh, sedangkan pada SRPMM dan SPRMB tingkat daktilitasnya adalah daktail parsial.

2.9 Kekakuan Struktur

Kekakuan (stiffness) adalah ukuran tegangan yang dibutuhkan untuk mengubah satuan bentuk suatu bahan. Besaran kekakuan suatu bahan adalah modulus elastisitasnya, yang didapat dengan membagi tegangan satuan yang diterima bahan dengan perubahan satuan bentuk bahan tersebut. Sedangkan kekakuan struktur adalah gaya yang diperlukan struktur bila mengalami deformasi sebesar satu satuan. nilai kekakuan struktur ini tergantung dari material yang digunakan, dimensi elemen struktur, penulangan, modulus elastisitas, modulus elastisitas geser dan momen inersia polar. Selain itu, kekakuan struktur juga

terkait dengan nilai dari periode struktur tersebut (Bambang Budiono dan Lucky Supriatna, 2011).

2.10 Periode Alami Struktur

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 dimana frekuensi alami pada struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur (Bambang Budiono dan Lucky Supriatna, 2011).

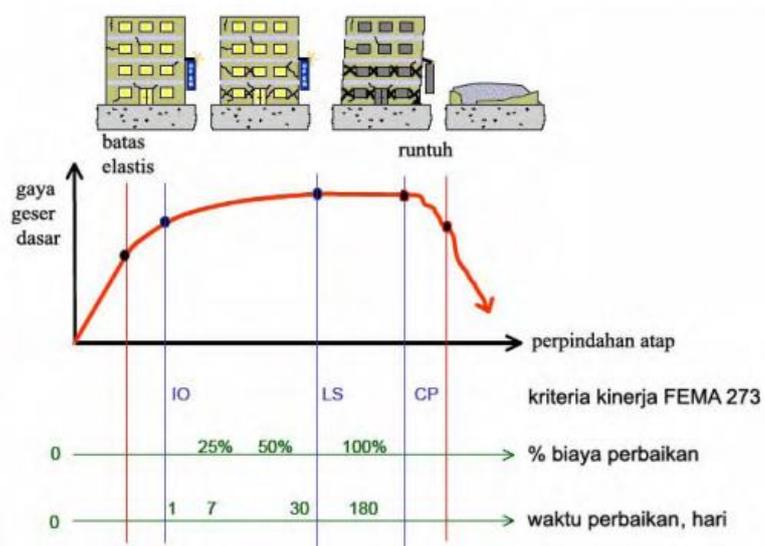
2.11 Karakteristik Bangunan Tahan Gempa

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 baja.
2. Disipasi energi melalui klasifikasi komponen struktur tertentu, tanpa menyebabkan keruntuhan struktural yang terpenuhi dengan perencanaan *Capacity Design*.

2.11.1 Perencanaan Berbasis Kinerja

Peraturan perencanaan bangunan (*building codes*) digunakan sebagai acuan prosedur desain bangunan tahan gempa. Dengan mengacu pada *building codes* maka keselamatan penghuni dapat terjamin, kerusakan dapat dikurangi pada saat gempa besar. Namun, dengan prosedur tidak dapat menunjukkan kinerja bangunan secara langsung. Runtuhnya material bangunan yang rusak sangat mungkin terjadi.



Gambar 1. Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (ATC 58)

Gambar 2.6: Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Dewobroto, 2016).

Gambar 2.6 menunjukkan kurva rekayasa gempa berbasis kinerja yang di hasilkan dari analisis pushover dan di gambarkan secara kualitatif kerusakan tiap kinerja yang telah di kasi gaya geser dan terjadi perpindahan yang sangat signifikan. Dengan kurva hubungan gaya perpindahan makin terlihat secara kualitatif level kinerjanya secara menyeluruh.

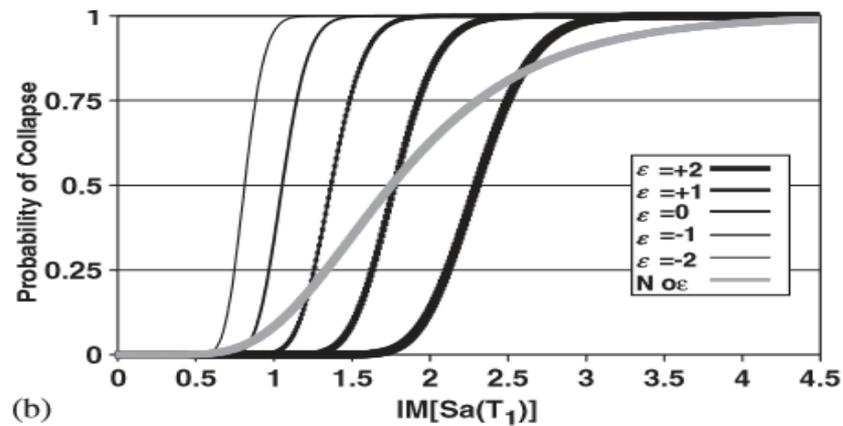
2.11.2 Fragility Curves

Fragility Curves atau kurva kerentanan adalah analisis kerapuhan menggunakan analisis struktural dinamis. Analisis struktural dinamis adalah proses analisis dalam sejumlah prosedur penilaian seismik. penerapan konsep inferensi statistik untuk estimasi fungsi kerapuhan, menjelaskan pendekatan pemasangan yang tepat untuk digunakan dengan berbagai struktur Baker, (2015).

Dalam menganalisis dan menyesuaikan fungsi kerapuhan sambil meminimalkan diperlukan sejumlah analisis struktural. banyak hal dalam analisis garis menghasilkan estimasi kerapuhan yang lebih efisien daripada inkremental analisis dinamis untuk sejumlah analisis struktural tertentu, asalkan beberapa pengetahuan tentang kapasitas bangunan tersedia sebelum analisis dilakukan

bahwa bagian-bagian yang relevan dari kurva kerapuhan dapat kira-kira diidentifikasi.

Temuan ini memiliki manfaat lain, mengingat pendekatan analisis berganda memungkinkan gerakan tanah yang berbeda digunakan untuk analisis pada intensitas yang berbeda-beda ketinggian, untuk mewakili perbedaan karakteristik intensitas rendah dan intensitas tinggi beragam. Pendekatan penilaian yang diusulkan juga menyediakan kerangka kerja untuk mengevaluasi prosedur analisis alternatif yang mungkin muncul di masa depan.



Gambar 2.7: Perbandingan kurva kerapuhan Baker, (2015)

Fungsi kerapuhan secara umum diturunkan menggunakan berbagai pendekatan, seperti pengamatan lapangan terhadap kerusakan, analisis struktural statis, atau penilaian, tetapi dalam hal ini fokusnya adalah pada apa yang disebut fungsi kerapuhan analitis yang dikembangkan dari analisis struktural dinamis. Tidak seperti beberapa metode lain. Dalam hal fungsi kerapuhan analitis, analisis memiliki kendali atas data yang dikumpulkan, dengan cara memilih nilai intensitas tingkat pada setiap tingkat. Fungsi distribusi kumulatif lognormal sering digunakan untuk mendefinisikan fungsi kerapuhan:

$$P(C|IM = x) = \Phi\left(\frac{\ln(x/\theta)}{\beta}\right) \quad (2.1)$$

Dimana:

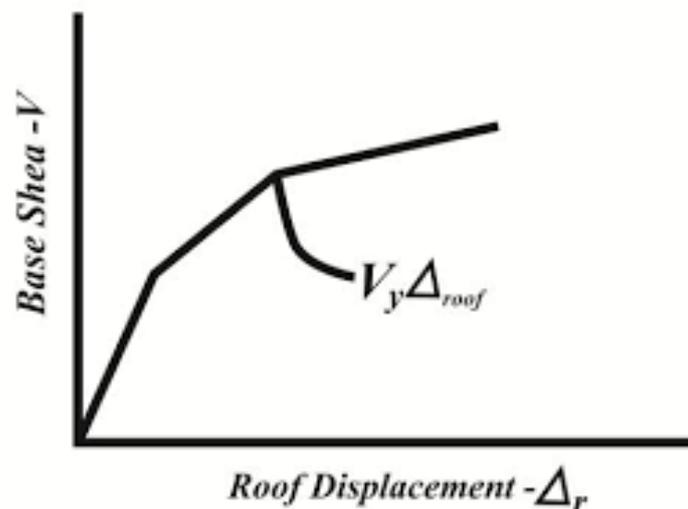
$P(C|IM = x)$ adalah kemungkinan getaran tanah dengan IM-x akan menyebabkan kehancuran struktur Φ adalah fungsi standar distribusi kumulatif, θ

adalah median dari fungsi kerentanan (nilai intensitas memiliki tingkatan 50% dari kemungkinan keruntuhan), dan β adalah nilai standart deviasi.

2.11.3 Analisis *Pushover*

Analisa statik nonlinier (*Static Pushover Analysis*) merupakan analisis perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa *pushover* atau analisa beban dorong statik (Dewobroto, 2005: 3). dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan elastoplastis yang besar sampai mencapai kondisi di ambang keruntuhan

Analisis *Pushover* menghasilkan kurva *Pushover*, kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) dengan perpindahan titik acuan pada atap (D) terlihat pada Gambar 2.8.



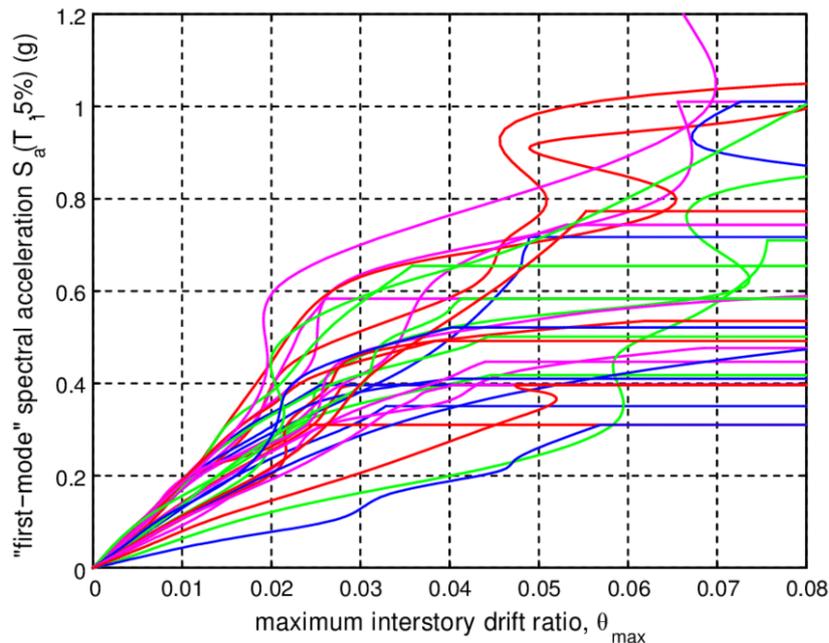
Gambar 2.8: Kurva Pushover (Hizkiah dkk, 2014).

Kurva pushover dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai gaya dorong. Prosedur analisis *pushover*, struktur didorong sampai leleh

dan berperilaku non linear- atau plastis. Kurva kapasitas akan memperlihatkan kondisi elastis sampai kondisi plastis. Tujuan analisis *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat didefinisikan bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Analisis pushover dapat digunakan sebagai alat bantu perencanaan tahan gempa, asalkan menyesuaikan dengan keterbatasan yang ada misalnya hasil analisis pushover masih berupa suatu pendekatan karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak-balik melalui siklus tertentu, sedangkan sifat pembebanan pada analisis pushover adalah static monotonik.

2.12 Incremental Dynamic Analysis

Incremental dynamic analysis (IDA) adalah metode analisis komputasi rekayasa gempa untuk melakukan penilaian komprehensif terhadap perilaku struktur di bawah beban seismik. Sistem ini dikembangkan berdasarkan hasil analisis bahaya seismik probabilistik untuk memperkirakan risiko seismik yang dihadapi oleh suatu bangunan. Ini dapat dianggap sebagai padanan dinamis dari analisis pushover statis.



Gambar 2.9: Contoh Kurva IDA

2.13 Program Ruaumoko

Program Ruaumoko dirancang oleh Prof. Athol J Carr, yang berasal dari University of Canterbury, New Zealand. Program ini dirancang untuk melakukan analisa struktur, seperti bangunan dan/atau jembatan, yang mengalami gempa dan eksitasi dinamis lainnya. Program ini digunakan untuk studi eksitasi gempa termasuk pemodelan sistem base-isolation. Program ini juga dapat digunakan untuk menganalisa push over, baik statis maupun dinamis.

Dalam pengembangan berkelanjutan, banyak kemajuan yang telah dibuat dalam beberapa tahun terakhir yang didukung upaya kerja sama dengan universitas luar negeri dan kelompok penelitian, diantaranya:

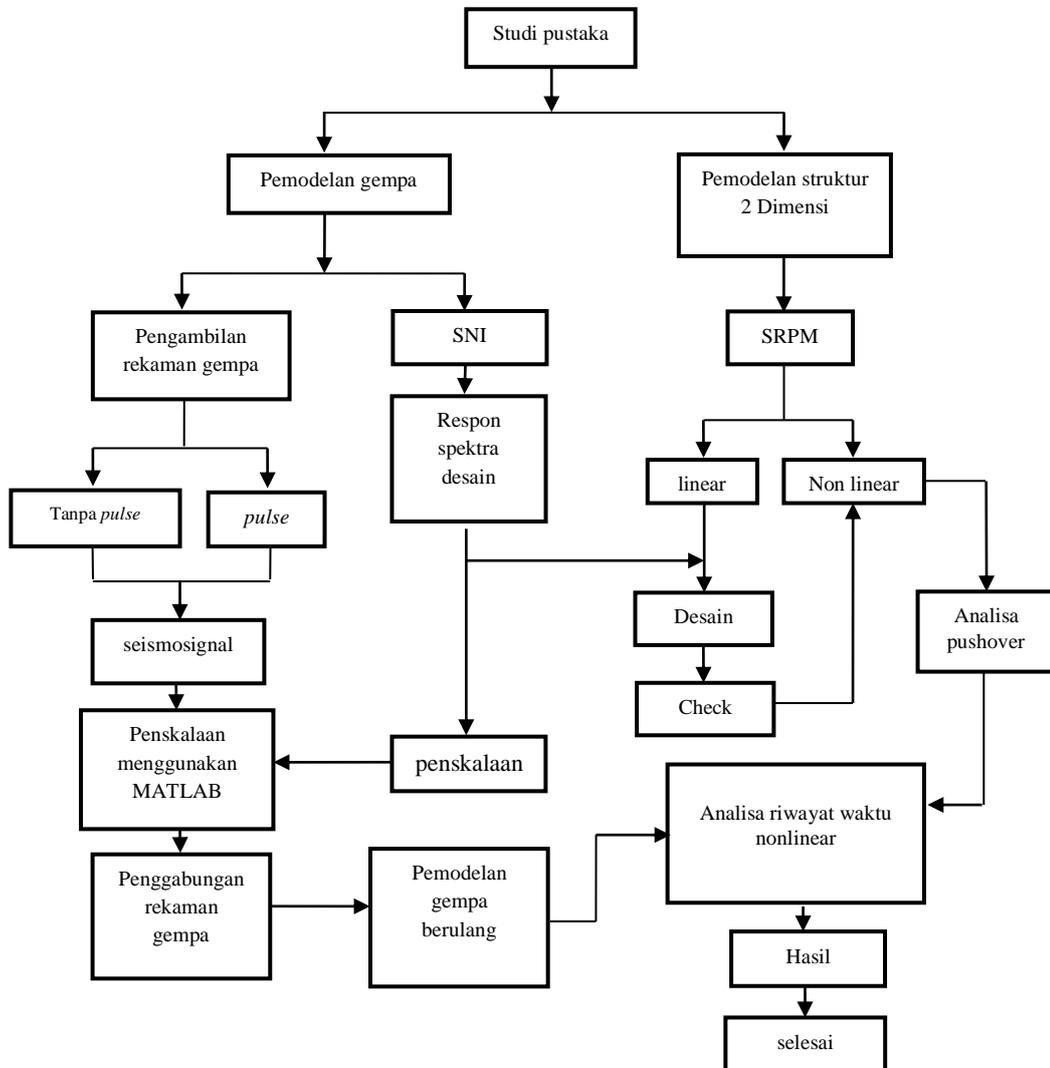
- a. Pemodelan komponen untuk memungkinkan efek geser elastis pada balok dan kolom.
- b. Model histeresis untuk menstimulasikan non-linear geser balok untuk koneksi kolom di struktur baja.
- c. Model histeresis pemodelan kontrol menggabungkan semi-aktif.
- d. Aturan degradasi kekuatan baru untuk pengurangan kekuatan beton bertulang pada sambungan balok-kolom.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Bab ini berisi tentang pemodelan struktur yang direncanakan. Struktur dianalisis menggunakan 2 *software* bantuan. 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. Ketiga 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*), untuk mendapatkan nilai simpangan yang ada ketika bangunan telah dikenakan gempa tunggal dan berulang. Kemudian nilai simpangan tersebut akan dibandingkan untuk setiap modelnya.

3.2 Pemodelan Struktur 2 Dimensi

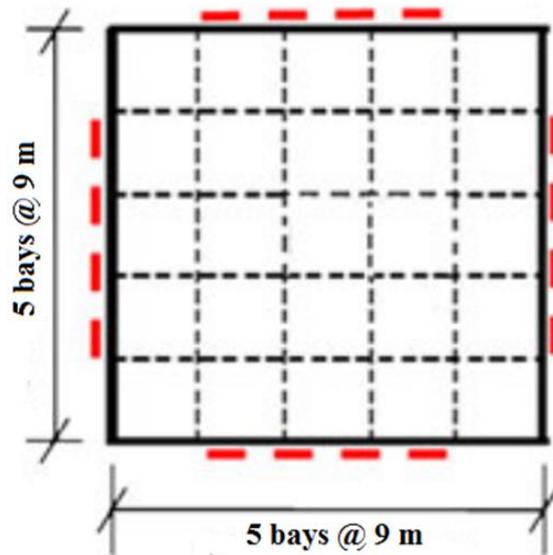
3.2.1. Data Perencanaan Struktur

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

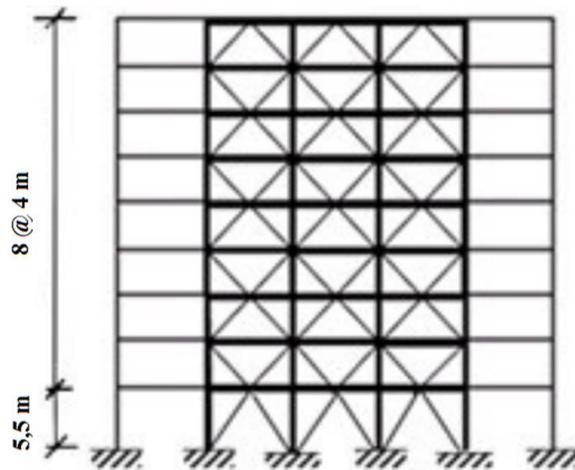
1. Jenis pemanfaatan gedung perkantoran.
2. Gedung terletak di Padang Pariaman.
3. Klasifikasi situs tanah keras (*SC*).
4. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (*SRPM*)
5. Jenis portal struktur gedung adalah baja..
6. Mutu baja yang di gunakan adalah ASTM A992
 - Kuat leleh minimum (f_y) = 50 ksi (345 Mpa)
 - Kuat tarik minimum (f_u) = 65 ksi (450 Mpa)

3.2.2. Konfigurasi Bangunan

Dalam Tugas Akhir ini, struktur bangunan yang direncanakan adalah struktur baja dengan sistem rangka pemikul momen khusus. Bangunan berbentuk persegi yang simetri (*regular building*) seperti yang terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2: Denah struktur



Gambar 3.3: Gambar proyeksi struktur lantai 9

Gambar 3.3: merupakan pemodelan Struktur 2 dimensi untuk SRPM lantai 9 di mana pemodelan ini memiliki tinggi antara base ke lantai 1 setinggi 5,5 meter dan dari lantai 1 sampai seterusnya 4 meter. Sedangkan jarak antar kolom yang di modelkan sejarak 9 meter perkolom

3.2.3. Dimensi Profil Baja Yang Digunakan

Bangunan yang direncanakan adalah struktur beraturan, Struktur gedung direncanakan dengan dimensi penampang yang berbeda. Ukuran balok dan kolom terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Komponen struktural bangunan.

| Model Bangunan | Story | Bracing | Balok | Kolom Dalam | Kolom Luar |
|----------------|-------|--------------|---------|-------------|------------|
| 9 Lantai | 1 | Hss 8x8x1/2 | W21x93 | W14x283 | W14x283 |
| | 2 | Hss 7x7x1/2 | W21x83 | W14x283 | W14x283 |
| | 3 | Hss 7x7x1/2 | W21x83 | W14x283 | W14x283 |
| | 4 | Hss 7x7x1/2 | W21x83 | W14x193 | W14x193 |
| | 5 | Hss 6x6x5/8 | W21x83 | W14x193 | W14x193 |
| | 6 | Hss 6x6x1/2 | W21x83 | W14x120 | W14x120 |
| | 7 | Hss 6x6x3/8 | W21x83 | W14x120 | W14x120 |
| | 8 | Hss 5x5x1/2 | W21x83 | W14x74 | W14x74 |
| | 9 | Hss 5x5x5/16 | W24x104 | W14x74 | W14x74 |

3.3. Analisis Struktur

3.3.1. Analisis Dinamik Struktur Linier

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

3.3.2. Pembebanan

Pembebanan yang bekerja pada struktu bangunan diambil dari jurnal Hsiao, Po-Chien(2013). Beban-beban tersebut adalah beban hidup dan beban mati yang berhubungan dengan struktur bangunan. berikut merupakan pembebanan yang digunakan

1. Beban Gravity Load Lantai = 97,9 psf = 4,687 kn/m² untuk semua lantai
2. Beban Gravity Load Rooftop = 93,8 psf = 4,491 kn/m² untuk semua lantai

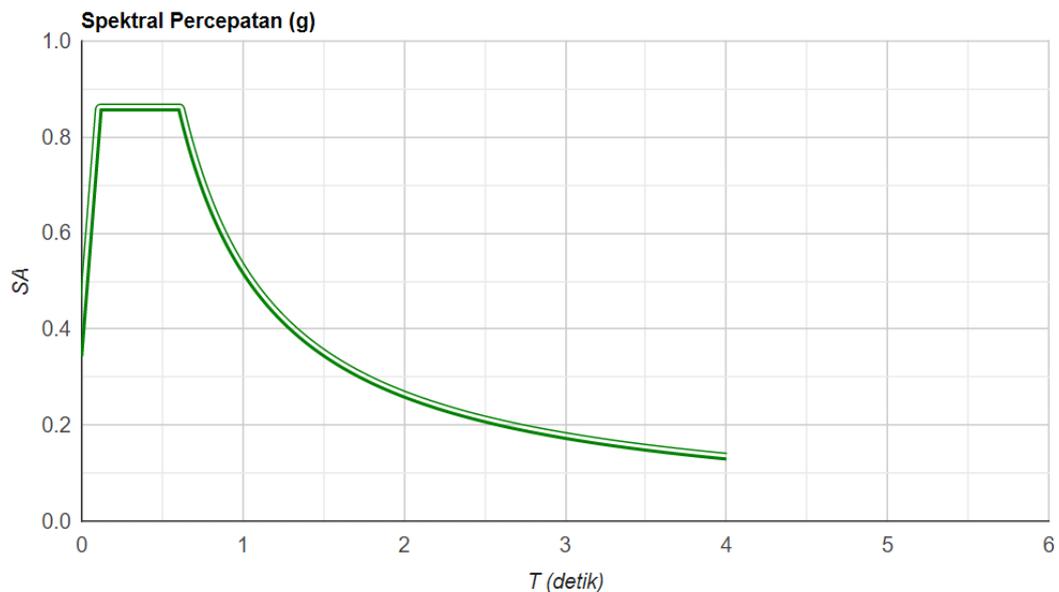
3.4. Respon Spektrum Desain Gempa

3.4.1 Desain Respon Spektrum Padang Pariaman(Tanah Keras)

Berdasarkan SNI 1726:2012, respon spektrum gempa didesain pada kondisi tanah lunak yang terletak di Padang Pariaman, kemudian dianalisis dengan data-data $PGA = 0,481 g$, $S_s = 1.116 g$ dan $S_l = 0.449 g$.

- Nilai F_a = 1
- Nilai F_v = 1,351
- S_{DS} = 1.116
- S_{Dl} = 0.6066
- Nilai S_a

Respon spektrum diplot ke dalam grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4: Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Padang Pariaman dengan jenis tanah lunak.

Selanjutnya nilai respon spektrum desain yang didapatkan tersebut digunakan dalam Analisis Dinamik Struktur Linear dengan Metode Respon Spektrum pada pemodelan menggunakan Program Analisa Struktur.

3.4.2. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dihitung berdasarkan ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2012 tentang standar perencanaan bangunan tahan gempa. Untuk Faktor $R=6$ nilai $\rho = 1.4$ yang diperoleh dari kategori desain seismik D dan nilai $S_{DS} = 1.116$ Tabel 3.4 untuk faktor $\phi=8$.

Tabel 3.2: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai $\rho = 1.4$, $S_{DS} = 1,116$.

| Kombinasi | Koefisien (DL) | Koefisien (LL) | Koefisien (EX) | Koefisien (EY) |
|-----------------------------------|--|----------------|----------------|----------------|
| Kombinasi 1 | 1,4 | 0 | 0 | 0 |
| Kombinasi 2 | 1.2 | 1.6 | 0 | 0 |
| Kombinasi 3 | 1.248 | 1 | 0.39 | 0 |
| Kombinasi 4 | 1.151 | 1 | -0.39 | 0 |
| Kombinasi 5 | 1.361 | 1 | 1.3 | 0 |
| Kombinasi 6 | 1.038 | 1 | -1.3 | 0 |
| Kombinasi 7 | 0.85 | 0 | 0.39 | 0 |
| Kombinasi 8 | 0.948 | 0 | -0.39 | 0 |
| Kombinasi 9 | 0.738 | 0 | 1.3 | 0 |
| Kombinasi 10 | 1.0618 | 0 | -1.3 | 0 |
| Kombinasi Maximum <i>Envelope</i> | Nilai <i>absolute</i> 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).

3.4.3. Analisis Respon Spektrum Ragam

Analisis ini merupakan tahap desain yang harus memenuhi syarat-syarat batas berdasarkan SNI 1726:2012. Analisis telah memenuhi syarat jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi yaitu sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Nilai untuk masing-masing parameter terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar lantai tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing-masing respon ragam telah dihitung menggunakan properti masing-masing ragam dan respon spektrum dibagi dengan kuantitas (R/I_e). Nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar lantai harus dikalikan dengan kuantitas (C_d/I_e) yang nilainya telah tertera pada Tabel 2.5 untuk nilai I_e dan Tabel 2.10 untuk nilai R dan C_d .

Nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, telah dikombinasikan menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) atau metode kombinasi kuadrat lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Metode akar kuadrat jumlah kuadrat diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang lebih dari 15%, sementara metode kombinasi kuadrat lengkap diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang kurang dari 15%. Sehingga metode yang digunakan dalam analisis respon spektrum ragam adalah *CQC* pada Model 1, *CQC* pada Model 2, *CQC* pada Model 3 dan *SRSS* pada Model 4. Perhitungan mendetail pemilihan metode yang digunakan dalam pemodelan struktur dapat dilihat pada Bab 4.

3.4.4. *Groundmotion Records (Data Rekaman Gempa)*

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 sebanyak 28 rekaman gempa yaitu gempa *main-shock* mengandung *Fling* 1 rekaman gempa, *Pulse* 3 rekaman gempa, dan *Regular* 4 rekaman gempa. Sedangkan *after-shock* mengandung *Regular* 11 rekaman gempa dan *pulse* 6 rekaman gempa yang diperoleh dari PEER NGA dan COSMOS seperti terlihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Rekaman getaran gempa dari PEER NGA & COSMOS.

| Nama Gempa MainShock | Magnitude | Nama Gempa Aftershock | Magnitud e | Nama Stasiun | Tahun |
|----------------------|-----------|---------------------------------|------------|-------------------------------|-------------|
| Northridge-01 | 6.7 | Northridge-06 (Aftershock) | 5.3 | Cedar Hill | 199,411,997 |
| NorthwestChina-02 | 6.1 | NorthwestChina-01 (Aftershock) | 5.8 | Jiashi | 1997 |
| | | NorthwestChina-03 | 5.9 | | |
| Nama Gempa MainShock | Magnitude | Nama Gempa Aftershock | Magnitud e | Nama Stasiun | Tahun |
| NorthwestChina-02 | 6.1 | NorthwestChina-04 | 5.9 | Jiashi | 1997 |
| Coalinga-05 | | Coalinga-07 | 5.2 | Coalinga-14th & Elm (Old CHP) | 1983 |
| | | Coalinga-06 | 5.8 | | |
| | | Coalinga-09 | 5.3 | | |
| Coalinga-08 | 5.8 | Coalinga-09 | 5.3 | Coalinga-14th & Elm (Old CHP) | 1983 |
| Umbria Marche | 5.7 | Umbria Marche-01 | 6 | Nocera Umbra | 1997 |
| | | Umbria Marche (Aftershock) | 5.6 | | |
| Umbria Marche-01 | 6 | Umbria Marche (Aftershock) | 5.6 | Nocera Umbra | 1997 |
| Livermore-01 | 5.8 | Livermore-02 | 5.42 | APEEL 3E Hayward CSUH | 1980 |
| Mammoth Lakes-01 | 6.06 | Mammoth Lakes-03 | 5.91 | Convict Creek | 1980 |
| | | Mammoth Lakes-04 | 5.7 | | |
| | | Mammoth Lakes-05 | 5.7 | | |
| | | Mammoth Lakes-02 | 5.69 | | |
| | | Mammoth Lakes-06 | 5.94 | | |
| Mammoth Lakes-04 | 5.7 | Mammoth Lakes-05 | 5.7 | Convict Creek | 1980 |
| Coalinga-08 | 5.2 | Coalinga-07 | 5.2 | Coalinga-14th & Elm (Old CHP) | 1983 |
| Kalamata Greece-01 | 6.2 | Kalamata Greece-02 (Aftershock) | 5.4 | Kalamata | 1986 |

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, sementara gempa horizontal arah Y tidak digunakan karena bangunan yang direncanakan dalam bentuk 2 dimensi (2D) pada sumbu X dan gempa vertikal arah Z karena dalam analisis karena 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 Banda Aceh (tanah lunak), Palembang (tanah keras), dan Palembang (tanah batuan). Selain itu, rentang perioda alami (T) juga dibutuhkan dalam proses penskalaan agar hasil skala lebih detail.

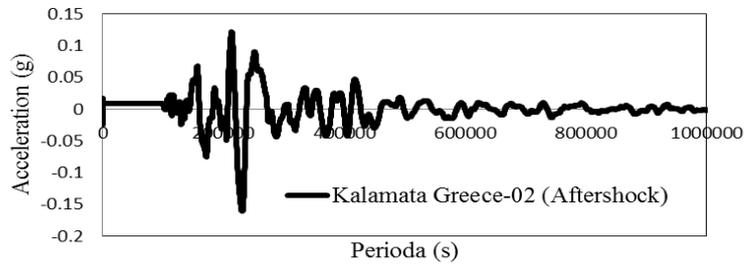
Kemudian data rekaman gempa yang telah diskalakan digunakan sebagai *input* pada *software* RUAUMOKO versi 04. untuk Analisis Dinamik Non Linier Inelastis dengan Metode Analisa Riwayat Waktu.

3.4.5. Analisis Respon Riwayat Waktu

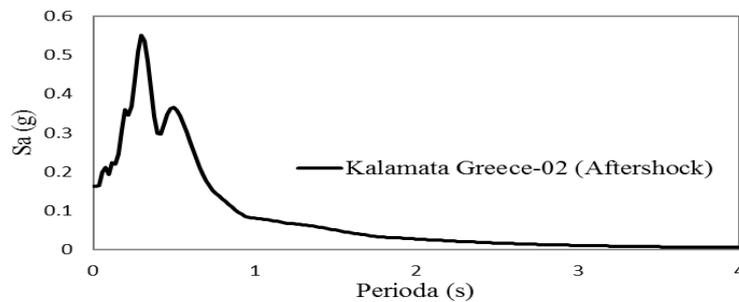
Analisis ini merupakan tahap evaluasi yang dijadikan sebagai perbandingan terhadap analisis linear sebelumnya, sehingga tidak perlu seluruhnya memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2012. Karena model yang digunakan merupakan model yang seluruhnya telah memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2012 pada analisis linier sebelumnya yaitu dengan Metode Respon Spektrum. Pada Metode Respon Riwayat Waktu ini dianalisis secara dua dimensi.. Sebelum dianalisis terdapat beberapa tahapan sebagai berikut :

- a. pengambilan rekaman gempa dari PEER NGA dan COSMOS. Daerah-daerah rekaman yang diambil tertera pada tabel 3.3.
- b. mengubah rekaman gempa menjadi respon spektrum dengan bantuan *software Seismosignal*. Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses penskalaan.
- c. kemudian respon spektrum diskalakan dengan respon spektrum yang direncanakan untuk wilayah Indonesia.

- d. kemudian respon spektrum diskalakan dengan respon spektrum yang direncanakan untuk wilayah Indonesia.

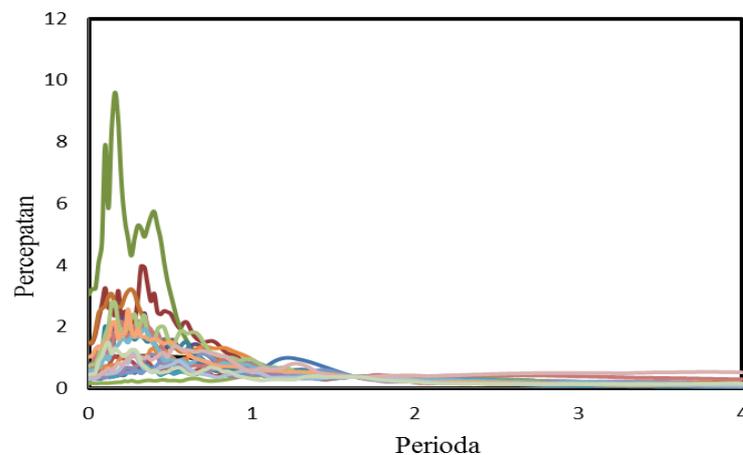


Gambar 3.5: Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (*main-shock*) sebelum diubah menjadi respon spektrum



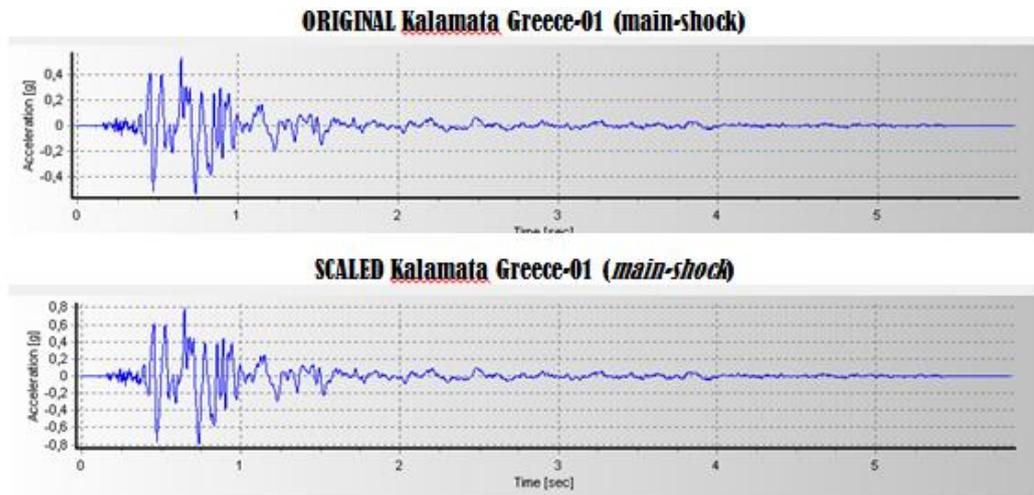
Gambar 3.6: Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (*main-shock*) setelah diubah menjadi respon spektrum

- e. kemudian respon spektrum diskalakan dengan respon spektrum yang direncanakan untuk wilayah Indonesia.

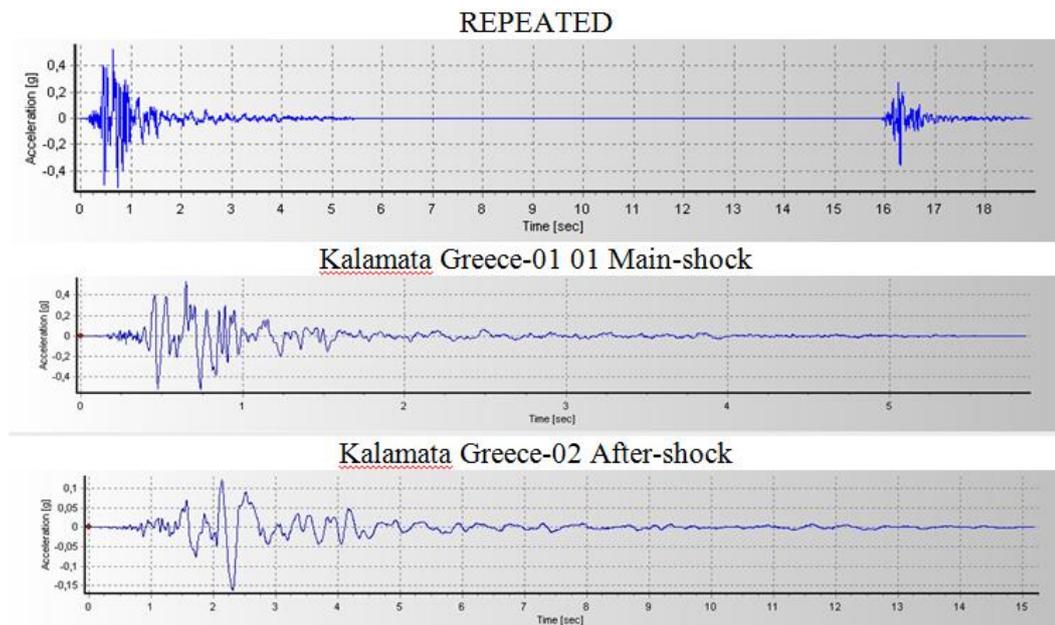


Gambar 3.7: Respon spektrum dengan 10 daerah gempa setelah diskalakan terhadap respon spektrum diindonesia (Padang Pariaman).

- f. Menskalakan rekaman gempa dengan menggunakan *software* MATLAB, rekaman gempa akan dijadikan gempa tunggal dan gempa berulang.



Gambar 3.8: Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (*main-shock*) setelah diskalakan (gambar bawah) ini termasuk gempa tunggal.



Gambar 3.9: Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (*Main-shock*) dan Kalamata Greece-02 (*after-shock*) setelah digabungkan (*Repeated*), ini termasuk gempa berulang.

Kemudian data rekaman gempa yang telah digabung digunakan sebagai *input* pada *software* bantuan. Untuk Analisis Dinamik NonLinear Inelastis dengan Metode Analisa Riwayat Waktu.

3.5. Analisis Dinamik Struktur Nonlinear

Analisis ini menggunakan Metode Respon Riwayat Waktu dan dianalisis secara dua dimensi.

Menurut Faisal (2013), analisis nonlinear dapat dikerjakan setelah analisis linear selesai dikerjakan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan tahapan sebagai berikut:

1. Analisis modal (cek perioda; partisipasi massa > 90%; kekakuan tidak direduksi)
2. Analisis linear statik ekuivalen
3. Analisis linear dinamik respon spektrum
4. Analisis linear dinamik respon riwayat waktu

3.5.1. Analisis Respon Riwayat Waktu

Data-data yang dibutuhkan dalam analisis respon riwayat waktu nonlinear menggunakan antara lain:

- I : Momen inersia penampang
- E : Modulus elastisitas penampang
- M_y : Momen leleh
- M_c : Momen puncak
- Ko : Kekakuan rotasi elastis
- θ_p : Koefisien rotasi plastis
- 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*

3.5.2. Momen Leleh (M_y)

Berdasarkan Metode FEMA, momen leleh yang digunakan sebagai *input* analisis nonlinear adalah momen maksimum pada analisis linear respon riwayat waktu menggunakan Program Analisa Struktur. Nilai tersebut sebelumnya diambil dari Program Analisa Struktur dan di sesuaikan dengan sistem bangunan yang direncanakan.

3.5.3. Kapasitas Rotasi

1. Kapasitas rotasi plastis (θ_p)

Menurut Zareian dan Krawinkler (2009), terdapat 3 kategori kapasitas rotasi plastis yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Dalam tugas akhir ini nilai θ_p yang digunakan adalah kapasitas rendah yaitu 0,04.

2. Rotasi pasca-puncak (θ_{pc})

Pada pemodelan nonlinear ini memilih $\theta_{pc} = 0,06$ berdasarkan rata-rata Zareian dan studi Krawinkler (2009), sedangkan $M_c/M_y = 1,13$ berdasarkan nilai rata-rata Haselton, dkk., (2007).

3.5.4. Rotasi Leleh (θ_y)

Rotasi pada saat leleh digunakan untuk mendapatkan nilai daktilitas yang dibutuhkan sebagai *input* dalam *software* bantuan. Nilai rotasi sendi plastis tersebut dihitung berdasarkan Pers. 2.6 dan dihitung untuk semua *frame* (balok-kolom) pada struktur gedung yang direncanakan. Nilai θ_y untuk semua *frame* dapat dilihat pada pembahasan selanjutnya.

3.5.5. Kurva kerapuhan

Fragility Curves atau kurva kerapuhan didapatkan hasilnya setelah mendapatkan nilai *Incremental Analysis Dynamics* (IDA). Dalam pengerjaan kurva keruntuhan analisis dan jumlah analisis dilakukan pada setiap tingkat struktur. Fungsi distribusi kumulatif lognormal sering digunakan untuk mendefinisikan fungsi keruntuhan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Model Linier Dan Non Linier

Pada Bab ini akan dibahas beberapa hasil analisa linier dan non linier oleh Program Analisa Struktur diantaranya, perioda getar, nilai simpangan dan gaya-gaya dalam struktur gedung, berdasarkan struktur lantai 9 dengan sistem rangka pemikul momen (SRPM) dengan Gravity Frame (GF). Serta perbandingan metode analisa pada tiap gempa, yaitu analisa respon spektrum ragam dan analisa respon riwayat waktu.

4.2. Hasil Analisa Linier

4.2.1. Respon Spektrum Ragam

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

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

Analisa menggunakan metode *CQC* (*Complete Quadratic Combination*), hasil persentase perioda rata-rata yang didapat lebih kecil dari 15% dan *SRSS* (*Square Root of the Sum of Square*) lebih besar dari 15%. Pada hasil analisa diperoleh hasil model 9 lantai didapat 12 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak dibawah 15 %.

Untuk perhitungan tertera pada lampiran A3.

4.2.2. Koreksi Gempa Dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, kombinasi respon untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V_1) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya dan simpangan antar lantai harus dikalikan dengan faktor skala.

Tabel 4.1: Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen (V_1) dan Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum *output* Program Analisa Struktur V_t .

| Struktur | Arah Gempa | V_1 (KN) | V_t (KN) |
|----------|------------|------------|------------|
| Lantai 9 | Gempa X | 234,87 | 4121,61 |

Untuk memenuhi syarat berdasarkan SNI 1726:2012, maka nilai faktor skala harus lebih kecil atau sama dengan 1.

Untuk perhitungan tertera pada Lampiran A5.

4.2.3. Koreksi Faktor Redundansi

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

4.2.4. Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

Nilai V_1 dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (V_t) dapat dilihat pada Tabel 4.1. Kontrol Koreksi skala simpangan antar tingkat, yaitu:

Berdasarkan Tabel 4.2 nilai V_t sb. x diperoleh :

Tabel 4.2: Nilai gaya dasar nominal analisis respon spektrum (V_t) sumbu X.

| Struktur | Arah Gempa | V_t (KN) | 0,85 $C_s.W$ | Cek |
|----------|------------|------------|--------------|-----|
| Lantai 9 | Gempa X | 4121,61 | 3503,37 | Oke |

Dengan demikian syarat skala simpangan antar lantai telah terpenuhi, yaitu gaya geser dasar respon spektrum (V_t) 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 1726:2012, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai yang diizinkan yaitu 0,02 dikali tinggi lantai, nilai simpangan tidak boleh melebihi ketentuan tersebut. Pada hasil yang diperoleh, nilai simpangan antar lantai tidak melebihi batas izin atau memenuhi syarat.

4.2.6. Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (*Soft Story*)

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

4.2.7. Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai *stability ratio* lebih kecil dari 1. Pada hasil perhitungan, nilai *stability ratio* dibawah nilai 1 untuk semua model atau dapat dikatakan kontrolnya memenuhi syarat yang

ditentukan. Pada dasarnya efek p-delta dapat diabaikan jika syarat *stability ratio* sudah terpenuhi.

4.3. Hasil Analisa Non Linier

Pada tahap ini merupakan bagian dari evaluasi struktur beton bertulang yang telah didesain terhadap beban gempa yang telah direncanakan, dalam hal ini respon struktur akan ditinjau terhadap perbedaan jenis gempa, faktor R pada gedung, dan perioda struktur bangunan. Jenis gempa yang akan diberikan pada struktur beton bertulang yaitu gempa Tanpa *fling* (gempa biasa), gempa *fling* tunggal, gempa *fling* berulang 2 kali, dan gempa *fling* berulang 3 kali. Faktor R pada gedung merupakan faktor reduksi gedung yang telah didesain dengan perbedaan sistem struktur beton bertulang. Perbedaan nilai perioda didapat dari ketiga jenis model yang telah didesain. Setiap model struktur akan diambil data *interstory drift* dan dianalisa.

4.3.1. Incremental Dynamic Analysis (IDA)

Incremental Dynamic Analysis yang di lakukan pada satu mode struktur menghasilkan gambaran respon dan kapasitas dari struktur yang selanjutnya dapat digunakan untuk membentuk kurva kerapuhan struktur sebagai metode dalam asamen kerapuhan seismik. Hasil IDA menggunakan 20 set rekaman gempa untuk struktur 9 lantai. Grafik IDA adalah hasil dari *interstory drift Ratio*.

4.3.2 interstory drift

Jika masing-masing *node* mengalami perpindahan akibat gaya gempa, maka perpindahan tersebut dapat menghasilkan simpangan antar tingkat. Besarnya simpangan antar tingkat dipengaruhi oleh kekakuan dari struktur tersebut. Tabel 4.3 dan 4.4 menunjukkan perbedaan nilai simpangan antar tingkat gempa tunggal dan gempa berulang untuk pemodelan lantai 9. Secara keseluruhan, nilai simpangan antar tingkat pada gempa tunggal lebih kecil dari nilai simpangan antar

tingkat yang terjadi pada gempa berulang. Hal ini dapat kita pahami dikarenakan gempa berulang mengandung percepatan yang lebih besar dari pada gempa tunggal. Dan juga untuk gempa berulang akan memberikan dampak yang lebih terhadap struktur dibandingkan gempa tunggal.

Tabel 4.3 : Nilai perbandingan *interstory drift* untuk pemodelan 9 lantai faktor R=6 dengan acuan gempa tunggal dan gempa berulang yang mengandung *pulse* dan *nopulse*.

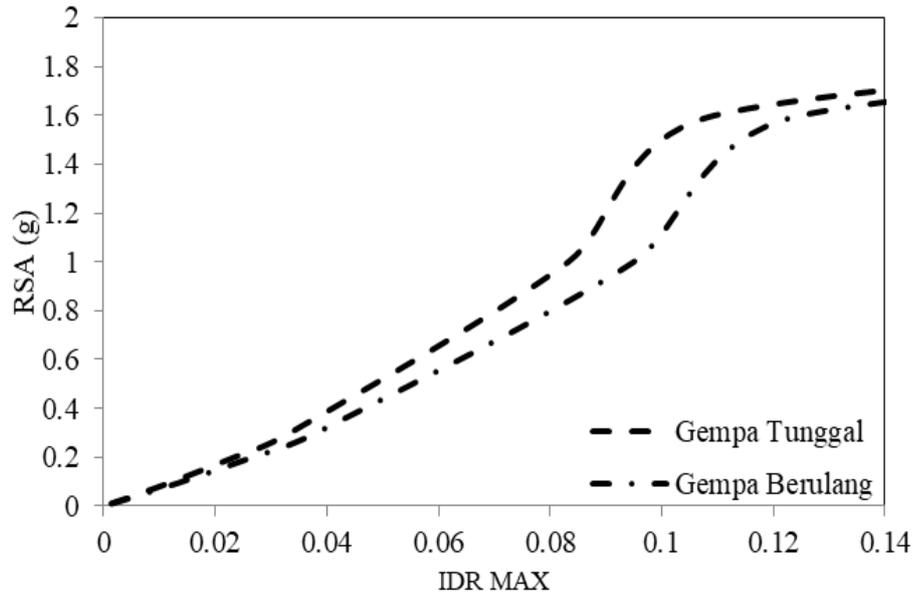
| Struktur | T (s) | Gempa tunggal (m) | Gempa berulang (m) |
|----------|----------|----------------------|-----------------------|
| 9 Lantai | 1,73 | 0,1203 | 0.1347 |

Tabel 4.4 : Nilai persentasi *interstory drift* untuk pemodelan 9 lantai faktor R=6 dengan acuan gempa tunggal dan gempa berulang yang mengandung *pulse* dan *nopulse*.

| Struktur | T (s) | Gempa tunggal (%) | Gempa berulang (%) |
|----------|----------|----------------------|-----------------------|
| 9 Lantai | 1,73 | 100 | 125,3 |

4.4. Pengaruh Gempa Tunggal dan Gempa Berulang

Nilai rata-rata grafik IDA pada gempa tunggal dan gempa berulang yang mengandung *fling*, *pulse*, dan *regular* terhadap pemodelan struktur 9 lantai memiliki nilai IDR dari gempa berulang lebih besar dari pada gempa tunggal, pada gempa tunggal memiliki nilai $RSA(T1) = 1$ mendapatkan nilai $IDR = 0,083$ dan pada gempa berulang memiliki nilai $RSA(T1) = 1$ menapatkan nilai $IDR = 0,094$ lihat pada Gambar 4.1.

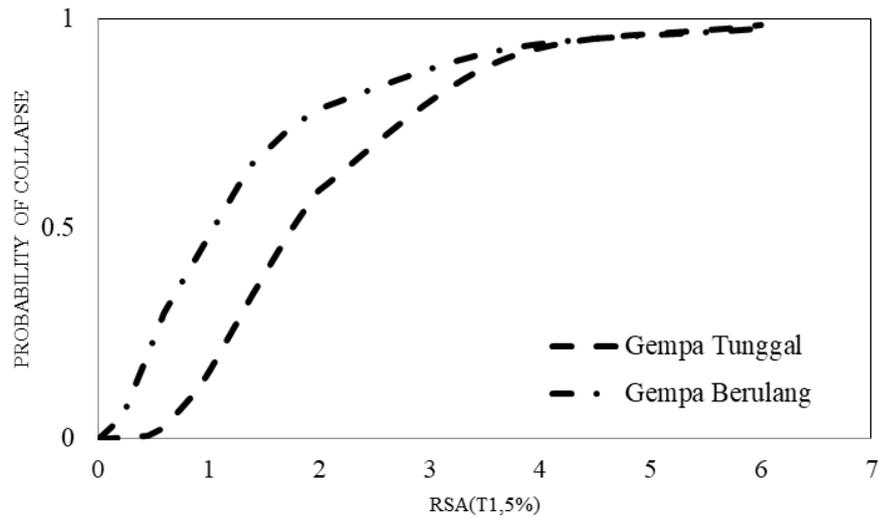


Gambar 4.1: Grafik IDA perbandingan gempa tunggal dan gempa berulang terhadap model struktur 9 lantai dengan faktor R=6.

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat pada gempa berulang memiliki nilai RSA(T1) lebih kecil dari pada gempa tunggal tetapi gempa berulang memiliki IDR lebih besar dari pada IDR gempa tunggal hal ini di akibatkan oleh perbedaan nilai percepatan gempa akibat jumlah dari rekaman gempa berulang adalah pengabungan 2 gempa tunggal menjadi satu dalam satu rekaman gempa.

4.5 Analisis *Probability of Collapse*

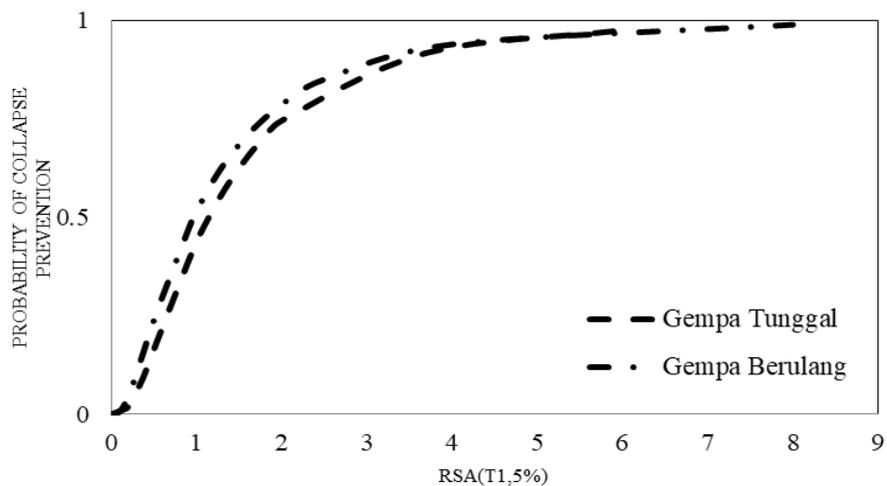
Dari proses *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) didapatkan nilai IDR ratio pada RSA tertentu yang kemudian akan digunakan dalam menganalisa probabilitas keruntuhan struktur gedung terhadap nilai RSA. Kurva kerapuhan dari gempa tunggal dan gempa berulang terhadap pemodelan 9 lantai menunjukkan bahwa semakin tinggi grafik yang di dapat maka semakin kecil nilai RSA(T1) yang di butuh kan untuk mencapai nilai *Probability of collapse* = 10% atau 0,1. Lihat Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Grafik kurva kerapuhan 10% (*Collapse*) gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 9 lantai dengan faktor R=6.

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat pada gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 9 lantai untuk mencapai nilai *Probability of collapse* = 0,1 atau 10 % memiliki RSA(T1.5%) yang tidak sama, dimana gempa tunggal memiliki nilai RSA(T1.5%) yang lebih besar di dibandingkan dengan gempa berulang untuk mencapai *Probability of collapse* = 10%

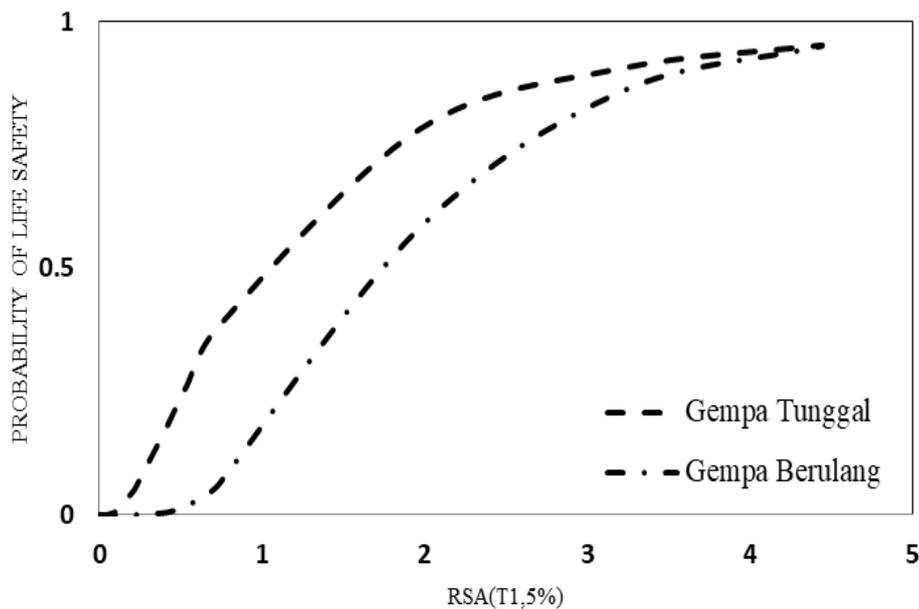
Nilai pada *Probability of excendance* = 5% atau 0.05 (*collapse prevention*) pada gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 9 lantai. Lihat Gambar 4.3.



Gambar 4.3: Grafik kurva kerapuhan 5% (*collapse prevention*) gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 9 lantai dengan faktor R=6.

Dari grafik 4.3 dapat di lihat nilai dari RSA(T1.5%) dari kedua gempa yaitu tunggal dan gempa berulang yang di butuhkan untuk *Probability of excendance* = 5% atau 0.05 tidak jauh berbeda dimana gempa berulang memiliki RSA(T1.5%) yang lebih besar di bandingkan gempa tunggal,artinya pada gempa berulang membutuhkan RSA(T1.5%) yang lebih besar untuk mencapai nilai *Probability of excendance* = 5% atau 0.05.

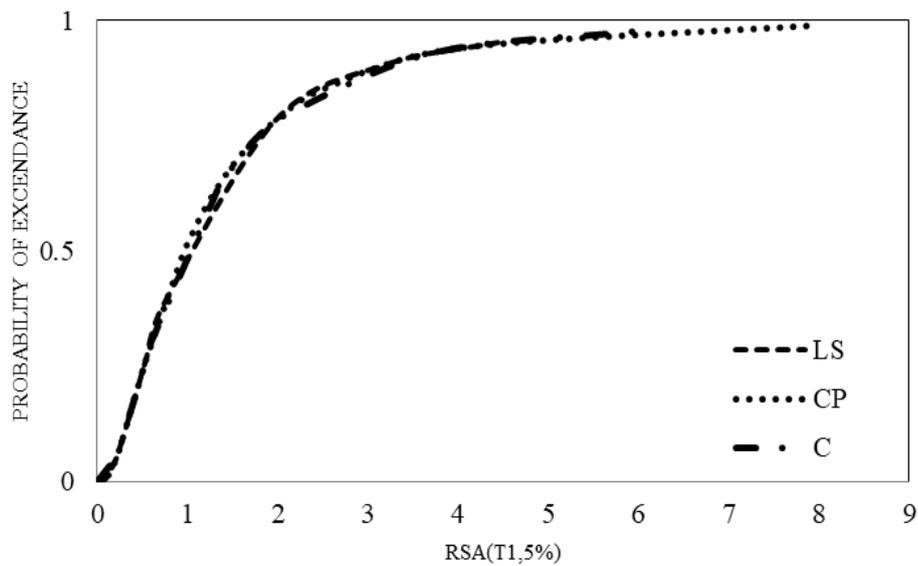
Nilai pada grafik kurva kerapuhan pada gempa tunggal dan gempa berulang yang di butuhkan untuk mencapai *Probability of excendance* = 2,5% atau 0.025 (*life safety*) pada gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai memiliki perbedaan yang jauh pada RSA(T1.5%) dimana gempa tunggal memiliki RSA(T1.5%) yang lebih kecil untuk mencapai *Probability of excendance* = 2,5% atau 0.025 dibandingkan dengan gempa berulang Lihat Gambar 4.4.



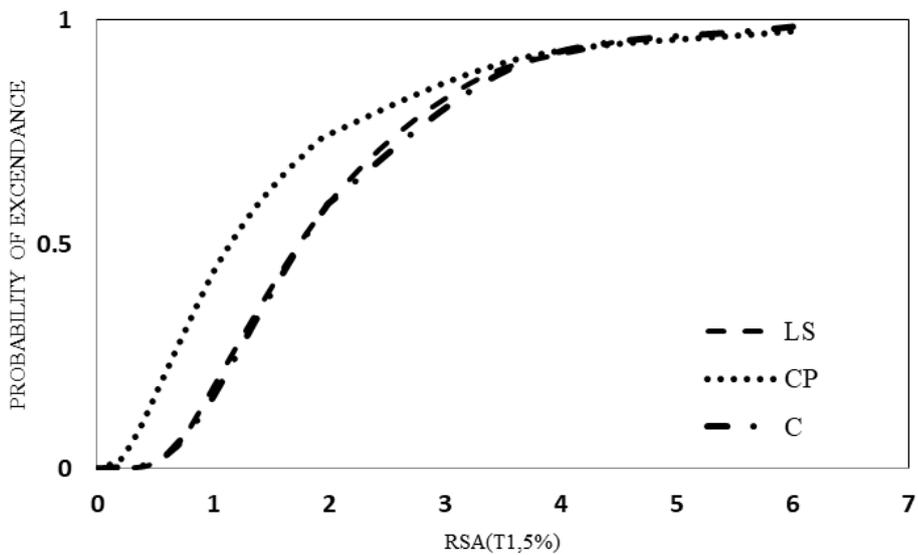
Gambar 4.4: Grafik kurva kerapuhan 2,5% (*life safety*) gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 9 lantai dengan faktor R=6.

4.6 Perbandingan kurva fragility

Pada perbandingan kurva fragility ini melihatkan perbedaan pada *collapse* (C), *collapse prevention* ,(CP), dan *life safety* (LS) dalam tiap gempa tunggal dan gempa berulang.



Gambar 4.5: Grafik kurva kerapuhan dengan *collapse* (C), *collapse prevention* (CP), dan *life safety* (LS) pada gempa tunggal dan terhadap struktur 9 lantai dengan faktor R=6.



Gambar 4.6: Grafik kurva kerapuhan dengan *collapse* (C), *collapse prevention* (CP), dan *life safety* (LS) pada gempa berulang terhadap struktur 9 lantai dengan faktor R=6.

4.7. Kondisi Keruntuhan Struktur

Nilai keruntuhan struktur menurut FEMA 2000 untuk *collapse* (C) = 10%, *collapse prevention* (CP) = 5%, *life safety* (LS) = 2,5%. Lihat Tabel 4.5

SNI (1726 : 2012) untuk kategori resiko I dan II adalah 10 %, dan kondisi mendekati keruntuhan adalah 2 %. Lihat Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5: Nilai RSA(T1) untuk kondisi keruntuhan pada gempa tunggal dan gempa berulang.

| Kondisi Keruntuhan | TUNGGAL | BERULANG 2 KALI |
|--------------------|---------|-----------------|
| | RSA(T1) | RSA(T1) |
| 10% | 1,381 | 1,346 |
| 5% | 0,901 | 0,878 |
| 2,5% | 0,359 | 0,354 |

Dari Tabel 4.5 dapat di lihat nilai keruntuhan menurut FEMA 2000 dengan keruntuhan 10%, 5%, dan 2,5% pada gempa berulang memiliki nilai RSA(T1) yang paling besar dari gempa tunggal. Pada gempa tunggal 5% mengalami penurunan yang besar dari pada gempa berulang, tetapi gempa tunggal di kondisi keruntuhan 10%, 2,5% memiliki nilai RSA(T1) yang tidak terlalu jauh beda.

4.8. Median Kurva Kerapuhan

Nilai median yang telah diperoleh dari analisi kurva kerapuhan *collapse* (C) = 10%, *collapse prevention* (CP) = 5%, dan *life safety* (LS) = 2,5% lihat pada gempa tunggal dan gempa berulang. Lihat Tabel 4.6:

Tabel 4.6: Nilai RSA(T1) untuk nilai median *Probability of collapse* (50%) pada sruktur 4 lantai.

| Kondisi Keruntuhan | TUNGGAL | BERULANG |
|--------------------|------------|------------|
| | RSA(T1,5%) | RSA(T1,5%) |
| 10% | 1,751 | 1,732 |
| 5% | 1,145 | 0,963 |
| 2,5% | 0,459 | 0,428 |

Pada Table 4.6 terlihat bahwa nilai median pada kondisi keruntuhan pada gempa tunggal memiliki nilai $RSA(T1,5\%)$ yang lebih tinggi di bandingkan dengan gempa berulang untuk mencapai *Probability of collapse* = 0,5. Kondisi keruntuhan 10% memiliki nilai yang signifikan lebih tinggi dengan nilai yang lain selisih nilai $RSA(T1,5\%)$ sebesar 0,6 dibandingkan dengan kondisi keruntuhan 5%, dan 2,5% selisih nilai $RSA(T1,5\%)$ sebesar 0,07

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari studi ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Menurut hasil analisis *Incremental Dynamic Analysis* perilaku struktur bila terkena gempa tunggal dan gempa sebagai berikut:
 - a. Gempa berulang memberikan nilai IDR yang lebih besar dari pada gempa gempa tunggal.
 - b. Nilai $RSA(T_1)$ pada gempa berulang lebih kecil dari pada Nilai $RSA(T_1)$ pada gempa tunggal, tetapi nilai IDR pada gempa berulang lebih besar dari pada nilai IDR pada gempa.
2. Menurut hasil analisis, diperoleh probabilitas keruntuhan struktur gedung SRPMK baja bila terkena gempa tunggal dan gempa berulang
 - a. Untuk kondisi keruntuhan ($IDR = 10\%$) menurut FEMA 2000, nilai $RSA(T_1)$ yang didapat pada gempa tunggal memerlukan nilai $RSA(T_1)$ yang lebih besar dari pada gempa berulang untuk mencapai kondisi keruntuhan.
 - b. Untuk kondisi mendekati keruntuhan ($IDR = collapse\ prevention\ (CP) = 5\%$, dan *life safety* (LS) = 2,5% menurut FEMA 2000, nilai $RSA(T_1)$ yang didapat gempa berulang selalu memerlukan nilai $RSA(T_1)$ yang lebih besar dari pada gempa tunggal untuk mencapai kondisi mendekati keruntuhan.

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, analisa riwayat waktu non linier struktur gedung hanya ditinjau secara 2 dimensi. Disarankan agar struktur gedung ditinjau secara 3 dimensi.
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

- Atkinson, Gail M., David M. Boore. (2006). Earthquake Ground-Motion Prediction Equations for Eastern North America. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 96, No. 6.
- Budiono, Bambang & Lucky Supriatna. (2011). Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201x. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Bradley, Cameron R., Robert Tremblay, Josh Sizemore, Eric M. Hines (2014). Large-Scale Testing of Low-Ductility, Concentrically-Braced Frames. ResearchGate
- Elnashai, A. S., Bommer, J. J., Martinez-Pereira, A. (1998). Engineering implications of strong-motion records from recent earthquakes. Paper presented at the 11th European Conference on Earthquake Engineering.
- Hatzigeorgiou, G. D., dan Liolios, A. A. (2010). Nonlinier Behaviour Of RC Frames Under Repeated Strong Ground Motions. *Soil Dynamics And Earthquake Engineering*, 30(10), 1010-1025.
- Hsiao, Po-Chien., Dawn E. Lehman & Charles W. Roeder. (2012). Improved analytical model for special concentrically braced frames. *Journal of konstrukctional steel research*, 73, 80-94.
- Hsiao, Po-Chien., Dawn E. Lehman & Charles W. Roeder. (2013). Evaluation of the response modification coefficient and collapse potential of special concentrically braced frames. *The Journal of the International Association for Earthquake Engineering*, 42, 1547-1564.
- Kalkan, E., dan Kunnath, K. (2006). Effects of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response Of Buildings, *Earthquake Spectra*, 22(2)
- Moestopo, M. 2007. Beberapa Ketentuan Baru Mengenai Desain Struktur Baja Tahan Gempa. Seminar dan Pameran HAKI. Jakarta.
- Salmon, Charles G. 1997. Struktur baja : disain dan perilaku, jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- SNI 03-1726:2002
- SNI 03-1729:2002
- SNI 03-1726:2012

Taveriyanto, Arie. (2011). *Bresing yang baik untuk struktur gedung tahan gempa*, Semarang: Universitas Negeri Semarang

Pawirodikromo, W. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar. Yogyakarta.

Putra, Tondi. A., Efrida, Rizki., Pasaribu, Hardianti. M. (2018). Deformasi Struktur Bangunan Rumah Toko Di Medan Akibat Gempa Berulang, 10(1), 14-15.

Well, Donald., K. Coppersmith. 1994. New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 84, No. 4.

LAMPIRAN

A.1. Perhitungan Pembebanan Struktur

Dalam Tugas Akhir ini, jenis pembebanan yang digunakan adalah beban gravitasi. Beban gravitasi dihitung berdasarkan beban hidup dan beban mati yang bekerja pada struktur bangunan kemudian akan dijadikan sebagai beban yang bekerja di pelat lantai pada analisis menggunakan Program Analisa Struktur.

1. Beban Gravity Load Lantai = 97,9 psf = 4,687 kn/m²
2. Beban Gravity Load Rooftop = 93,8 psf = 4,491 kn/m²

A.2. Syarat Periode Struktur

Penentuan periode yang akan digunakan untuk perhitungan gaya geser dasar dan gaya lateral statik ekuivalen adalah berdasarkan SNI 1726:2012.

Data struktur:

- Tinggi lantai bawah : 5,5 m
- Tinggi lantai tipikal : 4 m
- Hn : 37,5 m
- Cu : 1,4
- Ct : 0,0731
- x : 0,75

Tabel L.1: Kontrol periode getar alami struktur Model 1

| SYARAT PERIODA | | | | | |
|----------------|---|---|---------------|---------------|---------|
| Arah | $T_{a_{min}}$ ($C_t \times h_n^x$) | $T_{a_{max}}$ ($C_u \times T_{a_{min}}$) | $T_{sap2000}$ | $T_{dipakai}$ | KONTROL |
| X (R=6) | 0,0731 | 1,4 | 1,73 | 1,73 | OK |

Berdasarkan Tabel L.1, periode alami struktur yang digunakan adalah periode yang didapat dari Program Analisa Struktur.

A.3. Modal Participating Mass Ratios

Tabel L.2: 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>Sum UX</i> |
| Modal | 1 | 1.723 | 0.000 | 0.000 |
| Modal | 2 | 1.421 | 0.982 | 0.837 |
| Modal | 3 | 1.156 | 0.000 | 0.837 |
| Modal | 4 | 1.054 | 0.000 | 0.837 |
| Modal | 5 | 0.952 | 0.224 | 0.989 |
| Modal | 6 | 0.850 | 0.000 | 0.989 |
| Modal | 7 | 0.748 | 0.000 | 0.989 |
| Modal | 8 | 0.646 | 0.057 | 1.000 |
| Modal | 9 | 0.544 | 0.000 | 1.000 |
| Modal | 10 | 0.442 | 0.000 | 1.000 |
| Modal | 11 | 0.340 | 0.000 | 1.000 |
| Modal | 12 | 0.238 | 0.000 | 1.000 |

Tabel L.3: Hasil selisih persentase nilai perioda

| Mode | Persentase (%) | CQC < 15% | SRSS > 15% |
|---------|----------------|-----------|------------|
| T1-T2 | 17.528 | Not ok | Ok |
| T2-T3 | 18.649 | Not ok | Ok |
| T3-T4 | 8.824 | Ok | Not ok |
| T4-T5 | 9.677 | Ok | Not ok |
| T5-T6 | 10.714 | Ok | Not ok |
| T6-T7 | 12.000 | Ok | Not ok |
| T7-T8 | 13.636 | Ok | Not ok |
| T8-T9 | 15.789 | Not ok | Ok |
| T9-T10 | 18.750 | Not ok | Ok |
| T10-T12 | 23.077 | Not ok | Ok |
| T11-T12 | 30.000 | Not ok | Ok |

A.4. Berat Sendiri Struktur

Tabel L.4: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 1).

| <i>Story</i> | <i>Self weight (KN)</i> |
|--------------|-----------------------------|
| 9 | 178.004 |
| 8 | 182.113 |
| 7 | 188.192 |
| 6 | 192.067 |
| 5 | 212.487 |
| 4 | 212.666 |
| 3 | 233.543 |
| 2 | 233.543 |
| 1 | 284.388 |
| TOTAL | 1917.003 |

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa berat total struktur ini adalah 1917.003 KN.

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

Gaya geser dasar yang digunakan untuk menghitung gaya lateral statik ekuivalen ditentukan berdasarkan SNI 1726:2012.

❖ Untuk faktor R=6, Data struktur:

- S_{D1} : 0.6066
- S_{DS} : 1,116
- R : 6
- I_e : 1.00
- S_1 : 0.449

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{1,116}{\left(\frac{6,0}{1}\right)} = 0.186 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Minimum} &= \frac{0,5 \cdot S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,5 \cdot 0,449}{\left(\frac{6,0}{1}\right)} = 0.037 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0.6066}{0,64 \left(\frac{6,0}{1,0}\right)} = 0.157 \end{aligned}$$

Tabel L.5: Nilai Cs yang digunakan (R=6).

| Arah | Cs Maksimum | Cs Hitungan | Cs Minimum | Cs Digunakan |
|------|-------------|-------------|------------|--------------|
| X | 0,186 | 0,157 | 0,037 | 0,157 |

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai $C_{shitungan}$ berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah $C_{shitungan}$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,157 \times 26252,31$$

$$V = 4121,61 \text{ KN}$$

Tabel L.6: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen ($R=6$).

| Lantai | Berat Seismik (W_x) | Tinggi Lantai (hx) | $W_x \cdot h_x^k$ | $\frac{Force}{(\sum W_x \cdot h_x^k)} \times V$ | <i>Story Shear</i> (F_x) |
|--------|-------------------------|--------------------|-------------------|---|------------------------------|
| 9 | 514.025 | 37,5 | 53622.68 | 41.56 | 74.54 |
| 8 | 514.025 | 33,5 | 46055.93 | 35.69 | 110.23 |
| 7 | 514.025 | 29,5 | 38789.61 | 30.06 | 140.29 |
| 6 | 514.025 | 25,5 | 31850.67 | 24.68 | 164.97 |
| 5 | 602.991 | 21,5 | 29647.30 | 22.98 | 187.95 |
| 4 | 691.957 | 17,5 | 25713.48 | 19.93 | 207.88 |
| 3 | 691.957 | 13.5 | 18034.77 | 13.98 | 221.86 |
| 2 | 691.957 | 9.5 | 11109.75 | 8.61 | 230.47 |
| 1 | 762.565 | 5.5 | 5679.57 | 4.40 | 234.87 |
| TOTAL | | | 303058.49 | 234.87 | |

Berdasarkan Tabel L.6, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 2 adalah 234.87 KN.

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

Tabel L.7: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=6.

| <i>Story</i> | V_x | 35% V_x <i>base shear</i> | Kontrol |
|--------------|--------|--------------------------------|-----------|
| 9 | 203.86 | 224.8 | Tidak Oke |
| 8 | 301.48 | 224.8 | Oke |
| 7 | 383.70 | 224.8 | Oke |
| 6 | 451.21 | 224.8 | Oke |
| 5 | 514.05 | 224.8 | Oke |
| 4 | 568.56 | 224.8 | Oke |
| 3 | 606.78 | 224.8 | Oke |
| 2 | 630.33 | 224.8 | Oke |
| 1 | 642.37 | 224.8 | Oke |
| <i>base</i> | 0 | 0 | Oke |

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

Tabel L.8: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x.

| ARAH X | | | | |
|--------|----------------|-------------|------------------------------|-----------|
| STORY | KEKAKUAN TOTAL | Ki/Ki+1 (%) | RATA-RATA KEK. 3TINGKAT (Kr) | Ki/Kr (%) |
| 9 | 16997.60 | 105% | 17030.91 | 110% |
| 8 | 17910.53 | 105% | 18242.55 | 111% |
| 7 | 19819.53 | 111% | 19714.14 | 116% |
| 6 | 21412.37 | 108% | 22026.54 | 117% |
| 5 | 24847.74 | 116% | 25606.77 | 126% |
| 4 | 30560.21 | 123% | 31853.01 | 139% |
| 3 | 40151.08 | 131% | 42857.25 | 157% |
| 2 | 57860.47 | 144% | - | 182% |
| 1 | 43323.53 | 75% | - | 101% |

A.8 Pengaruh Efek P-Delta

Tabel L.9: Pengaruh Efek P-Delta

| ARAH X | | | | | | | | |
|--------|--------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|---------|
| LANTAI | TINGGI | INTER STORY DRIFT | V _u | P _u | I _e | C _d | STABILITY RATIO | CEK < 1 |
| 9 | 32.5 | 0.0057 | 57.85 | 5849.9 | 1 | 5.5 | 0.2599 | OK |
| 8 | 29 | 0.0081 | 85.55 | 8853.9 | 1 | 5.5 | 0.3793 | OK |
| 7 | 25.5 | 0.0103 | 108.87 | 11857.9 | 1 | 5.5 | 0.5103 | OK |
| 6 | 22 | 0.0122 | 128.03 | 14862.0 | 1 | 5.5 | 0.6454 | OK |
| 5 | 18.5 | 0.0128 | 145.86 | 17955.0 | 1 | 5.5 | 0.7146 | OK |
| 4 | 15 | 0.0135 | 161.33 | 21136.9 | 1 | 5.5 | 0.8045 | OK |
| 3 | 11.5 | 0.0137 | 172.17 | 24318.9 | 1 | 5.5 | 0.8821 | OK |
| 2 | 8 | 0.0127 | 178.86 | 27500.8 | 1 | 5.5 | 0.8853 | OK |
| 1 | 4.5 | 0.0096 | 182.27 | 30753.4 | 1 | 5.5 | 0.7348 | OK |



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12
Website : <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail : fatek@umsu.ac.id

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor 2125/AU//11.3/UMSU-07/P/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Sipil tgl 13 Desember 2019 dengan ini Menetapkan :

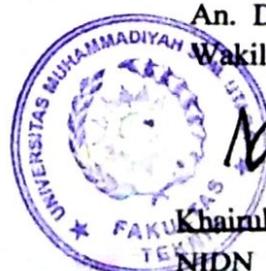
Nama : RIAN AGUSTIAN
Program Studi : TEKNIK Sipil
Npm : 1807210214 p
Semester : III (Tiga)
Judul Tugas Akhir : EVALUASI KERUNTUHAN STRUKTUR SRPM BAJA DENGAN BRACING KONSENTRIK AKIBAT GETARAN GEMPA BERULANG DAN PENGARUH RANGKA BEBAN GRAVITASI
Pembimbing 1 : Dr. ADE FAISAL ST.M.Sc
Pembimbing II : BAMBANG HADIBROTO ST. MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul tugas akhir kurang sesuai dapat diganti oleh dosen pembimbing setelah mendapat Persetujuan dari program studi teknik Sipil
2. penulisan tugas akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) tahun dan tanggal yang telah ditetapkan

Demikian surat penunjukan dosen pembimbing dan menetapkan judul tugas akhir ini
Dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.
Medan, 16 Rabiul Akhir 1441 H
13 Desember 2019 M



An. Dekan
Wakil Dekan 3

Khairul Umurani
Khairul Umurani ST.MT
NIDN : 0114017101

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : RIAN AGUSTIAN
NPM : 1807210214P
JUDUL : "EVALUASI KERUNTUHAN STRUKTUR SRPM BAJA
 DENGAN BRACING KONSENTRIK AKIBAT GETARAN
 GEMPA BERULANG DENGAN PENGARUH RANGKA
 BEBAN GRAVITASI"

| NO | TANGGAL | KETERANGAN | PARAF |
|----|---------|---|-----------------------------|
| | | perbaiki Bab 1 - lengkapi Bab 2 | <i>[Signature]</i> 10/02/20 |
| | | - tambahkan teori CBF dan perpanjangan di Bab 2 | <i>[Signature]</i> 21/03/20 |
| | | - perbaiki Bab 2, isi panduan | |
| | | - masukkan teori SRPM baru | <i>[Signature]</i> 15/04/20 |
| | | - lengkapi ke Bab 3 | |
| | | - perbaiki permodelan Bab 4 - dan lengkapi - analisis linear & non-linear | <i>[Signature]</i> 29/04/20 |
| | | - perbaiki Bab 3 | <i>[Signature]</i> 10/05/20 |

Mengetahui,
Pembimbing Tugas Akhir

(Dr. Ade Faisal, S.T, MSc, PhD)

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : RIAN AGUSTIAN
NPM : 1807210214P
**JUDUL : "EVALUASI KERUNTUHAN STRUKTUR SRPM BAJA
DENGAN BRACING KONSENTRIK AKIBAT GETARAN
GEMPA BERULANG DENGAN PENGARUH RANGKA
BEBAN GRAVITASI"**

| NO | TANGGAL | KETERANGAN | PARAF |
|-----------|----------------|------------------------------|----------------------------------|
| | | <i>all cek seminar Basri</i> | <i>ade faisal</i> 04/20 11 |

Mengetahui,
Pembimbing Tugas Akhir

(Dr. Ade Faisal, S.T, MSc, PhD)



LEMBAR ASISTENSI

NAMA : RIAN AGUSTIAN
NPM : 1807210214P
JUDUL : "EVALUASI KERUNTUHAN STRUKTUR SRPM BAJA
DENGAN BRESSING KONSENTRIK AKIBAT
GETARAN GEMPA BERULANG DAN PENGARUH
RANGKA BEBAN GRAVITASI"

| NO | TANGGAL | KETERANGAN | PARAF |
|----|-----------|--|-------|
| 1 | 15/3-2020 | -> memperbaiki lukisan dan bahasa asing di atas miring. | FM |
| 2 | 21/6-2020 | -> menyiapkan lukisan dari Bulu, jurnal, artikel, dan literatur pada Bab 2 dibuat dalam daftar pustaka | FM |
| 3 | 2/8-2020 | -> memperbaiki judul tabel di sebelah atas dan bawah gambar di sebelah bawah | FM |

Mengetahui,
Pembimbing Tugas Akhir

(Bambang Hadibroto, ST, MT)



LEMBAR ASISTENSI

NAMA : RIAN AGUSTIAN
NPM : 1807210214P
JUDUL : "EVALUASI KERUNTUHAN STRUKTUR SRPM BAJA
DENGAN BRESSING KONSENTRIK AKIBAT
GETARAN GEMPA BERULANG DAN PENGARUH
RANGKA BEBAN GRAVITASI"

| NO | TANGGAL | KETERANGAN | PARAF |
|----|------------|---|-------|
| 4 | 13/10-2020 | → uraikan gambar tabel dan garis minor horizontal dan vertikal di hadapan | |
| 5 | 04/11-2020 | → Acc untuk seminar hari | |

Mengetahui,
Pembimbing Tugas Akhir

(Bambang Hadibroto, ST, MT)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DAFTAR DIRI PESERTA

Nana Lengkap : RIAN AGUSTIAN
Panggilan : RIAN
Tempat/Tanggal Lahir : Panji Mulia 1/ 31 Agustus 1997
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Desa Panji Mulia 1, Kec.Bukit, Kab.Bener Meriah,
Prov. ACEH
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : WARIS
Ibu : WIDIA WATI
No. HP : 082274445567
E-mail : Rianagustian31@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1807210214P
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jln.Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

| No. | Tingkat Pendidikan | Nama dan Tempat |
|-----|--|-------------------------------|
| 1. | Sekolah Dasar | SD NEGERI PANJI MULIA |
| 2. | SMP | SMP NEGERI 3 BUKIT |
| 3. | SMA | SMK NEGERI 1 BENER MERIAH |
| 4. | D-III | POLITEKNIK NEGERI LHOKSEUMAWE |
| 5. | Melanjutkan Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2018 | |