

**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI DEFORMASI STRUKTUR KOMPOSIT SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) AKIBAT  
GEMPA BERULANG MENGGUNAKAN METODE IDA  
(Studi Literatur)**

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

**Disusun Oleh:**

**NUR AZIZA ULFA NASUTION**

**1907210179P**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
2022**

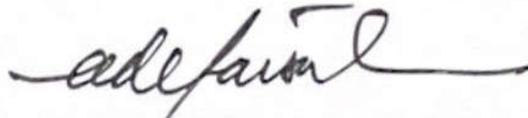
## LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Nur Aziza Ulfa Nasution  
NPM : 1907210179P  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Evaluasi Deformasi Struktur Komposit Sistem Rangka  
Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Akibat Gempa Berulang  
Menggunakan Metode Ida (Studi Literatur).  
Bidang ilmu : Struktur

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA

Panitia Ujian

Dosen Pembimbing



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

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Nur Aziza Ulfa Nasution  
NPM : 1907210179P  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Evaluasi Deformasi Struktur Komposit Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Akibat Gempa Berulang Menggunakan Metode IDA (Studi Literatur).  
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, 07 Februari 2022

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



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

Dosen Pembanding I



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

Dosen Penguji II



Sri Prafanti, ST., M.T

Ketua Prodi Teknik Sipil



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

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Aziza Ulfa Nasution  
Tempat/Tanggal Lahir : Rantau Prapat /20 Oktober 1997  
NPM : 1907210179P  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:“ Evaluasi Deformasi Struktur Komposit Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Akibat Gempa Berulang Menggunakan Metode Ida (Studi Literatur).”

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 orisinal dan otentik.

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

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

Medan, 07 Februari 2022  
Saya yang menyatakan,



Nur Aziza Ulfa Nasution

## ABSTRAK

### **EVALUASI DEFORMASI STRUKTUR KOMPOSIT SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) AKIBAT GEMPA BERULANG MENGGUNAKAN METODE IDA (Studi Literatur)**

Nur Aziza Ulfa Nasution  
1907210179P  
Ade Faisal, S.T, M.Sc., PhD

Penggunaan material komposit untuk konstruksi bangunan bisa mengurangi risiko bangunan roboh saat diguncang gempa bumi dikarenakan tingkat fleksibilitasnya yang cukup tinggi. Indonesia khususnya Kota Banda Aceh merupakan wilayah yang rentan jika terjadi gempa, sehingga bangunan bertingkat dapat mengalami kehancuran. Oleh karena itu perlu dilakukan melalui analisa kinerja keruntuhan untuk mengetahui kapasitas struktur tersebut. Di dalam tugas akhir dilakukan pemodelan struktur dengan 2 jenis pemodelan yaitu, pemodelan 4 lantai bentang 10.98 m dan pemodelan 6 lantai bentang 10.98 m. Analisa yang digunakan adalah Respon Spektrum sebagai tahap desain dan Respon Riwayat Waktu Linear dan Nonlinear sebagai tahap evaluasi, dengan alat bantu software analisa struktur dan RUAUMOKO2D versi 04. Pada struktur bangunan akan dikenakan 2 respon gempa berulang. Hasil analisa pada pemodelan Struktur komposit sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) yang berupa kurva IDA. Dari hasil analisa Model 1 akan mengalami  $IDR_{max}$  pada  $RSA(T1) = 0.55$  g oleh gempa MQX1. Sedangkan model 2 pada  $RSA(T1) = 0.35$  g oleh gempa MQX1.

Kata kunci: Gempa bumi, gempa berulang, kinerja keruntuhan, IDA.

## **ABSTRACT**

### **EVALUATION OF THE DEFORMATION OF THE SPECIAL MOMENT RESISTANCE FRAME SYSTEM COMPOSITE STRUCTURE (SRPMK) DUE TO REPEAT EARTHQUAKES USING IDA METHOD (Study of literature)**

Nur Aziza Ulfa Nasution  
1907210179P  
Ade Faisal, S.T, M.Sc., PhD

*The use of composite materials for building construction can reduce the risk of buildings collapsing when shaken by an earthquake due to their high level of flexibility. Indonesia, especially the city of Banda Aceh, is a vulnerable area in the event of an earthquake, so that high-rise buildings can be destroyed. Therefore, it is necessary to conduct a failure performance analysis to determine the capacity of the structure. In the final project, structural modeling is carried out with 2 types of modeling, namely, modeling 4 floors spanning 10.98 m and modeling 6 floors spanning 10.98 m. The analysis used is Spectrum Response as the design stage and Linear and Nonlinear Time History Response as the evaluation stage, with structural analysis software tools and RUAUMOKO2D version 04. The structure of the building will be subject to 2 repeated earthquake responses. The results of the analysis on the modeling of the composite structure of the special moment resisting frame system (SRPMK) in the form of an IDA curve. From the modeling of 6 floors requires the smallest RSA to experience collapse compared to modeling 4 floors. As a result, the 6-storey modeling has a very vulnerable collapse performance compared to the 4-storey modeling. From the analysis results Model 1 will experience IDR<sub>max</sub> at RSA (T1) = 0.55 g by the MQX1 earthquake. While model 2 at RSA (T1) = 0.35 g by the MQX1 earthquake.*

*Keywords: Earthquakes, repeated earthquakes, collapse performance, IDA.*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran 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 Deformasi Struktur Komposit Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Akibat Gempa Berulang Menggunakan Metode Ida” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

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

1. Bapak Ade Faisal, S.T, M.Sc., PhD selaku Dosen Pembimbing dan Penguji sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Sri Prapanti S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
6. Orang tua penulis Bapak Drs. Yusfik Helmi Nasution M.Pd dan Ibu Arwina Fauziah Lubis, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis serta kakak penulis Nur Izdihar Ulfa Nasution S.St yang telah memotivasi selama ini.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Sahabat-sahabat penulis yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu, yang telah membantu dan memotivasi Penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir ini.

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, 07 Februari 2022

Nur Aziza Ulfa Nasution

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Umum	6
2.2 Pengertian Gempa	6
2.3 <i>Ground Motion</i> ( Getaran Tanah)	7
2.4 Respon Spektrum	7
2.5 Struktur Komposit	8
2.5.1 Balok Komposit	9
2.5.2 Kolom Komposit	11
2.6 SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)	12
2.7 Gempa Berulang	12
2.8 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:201913	13

2.9 Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa	13
2.10 <i>Incremental Dynamic Analysis</i> (IDA)	14
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>15</b>
3.1 Umum	15
3.2 Pemodelan Struktur	16
3.2.1 Data Perencanaan Struktur	16
3.2.2 Konfigurasi Bangunan	17
3.2.3 Dimensi Elemen Balok dan Kolom	18
3.3 Analisa Dinamik Struktur Linear	19
3.3.1 Pembebanan	19
3.3.2 Respons Spektrum Desain	20
3.3.3 Kombinasi Pembebanan	22
3.4 Metode Perhitungan Kuat Perlu Struktur Komposit	24
3.5 Analisa Dinamik Struktur Non Linear	25
3.5.1 Ground Motion Records (Data Rekaman Gempa)	25
3.5.2 Analisis Respons Riwayat Waktu	27
3.5.3 Momen Leleh ( $M_y$ )	28
3.5.4 Kapasitas Rotasi ( $\theta_p$ )	29
3.5.5 Rotasi Leleh ( $\theta_y$ )	29
3.5.6 Panel Zone	29
3.5.7 Diagram Interaksi Kolom	31
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>34</b>
4.1 Hasil Model Linier Dan Nonlinier	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 Simpanngan Antar Tingkat	36
4.2.5 Nilai Simpangan Gedung	36
4.2.6 Pengaruh Efek P-Delta	36
4.2.7 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)	37
4.3 Hasil Analisa Non Linier	37

4.3.1 <i>Incremental Dynamic Analysis (IDA)</i>	37
BAB 5 KESIMPULAN	42
5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1: Komponen Struktural Bangunan.	19
Tabel 3.2: Berat Material Konstruksi Berdasarkan PPPURG 1987.	19
Tabel 3.3: Beban Hidup Pada Lantai dan Atap Struktur Berdasarkan SNI	20
Tabel 3.4: Kombinasi Pembebanan Berdasarkan SNI 1726:2019	22
Tabel 3.5: Kombinasi Pembebanan Berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai $\rho = 1.3$ , $SDS = 0.826$ g	23
Tabel 3.6: Rekaman gempa utama ( <i>Main Shock</i> ).	26
Tabel 3.7: Rekaman gempa utama ( <i>After Shock</i> ).	26
Tabel 4.1: Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen (V1) dan Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum output Program Analisa Struktur Vt.	35
Tabel 4.2: Nilai Vt arah X	36

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1: Gaya momen dan gaya geser yang terjadi pada pertemuan balok dan kolom.	1
Gambar 2.1: Respon spektrum percepatan gempa berulang pada rekaman gempa <i>Whittier Narrows</i> .	8
Gambar 2.2: Lendutan pada balok non-komposit.	9
Gambar 2.3: Lendutan pada Balok Komposit.	9
Gambar 2.4: (a) Balok dengan penghubung geser, dan (b) Balok baja diberi selubung beton.	10
Gambar 2.5: (a) Balok komposit dengan deck (alur gelombang sejajar sumbu balok), dan (b) Balok komposit tanpa deck (alur gelombang tegak lurus sumbu balok).	10
Gambar 2.6 : (a) Profil Baja Berselubung beton profil WF (a) dan (b) Profil Baja Berselubung beton profil king cross.	11
Gambar 2.7: (a) Profil baja berintikan beton penampang bundar dan (b) Profil baja berintikan beton penampang persegi.	11
Gambar 2.8: Kurva IDA .	14
Gambar 2.9: (a) Profil Baja Berselubung beton profil WF (a) dan (b) Profil Baja Berselubung beton profil king cross	12
Gambar 3.1: Bagan alir penelitian	15
Gambar 3.2: a) Denah struktur model 1 , b) Proyeksi bangunan model 1.	17
Gambar 3.3: a) Denah struktur model 2 , b) Proyeksi bangunan model 2 .	18
Gambar 3.4: a) Respon spektrum untuk kelas situs SC, b) Respons spektrum untuk kelas situs SA.	22
Gambar 3.5: Diagram interaksi P-M untuk balok-kolom komposit	33
Gambar 4.1: Grafik kurva IDA pemodelan bangunan 4 lantai terhadap gempa berulang MQX1.	38
Gambar 4.2: Grafik kurva IDA pemodelan bangunan 4 lantai terhadap gempa berulang MQX2.	38
Gambar 4.3: Grafik kurva IDA pemodelan bangunan 4 lantai terhadap gempa berulang MQX3.	39
Gambar 4.4: Grafik kurva IDA pemodelan bangunan 6 lantai terhadap gempa berulang MQX1.	39

Gambar 4.5: Grafik kurva IDA pemodelan bangunan 6 lantai terhadap gempa berulang MQX2.	40
Gambar 4.6: Grafik kurva IDA pemodelan bangunan 6 lantai terhadap gempa berulang MQX3.	40
Gambar 4.7: Grafik kurva IDA terhadap 3 gempa berulang pada Model 1	41
Gambar 4.8: Grafik kurva IDA terhadap 3 gempa berulang pada Model 1	41

## DAFTAR NOTASI

$C_d$	= Faktor pembesaran simpangan lateral
$C_s$	= Koefisien respons seismik
$C_u$	= Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung
DL	= Beban mati, termasuk SIDL
E	= Pengaruh beban seismik horizontal dan vertikal
E	= Modulus elastisitas
$E_h$	= Pengaruh gaya seismik horizontal
$E_v$	= Pengaruh gaya seismik vertikal
$E_x$	= Beban gempa arah x
$E_y$	= Beban gempa arah y
F	= Frekuensi Struktur
$F_a$	= Koefisien situs untuk periode pendek yaitu pada periode 0.2 detik
$F_{PGA}$	= Nilai Koefisien situs untuk PGA
$F_v$	= Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik)
g	= Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
h	= Tinggi rata-rata Struktur diukur dari dasar hingga level atap
$h_n$	= Ketinggian struktur dalam m di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur
$h_{sx}$	= Tinggi tingkat di bawah level-x
I	= Momen Inersia kolom/balok
$I_e$	= Faktor keutamaan gempa
Kf	= Kekakuan geser dari dua sayap kolom
Kw	= Kekakuan geser dari dua badan kolom
l	= Panjang kolom/balok
LL	= Beban hidup
$M_c$	= Momen puncak
$M_u$	= Momen ultimit
$M_y$	= Momen leleh

$P$	= Gaya aksial kolom
$PGA$	= Nilai PGA dibatuan dasar (SB) mengacu pada peta gempa
$Q_E$	= Pengaruh gaya seismik horizontal dari $V$
$R$	= Faktor Koefisien modifikasi respon
$S_1$	= Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik
$S_a$	= Respons spektra percepatan
$S_{D1}$	= Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik
$S_{DS}$	= Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek
$S_S$	= Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa
$T$	= Periode fundamental bangunan
$T_a$	= Periode fundamental pendekatan
$T_{maksimum}$	= Nilai batas atas periode bangunan
$T_{minimum}$	= Nilai batas bawah periode bangunan
$V$	= Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekuivalen
$V_t$	= Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respon yang telah dilakukan
$V_{wy}$	= Kekuatan geser leleh pada badan kolom
$V_{fy}$	= Kekuatan geser leleh pada sayap kolom
$V_{su}$	= Kekuatan geser ultimate
$W$	= Berat seismik efektif bangunan
$\epsilon$	= Total tegangan yang terjadi
$\epsilon_y$	= Tegangan pada saat leleh
$\gamma_{wy}$	= Regangan leleh pada badan kolom
$\gamma_{fy}$	= Regangan leleh pada sayap kolom
$\mu_p$	= Lendutan pada titik plastis
$\mu_y$	= Lendutan pada titik leleh
$\Delta$	= Simpangan antar tingkat desain
$\Delta_a$	= Simpangan antar tingkat yang dizinkan
$\delta_x$	= Defleksi pusat massa di tingkat $x$
$\delta_{xe}$	= Defleksi pada lokasi yang ditentukan dengan analisis elastik
$\theta$	= Koefisien stabilitas untuk pengaruh P-Delta
$\theta_p$	= Koefisien Rotasi plastis

$\theta_{pc}$	= Koefisien Rotasi pasca puncak
$\theta_u$	= Rotasi pada batas ultimit
$\theta_y$	= Rotasi pada saat leleh
$\rho$	= Faktor redundansi struktur
$\omega$	= Kecepatan sudut
$\Omega_0$	= Faktor kuat lebih siste

## DAFTAR SINGKATAN

CFT	= <i>Concrete filled tube</i>
CQC	= <i>Complete Quadratic Combination</i>
HSS	= <i>Hollow structural Section</i>
PEER	= <i>Pacific Earthquake Engineering Research</i>
PGA	= <i>Peak Ground Acceleration</i>
PPPURG	= Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung
RCA	= <i>Recycled Coarse Aggregate</i>
RCFST	= <i>Recycled Concrete Filled Steel Tube</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SRC	= <i>Steel Reinforced Concrete</i>
SRPMK	= Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
SRSS	= <i>Square Root of the Sum of Square</i>
WF	= <i>Wide Flange</i>

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Gempa bumi merupakan bencana alam yang sewaktu-waktu dapat terjadi tanpa dapat diprediksi. Getaran yang terjadi akibat gempa dapat merusak struktur bangunan dan menyebabkan banyak korban jiwa akibat kerusakan struktur tersebut. Untuk mengurangi resiko bencana yang terjadi maka diperlukan sebuah konstruksi bangunan yang tahan akan guncangan gempa. Untuk mengatasi masalah struktur bangunan yang rentan terhadap gaya lateral, gedung harus dirancang dengan kekakuan yang cukup baik dan bahan yang sangat baik pula. Penggunaan material baja untuk konstruksi bangunan bisa mengurangi risiko bangunan roboh saat diguncang gempa bumi dikarenakan tingkat fleksibilitasnya yang cukup tinggi dibandingkan material beton. Deformasi yang terjadi terus- menerus sampai titik kritisnya akan menyebabkan robek pada komponen non struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi penghuni bangunan dapat menyelamatkan diri.

Indonesia menjadi wilayah yang rawan terjadi gempa, oleh karena itu diperlukan desain khusus untuk bangunan di Indonesia yang mampu menahan gaya gempa yang terjadi. Salah satunya adalah sistem rangka baja dan beton komposit dimana penggunaan strukturnya sudah banyak berkembang di berbagai negara maju seperti Jepang dan Cina. Akan tetapi, di Indonesia struktur komposit masih kurang dalam penggunaannya pada bangunan bertingkat sehingga faktor tersebut menjadi salah satu latar belakang dari penelitian ini. Selain itu, apabila peraturan antara SNI 03-1729-2002 dengan SNI 1729:2015 dibandingkan satu dengan yang lain tentu sudah banyak revisi mengenai aturan struktur komposit didalamnya. Oleh karena itu, penelitian ini mengevaluasi kinerja suatu bangunan struktur komposit dengan memperhitungkan gaya gempa di Indonesia yang didesain berdasarkan SNI 1729:2015 untuk spesifikasi struktur kompositnya, sedangkan untuk aturan desain gempa menggunakan SNI 1726:2012. Struktur komposit yang digunakan adalah

balok komposit yang menggunakan kombinasi pelat beton dan profil baja yang akan bekerja sebagai satu kesatuan dengan adanya penggunaan stud shear connector, kemudian pada kolom digunakan profil baja yang terbungkus dengan struktur beton. Setelah desain kapasitas tersebut memenuhi aturan SNI 1729:2015 dilakukan perhitungan analisa dinamis time history nonlinier dan hasilnya akan dievaluasi dengan Performace Based Design.

Perencanaan komposit memiliki beberapa keuntungan seperti:

1. Penghematan berat baja
2. Penampang balok baja dapat lebih rendah
3. Kekakuan lantai meningkat
4. Panjang bentang untuk batang tertentu dapat lebih besar
5. Kapasitas pemikul beban meningkat

Sebagai bahan studi perencanaan, stuktur baja beton komposit akan dijadikan struktur utama dalam perencanaan struktur bangunan gedung yaitu pada perencanaan ini dipilih gedung perkantoran 4 lantai dan 6 lantai. Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka penulis tertarik untuk membuat judul Tugas Akhir dengan judul “Evaluasi Deformasi Struktur Komposit Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Akibat Gempa Berulang Menggunakan Metode Ida .”

## **1.2 Rumusan Masalah**

Bagaimana pengaruh gempa berulang terhadap kinerja keruntuhan (Kurva *Incremental Dynamic Analysis*) pada struktur komposit SRPMK?

## **1.3 Ruang Lingkup**

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

1. Struktur bangunan yang direncanakan merupakan:
  - a. Struktur komposit Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) 2 dimensi pada 6 lantai dan 4 lantai yang difungsikan sebagai bangunan perkantoran yang terdapat di daerah Banda Aceh dengan jenis tanah batuan keras (SA) dan tanah keras (SC)
  - b. Struktur dengan dimensi kolom dan balok yang hanya dianalisa pada batas aman saja, tidak dianalisa sampai ekonomis.

2. Perencanaan struktur komposit, pembebanan serta gedung direncanakan berdasarkan:
  - a. Tata cara perencanaan bangunan gedung baja struktural berdasarkan SNI 1729:2020.
  - b. Tata cara perencanaan beton struktural untuk bangunan gedung berdasarkan SNI 2847:2019.
  - c. Spesifikasi baja tulangan beton berdasarkan SNI 2052:2017.
  - d. Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung berdasarkan SNI 1727:2013.
  - e. Beban gempa untuk gedung direncanakan menggunakan Standar Perencanaan Tahan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726:2019
3. Analisis menggunakan alat bantu berupa program yaitu:
  - a. Program Analisa Struktur, untuk menganalisa tahap desain (Analisa Respon Spektrum Linear).
  - b. PEER NGA, dan PUSKIM PUPR 2019 untuk mendapatkan rekaman gempa.
  - c. SEISMOSIGNAL, untuk mengubah ground motion menjadi Respon Spektrum.
  - d. MATLAB versi 07, untuk menskalakan groundmotion.
  - e. RUAOMOKO2D versi 04, untuk menganalisa tahap evaluasi (Analisa Riwayat Waktu *Non-linear*) yang hanya ditinjau secara 2 dimensi.
4. Parameter yang ditinjau
  - a. Linear adalah semua aspek yang harus dikontrol sesuai dengan SNI 1726:2019
  - b. Nonlinear : - Kurva Incremental Dynamic Analysis(IDA).

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui pengaruh gempa berulang terhadap kinerja keruntuhan (Kurva *Incremental Dynamic Analysis*) pada struktur komposit SRPMK.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dari hasil perencanaan pada pemodelan Struktur Komposit dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) maka diharapkan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat untuk mengetahui bagaimana cara merencanakan struktur gedung komposit dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan untuk mengetahui pengaruh gempa berulang terhadap kinerja keruntuhan (*Kurva Incremental Dynamic Analysis*) pada struktur komposit SRPMK.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

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

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

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

#### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

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 3 METODE PENELITIAN**

Bab ini akan menampilkan bagaimana metode 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

#### BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

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

#### BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

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

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Pada Bab ini akan dibahas mengenai teori-teori dasar dan syarat-syarat atau ketentuan yang berhubungan dalam perencanaan struktur bangunan yang akan dianalisa, seperti struktur komposit, teori gempa, sistem struktur penahan gempa, tata cara perencanaan bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726:2019 dan teori-teori terkait lainnya yang berhubungan dengan perhitungan atau analisa data yang diperlukan dalam tugas akhir ini.

#### **2.2 Pengertian Gempa**

Gempa bumi (*earth quake*) adalah suatu gejala fisik yang ditandai dengan bergetarnya bumi dengan berbagai intensitas (Siswanto dan Afif, 2018). Getaran gempa dapat disebabkan oleh banyak hal antara lain peristiwa vulkanik, yaitu getaran tanah yang disebabkan oleh aktivitas desakan magma ke permukaan bumi atau meletusnya gunung berapi. Gempa yang terjadi akibat aktivitas vulkanik ini disebut gempa vulkanik. Gempa vulkanik terjadi di daerah sekitar aktivitas gunung berapi dan akan menyebabkan mekanisme patahan yang sama dengan gempa tektonik.

Gerakan atau getaran tanah yang terjadi akibat gempa disebabkan oleh terlepasnya timbunan energi yang tersimpan di dalam bumi secara tiba-tiba. Energi yang terlepas ini dapat berbentuk energi potensial, energi kinetik, energi kimia, atau energi regangan elastis. Pada umumnya gempa-gempa yang merusak lebih banyak diakibatkan oleh terlepasnya energi regangan elastis di dalam batuan (*rock*) di bawah permukaan bumi. Energi gempa ini merambat ke segala arah, dan juga ke permukaan tanah sebagai gelombang gempa (*seismic wave*), sehingga akan menyebabkan permukaan bumi bergetar. Sifat merusak dari suatu gempa tergantung dari besarnya *magnitude* dan lamanya gempa, serta banyaknya getaran yang terjadi. Perencanaan konfigurasi struktur bangunan dan jenis material yang digunakan pada konstruksi bangunan, juga akan berpengaruh terhadap banyaknya kerusakan struktur bangunan.

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

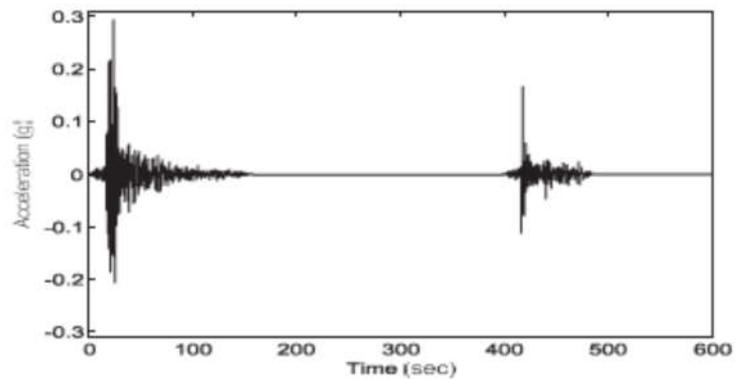
*Ground motion* adalah pergerakan permukaan bumi yang diakibatkan adanya gempa atau ledakan. Di dalam ilmu teknik gempa, *ground motion* juga populer dengan sebutan *strong motion* untuk lebih menekankan pada percepatan tanah akibat gempa daripada respon-respon tanah yang lain. Pada umumnya, pengertian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

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

### 2.4 Respon Spektrum

Menurut teori dinamika struktur (*structural dynamics*) salah satu cara untuk menentukan atau menghitung simpangan, gaya-gaya dinamik pada struktur derajat kebebasan banyak (*Multi Degree of Freedom, MDOF*) adalah dengan menggunakan metode respons spektrum. Respon spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik atau plot antara periode getar struktur  $T$ , lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu (Pawirodikromo, 2012). Respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*Spectral Displacement, SD*), kecepatan maksimum (*Spectral Velocity, SV*) atau percepatan maksimum (*Spectral Acceleration, SA*) suatu massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*Single Degree of Freedom, SDOF*). Terdapat 2 macam respon spektrum yang ada yaitu respon spektrum elastik dan respon spektrum inelastik. Respons spektrum elastik adalah suatu spektrum yang didasarkan atas respons elastik struktur dengan derajat kebebasan tunggal (SDOF) berdasarkan rasio redaman dan beban gempa tertentu.

Inelastik Respons Spektrum juga disebut desain Respons Spektrum, yaitu spektrum yang diturunkan berdasarkan *elastic respons spectrum* dengan tingkat daktilitas tertentu.



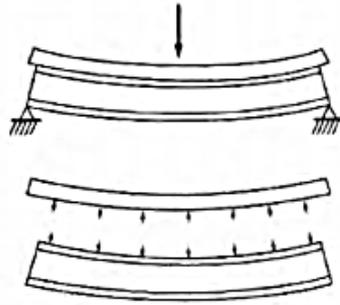
Gambar 2.1: Respon spektrum percepatan gempa berulang pada rekaman gempa *Whittier Narrows* (LA-116 St.School Station) (Amiri, 2019).

Gambar 2.1 merupakan respon spektrum percepatan (*Respon Spectrum Acceleration*) pada rekaman gempa *Whittier Narrows* yang direkam oleh stasiun LA-116 St.School Station. Data tersebut merupakan data asli dari gempa tersebut sebelum di olah menjadi respon spektrum desain untuk melakukan desain perencanaan suatu bangunan (Amiri, 2019).

## 2.5 Struktur Komposit

Batang komposit adalah batang yang terdiri dari profil baja dan beton yang digabung bersama dan memikul beban tekan atau lentur. Batang yang memikul beban lentur umumnya disebut dengan balok komposit. Sedangkan batang yang memikul beban tekan umumnya disebut dengan kolom komposit. Aksi komposit timbul bila dua batang struktur pemikul beban seperti konstruksi lantai beton dan lantai baja penyanggah disambung secara integral dan meleleh secara satu kesatuan (Salmon & Johnson, 2009).

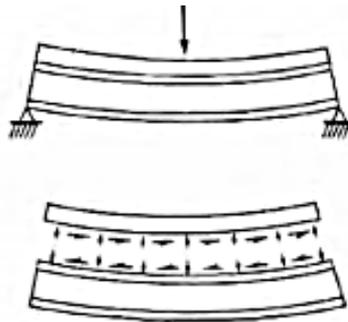
1. Balok non-komposit yang melendut
  - a. Balok dan pelat masing-masing memikul suatu bagian beban secara terpisah
  - b. Bila pelat mengalami deformasi akibat beban vertikal, permukaan bawahnya akan tertarik dan memanjang sedangkan permukaan balok tertekan dan memendek.
  - c. Hanya gaya dalam vertikal yang berkerja antara pelat dan balok.



Gambar 2. 2: Lendutan pada balok non-komposit.

2. Balok komposit yang melendut

- a. Balok dan pelat memikul suatu bagian beban secara bersamaan.
- b. Gaya horizontal (geser) timbul dan bekerja pada permukaan bawah pelat sehingga pelat tertekan dan memendek, dan pada saat yang sama gaya horizontal bekerja diatas permukaan balok sehingga balok memanjang.



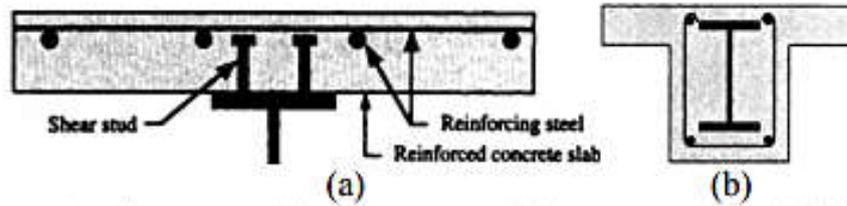
Gambar 2. 3: Lendutan pada Balok Komposit.

Pada dasarnya aksi komposit pada balok komposit dapat tercapai atau tidaknya tergantung dari penghubung gesernya. Biasanya penghubung geser diletakkan di sayap atas profil baja. Hal ini bertujuan untuk mengurangi terjadinya slip antara pelat beton dengan balok baja (Qing Quan Liang, 2004).

**2.5.1 Balok Komposit**

Balok adalah salah satu diantara elemen struktur yang paling banyak dijumpai pada setiap struktur. Balok adalah elemen struktur yang memikul beban yang berkerja tegak lurus dengan sumbu longitudinalnya (Spiegel & Limbrunner, 1998). Ada dua tipe dari balok komposit, antara lain sebagai berikut :

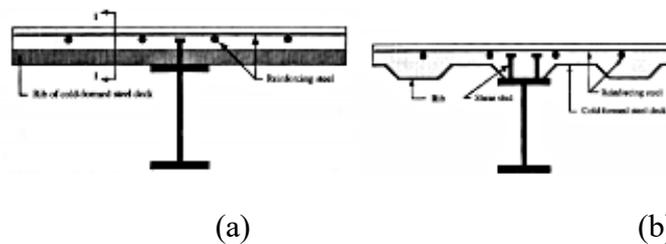
- a. Balok komposit dengan penghubung geser.
- b. Balok baja yang diberi selubung beton.



Gambar 2. 4: (a) Balok dengan penghubung geser, dan (b) Balok baja diberi selubung beton.

Balok komposit dengan penghubung geser dibagi menjadi dua macam, yaitu :

- a. Balok komposit tanpa deck
- b. Balok komposit dengan deck



Gambar 2. 5: (a) Balok komposit dengan deck (alur gelombang sejajar sumbu balok), dan (b) Balok komposit tanpa deck (alur gelombang tegak lurus sumbu balok).

Aksi komponen terbentuk dengan adanya transfer geser antara pelat beton dan balok baja yang dapat terjadi melalui :

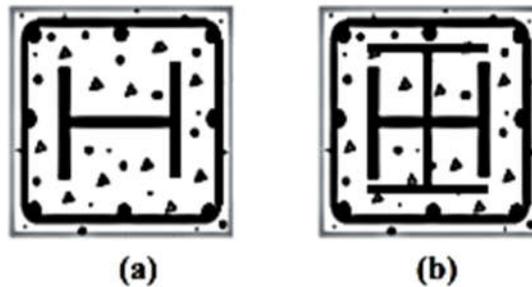
- a. Mekanisme interlocking antara penghubung geser mekanis dan pelat beton.
- b. Mekanisme lekatan dan friksi di sepanjang permukaan atas profil baja yang terkekang di dalam beton dan mekanisme tahanan geser pada bidang antara pelat beton dan selubung beton di sekitar profil baja.

## 2.5.2 Kolom Komposit

Ada dua tipe kolom komposit, yaitu:

- a. Kolom baja terselubung beton

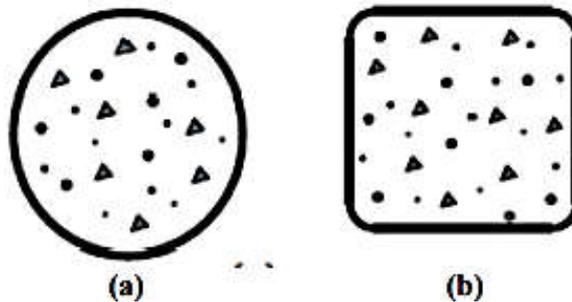
Kolom baja terselubung beton adalah kolom komposit terbiat dari profil baja yang diberi selubung beton di sekelilingnya.



Gambar 2. 6: (a) Profil Baja Berselubung beton profil WF (a) dan (b) Profil Baja Berselubung beton profil king cross.

b. Kolom baja berintikan beton

Kolom baja berintikan beton adalah kolom komposit yang terdiri dari penampang baja berongga yang berisi beton.



Gambar 2. 7:(a) Profil baja berintikan beton penampang bundar dan (b) Profil baja berintikan beton penampang persegi.

Pada kolom baja berselubung terdapat penambahan beton yang dapat menunda terjadinya kegagalan *local buckling* pada profil baja, ketahanan terhadap api dan korosi lebih baik dibandingkan kolom baja biasa.

Kemampuan kolom komposit memikul beban aksial dan lentur lebih besar dibandingkan kolom beton bertulang, sementara itu material baja disini berfungsi sebagai penahan beban yang terjadi setelah beton gagal. Keuntungan diatas didapat karena terlindungnya profil baja oleh beton bertulang yang menyelimutinya. Sedangkan untuk kolom baja berintikan beton, kehadiran material baja dapat

meningkatkan kekuatan dari beton serta beton dapat menghalangi terjadinya *local buckling* pada baja (Ruddy Jhon L, 2005).

### **2.5.3 Deformasi Baja**

Deformasi baja terjadi bila Deformasi plastis pada baja adalah perubahan bentuk yang terjadi pada baja secara permanen, walaupun beban yang berkerja pada baja ditiadakan. Dalam deformasi plastis terjadi perubahan bentuk, posisi dan dimensi dari baja, deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada baja secara absolut maupun relatif. Dalam pemilihan bahan untuk produk, perancang harus memperhatikan sifat mekanik baja seperti kekuatan, keuletan dan kekerasan . Sifat mekanik baja didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bahan untuk membawa atau menahan gaya atau tegangan. Deformasi yang bersifat permanen jika bebannya dilepas. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*).

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

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

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

### **2.7 Gempa Berulang**

Studi-studi tentang 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; Zhai dkk., 2015). Hal yang sama juga dijelaskan oleh Hatzigeorgiou and Liolios (2010) dan Faisal dkk. (2012) dimana berbagai jenis bangunan bertingkat yang dimodelkan

mengalami gempa berulang akan mengalami kerusakan yang lebih banyak dibanding bila mengalami gempa tunggal.

## **2.8 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019**

Perencanaan suatu konstruksi gedung harus memperhatikan aspek kegempaan, terutama di Indonesia karena merupakan salah satu daerah dengan zona gempa yang tinggi. Aspek kegempaan tersebut dianalisis berdasarkan peraturan yang berlaku di negara tersebut dan Indonesia memiliki peraturan sendiri dan peta gempanya. Peraturan yang digunakan pada penelitian ini ialah SNI 1726:2019 yang merupakan revisi dari SNI 03-1726-2012. Dimana terdapat perubahan dalam penentuan koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  serta perubahan nilai  $S_S$  dan  $S_1$  yang ada di beberapa kota di Indonesia. Dalam hal ini, tata cara perencanaan bangunan gedung tahan gempa menjadi lebih rasional dan akurat.

## **2.9 Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa**

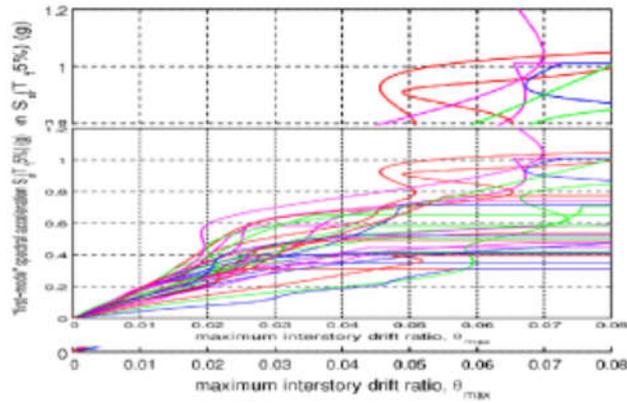
Prosedur analisis yang paling sederhana dan yang langsung dapat digunakan untuk menentukan pengaruh dari beban gempa terhadap struktur bangunan adalah prosedur analisis statik. Analisis statik hanya boleh dilakukan untuk struktur-struktur bangunan dengan bentuk yang sederhana dan beraturan atau simetris, yang tidak menunjukkan perbandingan yang menyolok dalam perbandingan antara berat dan kekakuan pada tingkat-tingkatnya (Siswanto, 2018). Prosedur analisis statik ini hanyalah suatu cara pendekatan yang menirukan pengaruh dinamik dari beban gempa yang sesungguhnya. Untuk struktur-struktur bangunan gedung lainnya yang tidak begitu mudah untuk diperkirakan perilakunya terhadap pengaruh gempa (struktur dengan bentuk yang tidak beraturan), harus di analisis dengan prosedur analisis dinamik. Struktur-struktur bangunan yang beraturan, dapat juga dianalisis dengan prosedur analisis dinamik jika diinginkan.

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

*Incremental Dynamic Analysis* (IDA) merupakan metode analisis komputasi beban gempa untuk melakukan penilaian menyeluruh terhadap perilaku struktur dibawah beban gempa. Metode ini digunakan untuk membangun hasil analisis

bahaya seismik probabilistik untuk memperkirakan resiko seismik yang dihadapi oleh struktur (Faisal,2019).

IDA melibatkan beberapa analisis riwayat waktu nonlinier terhadap model struktural di bawah rangkaian catatan gerak tanah berdasarkan tingkat intensitas seismik yang berbeda. Untuk membuat analisis IDA diperlukan nilai IDR *max* yaitu adalah rasio *interstory drift ratio* dibagi dengan tinggi lantai, yang dimana nilai IDR *max* tersebut di sandingkan dengan nilai RSA (*Respon Spektrum Acceleration*).

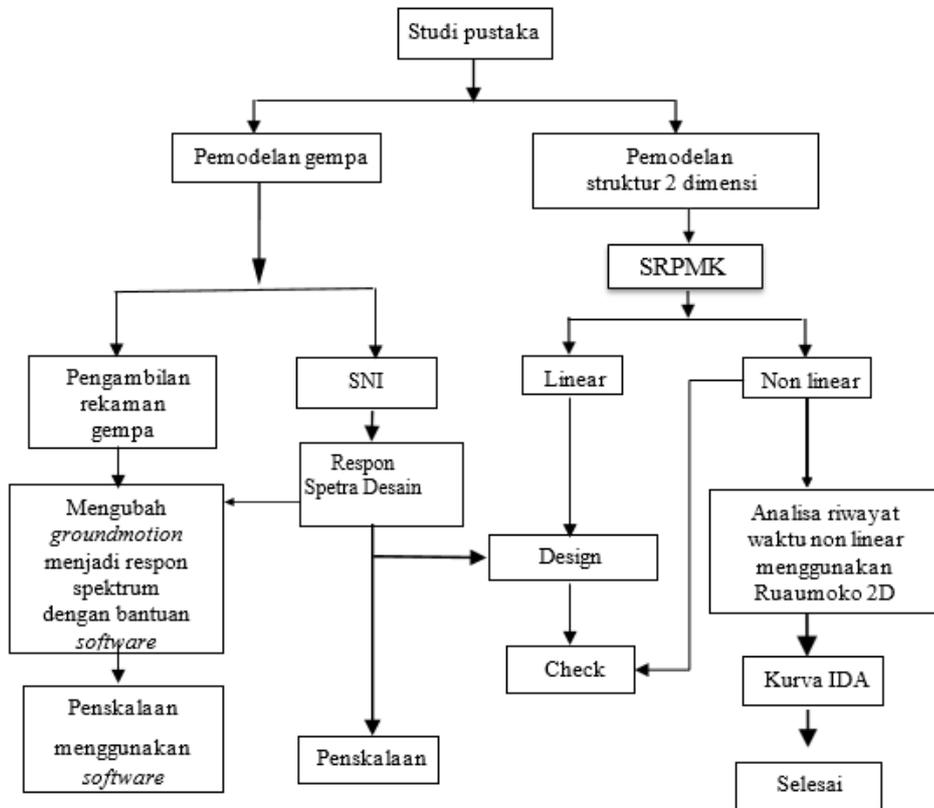


Gambar 2.8: Kurva IDA (Vamvatsikos 2011).

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Umum

Bab ini berisi tentang pemodelan struktur yang direncanakan. Struktur dianalisis menggunakan 2 *software* bantuan, yaitu Program Analisa Struktur, dan RUAUMOKO2D versi 04. 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 2 model, setiap modelnya menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Kedua model bangunan tersebut dianalisis secara Linear dan NonLinear dengan menggunakan Metode Analisis Respon Spektrum (Response Spectrum Analysis) dengan menggunakan Program

Analisa Struktur serta Analisis Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) dengan menggunakan software RUAUMOKO versi 04, untuk mendapatkan nilai simpangan yang ada ketika bangunan telah dikenakan gempa berulang. Kemudian nilai mengetahui Kurva *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) .

## **3.2 Pemodelan Struktur**

### **3.2.1 Data Perencanaan Struktur**

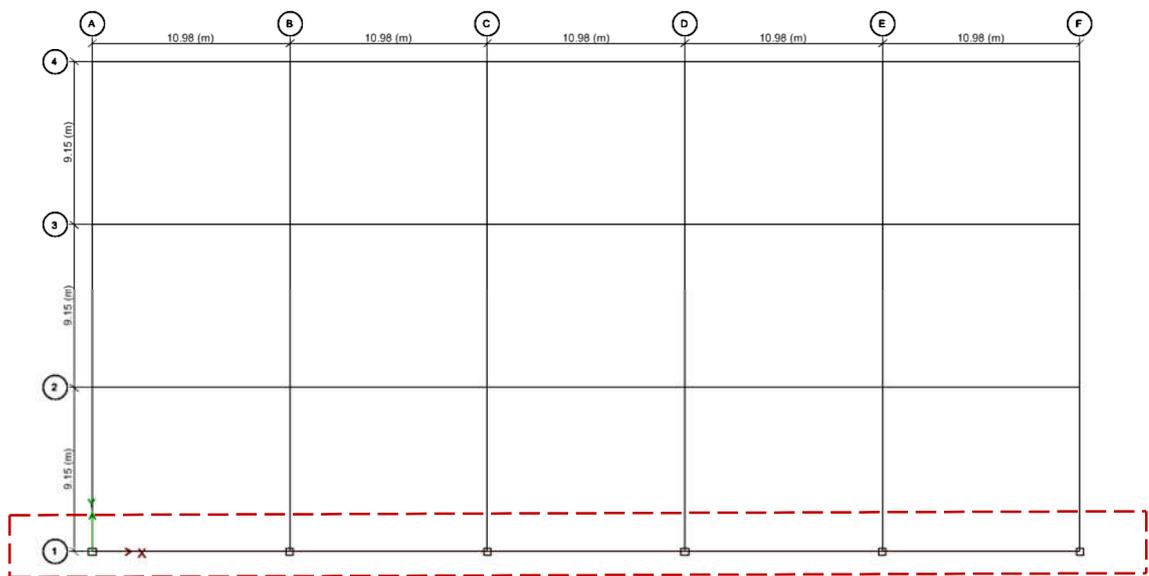
Adapun data perencanaan struktur yang digunakan pada keempat pemodelan dalam Program Analisa Struktur, yaitu:

1. Jenis pemanfaatan gedung perkantoran.
2. Gedung terletak di Banda Aceh.
3. Klasifikasi situs batuan keras (SA) dan tanah keras (SC).
4. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
5. Jenis portal struktur gedung adalah struktur baja komposit (Concrete Filled Tubes/CFT)
6. Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) yang digunakan: 27.56 MPa
7. Mutu baja profil yang digunakan adalah ASTM A572-Gr.50
  - a. Kuat leleh minimum ( $f_y$ ): 378.95 MPa
  - b. Kuat tarik minimum ( $f_u$ ) : 502.97 MPa

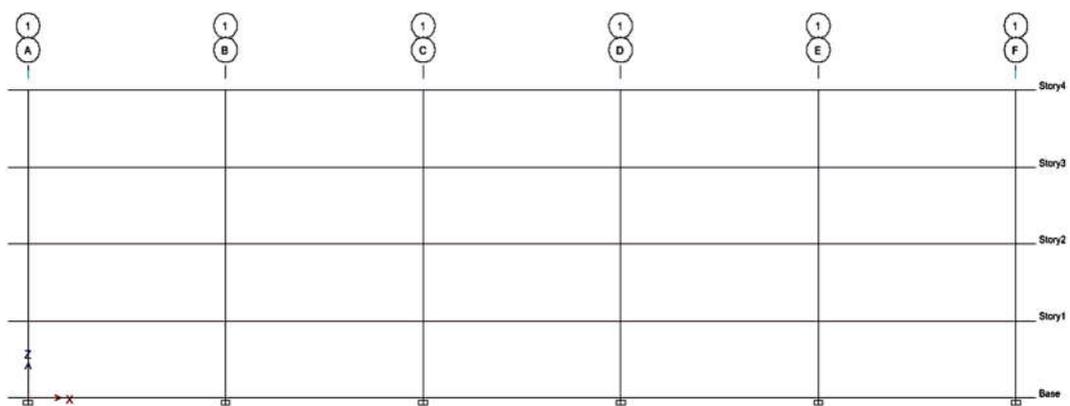
### 3.2.2 Konfigurasi Bangunan

Pada tugas akhir ini, direncanakan struktur bangunan dengan material baja komposit dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dan berbentuk simetri. Adapun bentuk pemodelan yang digunakan adalah:

1. Model 1: Bangunan 4 lantai bentang 10.98 meter SRPMK pada bagian luar dan Sistem Rangka Pemikul Gravitasi pada bagian dalam.
2. Model 2: Bangunan 6 lantai bentang 10.98 meter SRPMK pada bagian luar dan Sistem Rangka Pemikul Gravitasi pada bagian dalam.

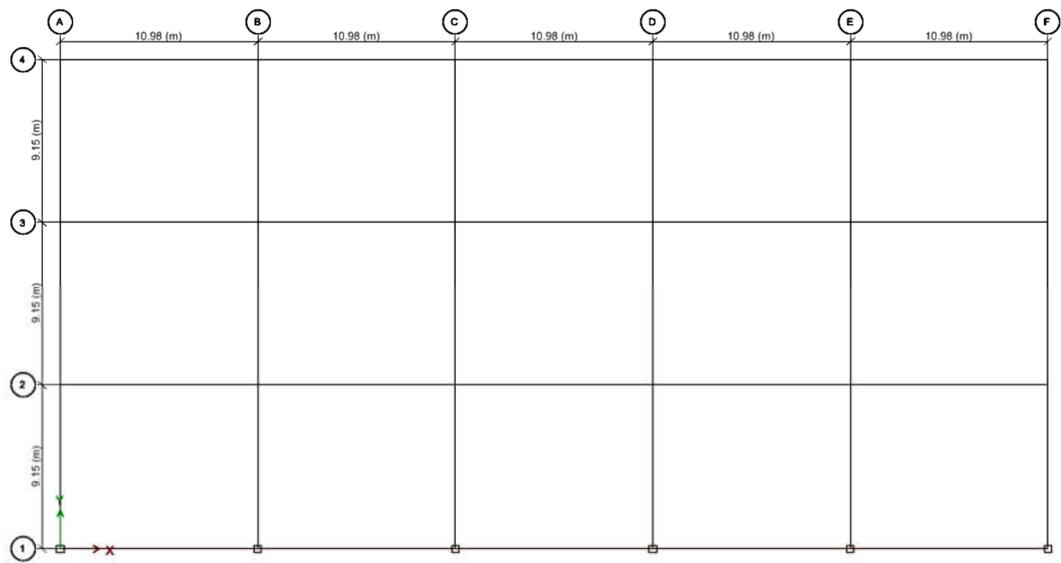


(a)

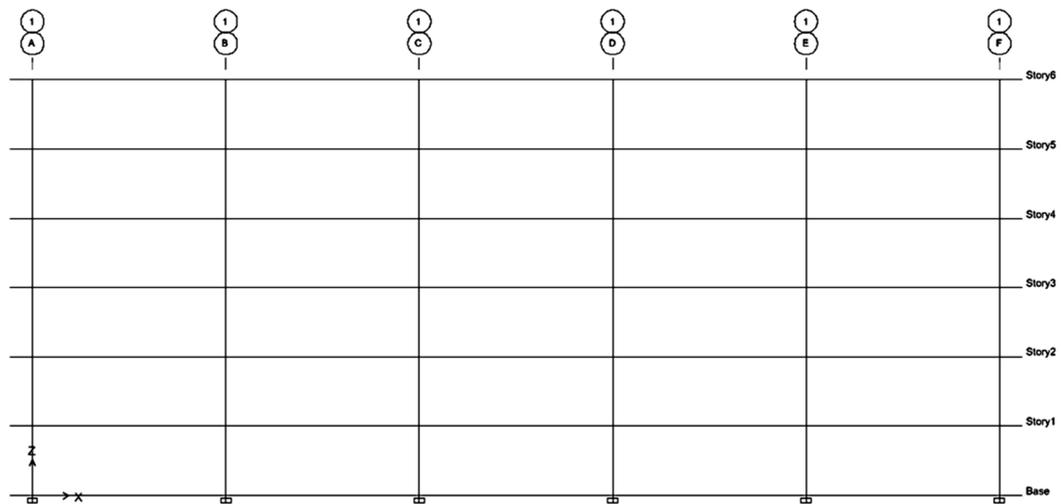


(b)

Gambar 3. 2: a) Denah struktur model 1 , b) Proyeksi bangunan model 1 (Etabs, 2016).



(a)



(b)

Gambar 3. 3: a) Denah struktur model 2 , b) Proyeksi bangunan model 2 (Etabs, 2016).

### 3.2.3 Dimensi Elemen Balok dan Kolom

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	Lantai	Kolom Interior (inchi)	Kolom Eksterior (inchi)	Balok (inchi)
4 Lantai (5@10.98m)	Base	HSS16×16×500	HSS16×16×500	
	1	HSS16×16×500	HSS16×16×500	W24×103
	2	HSS16×16×500	HSS16×16×500	W24×103
	3	HSS16×16×500	HSS16×16×500	W24×84
	4 (roof)			W24×84
6 Lantai (5@10.98m)	Base	HSS16×16×500	HSS16×16×500	
	1	HSS16×16×500	HSS16×16×500	W24×103
	2	HSS16×16×500	HSS16×16×500	W24×103
	3	HSS16×16×500	HSS16×16×500	W24×103
	4	HSS16×16×500	HSS16×16×500	W24×84
	5	HSS16×16×500	HSS16×16×500	W24×84
	6 (roof)			W24×84

### 3.3 Analisa Dinamik Struktur Linear

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

#### 3.3.1 Pembebanan

Beban gravitasi yang bekerja pada struktur bangunan diambil dari PPPURG (1987) dan SNI 1727:2013 yang telah disesuaikan dengan jenis dan fungsi bangunan. Beban-beban tersebut adalah beban hidup dan beban mati yang berhubungan dengan komponen material bangunan. Nilai beban hidup dan beban mati yang digunakan dalam perencanaan dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3. 2: Berat Material Konstruksi Berdasarkan PPPURG 1987.

Beban Mati	Besarnya Beban
Baja	7850 kg/m <sup>3</sup>
Beton bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>
Plafon dan penggantung	18 kg/m <sup>2</sup>
Adukan /cm dari semen	21 kg/m <sup>2</sup>
Pasangan bata setengah batu	250 kg/m <sup>2</sup>
Penutup lantai dari keramik	24 kg/m <sup>2</sup>

Tabel 3.3: Beban Hidup Pada Lantai dan Atap Struktur Berdasarkan SNI 1727:2013.

Beban Hidup	Besarnya Beban
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian Lobi dan koridor lantai pertama	4.79 KN/m <sup>2</sup>
Kantor	2.40 KN/m <sup>2</sup>
Koridor di atas lantai pertama	3.83 KN/m <sup>2</sup>
Atap	1 KN/m <sup>2</sup>

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

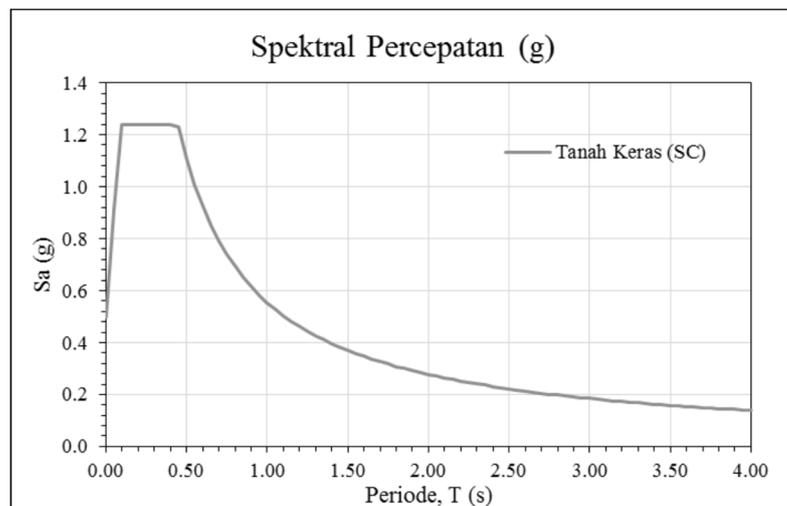
### 3.3.2 Respons Spektrum Desain

Data desain spektra dalam penelitian ini didapat dari PUSKIM PUPR 2019-2020. Dari website tersebut maka akan didapatkan koefisien atau nilai-nilai yang diperlukan dalam pembuatan respon spektrum desain. Nilai-nilai tersebut yaitu:

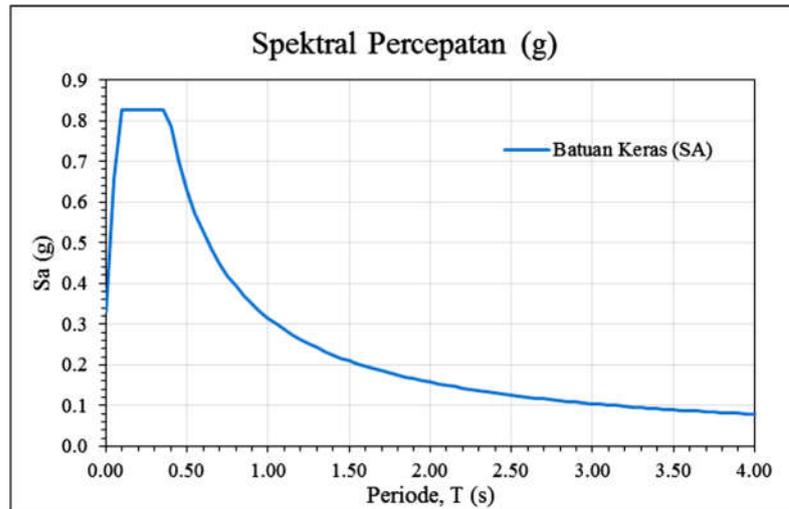
Nama Kota	: Banda Aceh
Kelas Situs	: SC – Tanah Keras
SS	: 1.549100 g
S1	: 0.589700 g
TL	: 14 s
Fa	: 1.200
Fv	: 1.410
SMS = Fa.SS	: 1.859 g
SM1 = Fv.S1	: 0.832 g
SDS = 2/3 SMS	: 1.239 g
SD1 = 2/3 SM1	: 0.554 g
T0 = 0.2 SD1/SDS	: 0.089 s
TS = SD1/SDS	: 0.447 s

Nama Kota	: Banda Aceh
Kelas Situs	: SA – Batuan Keras
SS	: 1.549100 g
S1	: 0.589700 g
TL	: 14 s
Fa	: 0.800
Fv	: 0.800
SMS = Fa.SS	: 1.239 g
SM1 = Fv.S1	: 0.472 g
SDS = 2/3 SMS	: 0.826 g
SD1 = 2/3 SM1	: 0.315 g
T0 = 0.2 SD1/SDS	: 0.076 s
TS = SD1/SDS	: 0.381 s

Respon spektrum untuk periode max ( $T_{max}$ ) 4 detik diplot ke dalam grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.4. Respons spektrum untuk kelas situs SC digunakan untuk bangunan model 1. Sedangkan respons spektrum untuk kelas situs SA digunakan untuk bangunan model 2. Selanjutnya nilai respon spektrum desain yang didapatkan tersebut digunakan dalam Analisis Dinamik Struktur Linear dengan Metode Respon Spektrum pada pemodelan menggunakan Program Analisa Struktur.



(a)



(b)

Gambar 3. 4: a) Respon spektrum untuk kelas situs SC, b) Respons spektrum untuk kelas situs SA.

### 3.3.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dihitung berdasarkan ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019 tentang standar perencanaan bangunan tahan gempa, maka didapatkan untuk Faktor  $R = 8$  nilai  $\rho = 1.3$  yang diperoleh dari kategori desain seismik D dan nilai  $S_{DS} = 1.239$  g untuk kelas situs SC dan  $S_{DS} = 0.826$  untuk kelas situs SA. Untuk nilai yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.

Tabel 3. 4: Kombinasi Pembebanan Berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai  $\rho = 1.3$ ,  $S_{DS} = 1.239$  g

Kombinasi	Koefisien (DL)	Koefisien (LL)	Koefisien ( $E_x$ )	Koefisien ( $E_y$ )
Kombinasi 1	1.4	-	-	-
Kombinasi 2	1.2	1.6	-	-
	$(1.2 + 0.2 S_{DS})DL + 1.0 LL + \rho (\pm 30\% Q_{Ex} \pm 100\% Q_{Ey})$			
Kombinasi 3	1.448	1	0.390	1.300
Kombinasi 4	1.448	1	-0.390	-1.300

Tabel 3.4: Kombinasi Pembebanan Berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai  $\rho = 1.3$ ,  $S_{DS} = 1.239$  g (lanjutan)

Kombinasi	Koefisien (DL)	Koefisien (LL)	Koefisien (E <sub>x</sub> )	Koefisien (E <sub>y</sub> )
	$(1.2 + 0.2 S_{DS})DL + 1.0 LL + \rho (\pm 100\% Q_{Ex} \pm 30\% Q_{Ey})$			
Kombinasi 5	1.448	1	1.300	0.390
Kombinasi 6	1.448	1	-1.300	-0.390
	$(0.9 - 0.2 S_{DS})DL + \rho (\pm 30\% Q_{Ex} \pm 100\% Q_{Ey})$			
Kombinasi 7	0.652	-	0.390	1.300
Kombinasi 8	0.652	-	-0.390	-1.300
	$(0.9 - 0.2 S_{DS})DL + \rho (\pm 100\% Q_{Ex} \pm 30\% Q_{Ey})$			
Kombinasi 9	0.652	-	1.300	0.390
Kombinasi 10	0.652	-	-1.300	-0.390
Kombinasi Envelope	Nilai absolute dari seluruh kombinasi			

Tabel 3.5: Kombinasi Pembebanan Berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai  $\rho = 1.3$ ,  $S_{DS} = 0.826$  g

Kombinasi	Koefisien (DL)	Koefisien (LL)	Koefisien (E <sub>x</sub> )	Koefisien (E <sub>y</sub> )
Kombinasi 1	1.4			
Kombinasi 2	1.2	1.6		
	$(1.2 + 0.2 S_{DS})DL + 1.0 LL + \rho (\pm 30\% Q_{Ex} \pm 100\% Q_{Ey})$			
Kombinasi 3	1.365	1	0.390	1.300
Kombinasi 4	1.365	1	-0.390	-1.300
	$(1.2 + 0.2 S_{DS})DL + 1.0 LL + \rho (\pm 100\% Q_{Ex} \pm 30\% Q_{Ey})$			
Kombinasi 5	1.365	1	1.300	0.390
Kombinasi 6	1.365	1	-1.300	-0.390
	$(0.9 - 0.2 S_{DS})DL + \rho (\pm 30\% Q_{Ex} \pm 100\% Q_{Ey})$			
Kombinasi 7	0.735		0.390	1.300
Kombinasi 8	0.735		-0.390	-1.300
	$(0.9 - 0.2 S_{DS})DL + \rho (\pm 100\% Q_{Ex} \pm 30\% Q_{Ey})$			
Kombinasi 9	0.735		1.300	0.390
Kombinasi 10	0.735		-1.300	-0.390
Kombinasi Envelope	Nilai absolute dari seluruh kombinasi			

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

### 3.4 Metode Perhitungan Kuat Perlu Struktur Komposit

Untuk desain dengan metode analisis langsung, kekuatan perlu komponen struktur komposit terbungkus beton dan komponen struktur komposit terisi beton harus ditentukan dengan menggunakan ketentuan Pasal C2 SNI 1729:2020 dan persyaratan berikut ini:

1. Kekakuan lentur nominal komponen struktur yang memikul tekan neto harus diambil sebagai kekakuan efektif penampang komposit,  $EI_{eff}$ , seperti dijelaskan dalam Pasal I2 SNI 1729:2020 atau subbab 2.10.3.
2. Kekakuan aksial nominal komponen struktur yang memikul tekan neto harus diambil sebagai penjumlahan kekakuan aksial elastis setiap komponen.
3. Kekakuan komponen struktur yang memikul tarik neto harus diambil sebagai kekakuan komponen struktur baja telanjang sesuai dengan Bab C SNI 1729:2020.
4. Parameter reduksi kekakuan,  $\tau_b$ , harus diambil sebesar 0.8.

Nilai kekakuan yang sesuai untuk perhitungan defleksi dan untuk penggunaan metode panjang efektif dibahas dalam penjelasan. Sedangkan gaya aksial yang dihitung terdiri dari kekuatan tekan, tarik dan tekan.

#### 1. Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan desain dan kekuatan tekan izin pada komponen struktur komposit terisi beton yang dibebani secara aksial simetris ganda harus ditentukan untuk keadaan batas tekuk lentur yang didasarkan atas kelangsingan komponen struktur sebagai berikut:

$$\text{Kuat tekan desain} = \phi_c.Pn \quad (3.1)$$

Dengan  $\phi_c=0.75$

$$\text{Kuat tekan izin} = Pn/\Omega_c \quad (3.2)$$

Dengan  $\Omega_c=2.00$

## 2. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik tersedia komponen struktur komposit terisi beton yang dibebani secara aksial harus ditentukan untuk keadaan batas leleh sebagai berikut:

$$\phi_t.Pn = F_y.A_s + F_{ysr}.A_{sr} \quad (3.3)$$

Dimana :

$$\phi_t = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$A_g$  = Luas penampang bruto komponen struktur ( $\text{mm}^2$ )

## 3. Kekuatan Lentur

Kekuatan lentur positif desain,  $\phi_b M_n$ , dan kekuatan lentur positif yang diizinkan,  $M_n/\Omega_b$ , harus ditentukan untuk keadaan batas leleh sebagai berikut:

$$\text{Kuat lentur positif desain} = \phi_b.M_n \quad (3.4)$$

Dengan  $\phi_b = 0.90$  (LRFD)

$$\text{Kuat lentur positif izin} = M_n/\phi_b \quad (3.5)$$

Dengan  $\Omega_b = 1.67$  (ASD)

## 3.5 Analisa Dinamik Struktur Nonlinear

### 3.5.1 *Ground motion Records* (Data rekaman gempa)

Data rekaman gempa diperoleh dari website resmi *Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Next Generation Attenuation (NGA)*. 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 6 rekaman gempa yaitu data rekaman gempa *no pulse* dengan jarak *epicentral* diatas 20 km diambil sebanyak 3

data gempa dan rekaman gempa yang mengandung *Pulse* diambil sebanyak 3 rekaman gempa yang diperoleh dari PEER NGA seperti terlihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6: Rekaman gempa utama (*Main Shock*).

No	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun	Magnitude
1	Northridge-01	1994	Arleta - Nordhoff Fire Sta	6.69
2	Northridge-01	1994	Beverly Hills - 12520 Mulhol	6.69
3	Whittier Narrows-01	1987	Big Tujunga Angeles Nat F	5.99

Tabel 3.7: Rekaman gempa utama (*After Shock*).

No	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun	Magnitude
1	Northridge-02	1994	Arleta - Nordhoff Fire Sta	6.05
2	Northridge-06	1994	Beverly Hills - 12520 Mulhol	5.28
3	Whittier Narrows-02	1987	Big Tujunga Angeles Nat F	5.27

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 sedang), Selain itu, rentang periode 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.

### 3.5.2 Analisis Respons Riwayat Waktu

Analisis ini merupakan tahap evaluasi yang dijadikan sebagai perbandingan terhadap analisis linear sebelumnya, sehingga tidak perlu seluruhnya memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2019. Karena model yang digunakan merupakan model yang seluruhnya telah memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2019 pada analisis linier sebelumnya yaitu dengan Metode Respon Spektrum. Pada Metode Respon Riwayat Waktu ini dianalisis secara dua dimensi. Alat bantu software yang digunakan adalah RUAUMOKO2D versi 04. Sebelum dianalisis dengan RUAUMOKO2D terdapat beberapa tahapan sebagai berikut :

- a. Pengambilan rekaman gempa dari PEER NGA. Daerah- daerah rekaman yang diambil tertera pada tabel 3.6.
- 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. Respon spektrum akan diskalakan terhadap periode gedung, Kemudian nilai skala akan digunakan untuk penskalaan rekaman gempa yang diambil dari PEER NGA.
- d. Menskalakan rekaman gempa dengan menggunakan software MATLAB, rekaman gempa akan dijadikan gempa tunggal.

Data-data rekaman yang telah diskalakan dan digabungkan dengan MATLAB akan digunakan sebagai input data pada analisis menggunakan RUAUMOKO2D. Adapun data-data yang dibutuhkan dalam analisis respon riwayat waktu nonlinier menggunakan software RUAUMOKO2D versi 04 antara lain:

$I$  : Momen inersia penampang

$E$  : Modulus elastisitas penampang

$M_y$  : Momen leleh

$M_c$  : Momen puncak

$K_o$  : Kekakuan rotasi elastis

$\theta_p$  : Koefisien rotasi plastis

$\theta_y$  : Koefisien rotasi leleh

$\theta_c$  : Koefisien rotasi kapasitas plastis

$\theta_{pc}$  : Koefisien rotasi *post-capping*

$\theta_u$  : Koefisien rotasi ultimit

$\mu\theta c$  : Daktilitas rotasi kapasitas plastis

$r$  : Rasio kekakuan *post-yield*

### 3.5.3 Momen Leleh ( $M_y$ )

Berdasarkan Metode FEMA, momen leleh yang digunakan sebagai input analisis nonlinear pada program RUAUMOKO2D versi 04 adalah momen maksimum pada analisis linier respon riwayat waktu menggunakan Program Analisa Struktur. Nilai tersebut sebelumnya diambil dari Program Analisa Struktur dan disesuaikan dengan sistem bangunan yang direncanakan. Pengambilan momen leleh diambil setelah menyesuaikan kurva kapasitas pada analisa beban dorong (*push over*), Dimana untuk melihat perilaku dari ketiga sistem yang direncanakan.

Penampang komposit terisi beton harus diklasifikasikan sebagai tekuk lokal. Kekuatan lentur nominal ( $M_n$ ) dengan nilai  $\phi_b = 0.90$  (LFRD) komponen struktur komposit terisi beton seperti yang dijelaskan pada subbab 3.4 harus ditentukan sebagai berikut:

1. Untuk penampang kompak

$$M_n = M_p \quad (3.6)$$

Dimana:

$M_p$  = momen sehubungan dengan distribusi tegangan plastis di penampang komposit, kip-in. (N-mm)

2. Untuk penampang nonkompak

$$M_n = M_p - (M_p - M_y) \left( \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \quad (3.7)$$

Dimana:

$\lambda, \lambda_p, \lambda_r$  = rasio kelangsingan yang ditentukan di tabel I1.1b SNI 1729:2020

$M_y$  = momen leleh sehubungan dengan leleh sayap tarik dan leleh pertama sayap tekan, kip-in. (Nmm). Kapasitas pada saat leleh pertama harus dihitung dengan asumsi distribusi tegangan elastis linier dengan tegangan tekan beton maksimum dibatasi sampai  $0,70f_c$  dan tegangan baja maksimum dibatasi sampai  $F_y$ .

3. Untuk penampang langsing

$M_n$ , harus ditentukan sebagai momen leleh pertama. Tegangan sayap tekan harus dibatasi sampai tegangan tekuk lokal,  $F_{cr}$ , yang ditentukan dengan menggunakan Persamaan I2-10 atau Persamaan I2-11 SNI 1729:2020. Distribusi tegangan beton harus elastis linier dengan tegangan tekan maksimum yang dibatasi sampai  $0,70f_c$ .

#### 3.5.4 Kapasitas Rotasi ( $\theta_p$ )

a. Kapasitas rotasi plastis ( $\theta_p$ )

Menurut Zareian dan Krawinkler (2009), terdapat 3 kategori kapasitas rotasi plastis yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Dalam tugas akhir ini nilai  $\theta_p$  yang digunakan adalah kapasitas rendah yaitu 0.04.

b. Rotasi pasca-puncak ( $\theta_{pc}$ )

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).

#### 3.5.5 Rotasi Leleh ( $\theta_y$ )

Rotasi pada saat leleh digunakan untuk mendapatkan nilai daktilitas yang dibutuhkan sebagai input dalam software RUAUMOKO2D versi 04. Nilai rotasi sendi plastis tersebut untuk semua *frame* (balok-kolom) pada struktur gedung yang direncanakan. Nilai  $\theta_y$  untuk semua frame dapat dilihat pada pembahasan selanjutnya.

#### 3.5.6 Panel Zone

Zona panel (Panel Zone) pada struktur komposit yang digunakan dalam penelitian ini adalah struktur komposit dari tabung baja (Steel tube) dan inti beton. Secara umum, kekuatan geser zona panel struktur komposit dapat dihitung sebagai superposisi dari kekuatan geser komponen baja dan beton (Hu, 2016). Persamaan teoritis untuk model mekanika ini dibuat dengan menggunakan kontribusi kekakuan geser dari kedua material.

1. Tabung baja

Dua sayap kolom yang dikenakan gaya geser dapat dimodelkan sebagai kolom dengan dukungan tetap menahan deformasi lentur. Kekakuan geser dari dua sayap kolom ( $K_f$ ) adalah:

$$K_f = 2 \frac{12E_s I_f}{(d_b - t_{bf})^2} \quad (3.8)$$

Dimana :

$$I_f = 2 \frac{b_c t_f^3}{12} \quad (3.9)$$

Kekakuan geser dari dua badan kolom ( $K_w$ ) adalah:

$$K_w = 2 (d_c - 2t_f) t_w G_s \quad (3.10)$$

Kekakuan geser ( $K_{s1}$ ) dari tabung baja persegi panjang pada zona panel adalah super-posisi kekakuan geser dari badan kolom ( $K_w$ ) dan kekakuan geser dari sayap kolom ( $K_f$ )

$$K_{s1} = K_f + K_w \quad (3.11)$$

Kuat geser leleh yang dihasilkan ( $V_{wy}$ ) dan regangan leleh ( $\gamma_{wy}$ ) pada badan kolom adalah sebagai berikut:

$$V_{wy} = 2 (d_c - 2t_f) t_w \tau_{sy} \quad (3.12)$$

$$V_{wy} = 2 (d_c - 2t_f) t_w \left( \frac{F_y}{\sqrt{3}} \right) \quad (3.13)$$

$$\gamma_{wy} = \frac{V_{wy}}{K_w} \quad (3.14)$$

Kuat geser leleh yang dihasilkan ( $V_{fy}$ ) dan regangan leleh ( $\gamma_{fy}$ ) pada sayap kolom adalah sebagai berikut:

$$V_{fy} = \frac{4M_{fy}}{(d_b - t_{bf})} \quad (3.15)$$

$$V_{fy} = \frac{4 \left( \frac{b_c t_f^2 F_y}{6} \right)}{(d_b - t_{bf})} \quad (3.16)$$

$$\gamma_{fy} = \frac{V_{fy}}{K_f} \quad (3.17)$$

Kekuatan geser ultimate ( $V_{su}$ ) dari zona panel adalah penjumlahan dari gaya geser dari badan kolom dan sayap kolom saat regangan geser panel zona tiba di regangan leleh ( $\gamma_{fy}$ ) untuk sayap kolom.

$$V_{su} = V_{wy} + V_{fy} \quad (3.18)$$

## 2. Inti beton

Kriteria kegagalan Mohr-Coulomb digunakan untuk memperkirakan kekuatan geser ultimate dari beton. Tegangan geser ultimit ( $\tau_{cu}$ ) beton di zona panel dapat ditentukan sebagai:

$$\tau_{cu} = \sqrt{\left[\frac{f'_c}{11} + \frac{9(f_{cp}+f_{ct})}{22}\right]^2 - \left(\frac{f_{cp}+f_{ct}}{2}\right)^2} \quad (3.19)$$

Regangan geser ultimit yang sesuai dari beton di zona panel adalah :

$$K_c = G_c A_c \quad (3.20)$$

$$V_{cu} = \tau_{cu} A_c \quad (3.21)$$

## 3. Kombinasi tabung baja dan inti beton

Tabung baja di zona panel dibagi secara struktural menjadi badan (*web*) dan sayap (*flange*). Regangan dan kekuatan di mana badan baja meleleh didefinisikan sebagai regangan geser leleh dan kekuatan zona panel, sedangkan regangan dan kekuatan pada sayap baja meleleh didefinisikan sebagai regangan geser ultimit dan kekuatan zona panel. Untuk zona panel struktur komposit, kekakuan geser (K), kuat geser leleh ( $V_y$ ), dan kekuatan geser ultimate ( $V_u$ ) adalah penjumlahan dari tabung baja dan inti beton sebagai berikut:

$$K = K_{s1} + K_c \quad (3.22)$$

$$V_y = V_{sy} + V_{cu} \quad (3.23)$$

$$V_u = V_{wy} + V_{fy} + V_{cu} \quad (3.24)$$

### 3.5.7 Diagram Interaksi Kolom

Selain kekuatan aksial yang tersedia, kekuatan lentur juga perlu dihitung. Spesifikasi AISC 2005 mengadopsi distribusi tegangan plastik penuh berdasarkan asumsi regangan linier di seluruh bagian dan perilaku material elasto-plastik yang sempurna. Dengan asumsi sederhana ini, kekuatan nominal dapat diperkirakan dengan mengasumsikan bahwa baja telah mencapai tegangan leleh baik di bawah

tegangan atau kompresi dan bahwa beton telah mencapai kekuatan penghancur saat tekan.

Diagram interaksi P-M yang diilustrasikan pada Gambar 3.5 untuk penampang komposit didasarkan pada distribusi tegangan plastis penuh dan dapat didekati dengan interpolasi linier konservatif antara lima titik (Galambos, 1998). Titik (A) dan (B) masing-masing berhubungan dengan kekuatan aksial penghancuran dan kekuatan lentur penampang. Titik (C) ditambahkan ke posisi sumbu netral plastis (PNA) yang sama dari yang sesuai dengan Titik (B) tetapi di sisi lain dari garis tengah, sehingga mengandung kapasitas lentur yang sama dengan Titik (B) dan besarnya sama ketahanan aksial dari beton saja. Untuk Titik (D), PNA terletak di garis tengah. Akibatnya, titik ini sesuai dengan kekuatan lentur maksimum dan setengah dari kekuatan aksial yang ditentukan untuk Titik (C). Titik (E) adalah titik arbitrer tambahan untuk lebih menggambarkan kelengkungan diagram interaksi pada beban aksial tinggi. Kelima poin tersebut dapat dengan mudah dihitung. Untuk desain, interpolasi bilinear yang disederhanakan dapat digunakan antara Titik (A), (C), dan (B) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.

Persamaan untuk 5 titik spesifik dalam diagram interaksi P-M.

a. Titik (A)

$$P_A = A_s F_y + A_c (0.85 f'_c)$$

$$M_A = 0$$

$$A_s = \text{bidang bentuk baja}$$

$$A_c = h_1 h_2 - 0.858 r_i^2$$

b. Titik (B)

$$P_B = 0$$

$$M_B = M_D - Z_{sn} F_y - 1/2 Z_{cn} (0.85 f'_c)$$

$$Z_{sn} = 2 t_w h_n^2$$

$$h_n = \frac{0.85 f'_c A_c}{2 [0.85 f'_c h_1 + 4 t_w F_y]} \leq \frac{h_2}{2}$$

c. Titik (C)

$$P_C = A_c (0.85f'_c)$$

$$M_C = M_B$$

d. Titik (D)

$$P_D = \frac{0.85f'_c A_c}{2}$$

$$M_D = Z_s F_y + 1/2 Z_c (0.85f'_c)$$

$Z_s$  = modulus penampang plastik sumbu y penuh dari bentuk baja

$$Z_c = \frac{h_1 h_2}{4} - 0.192 r_i^3$$

e. Titik (E)

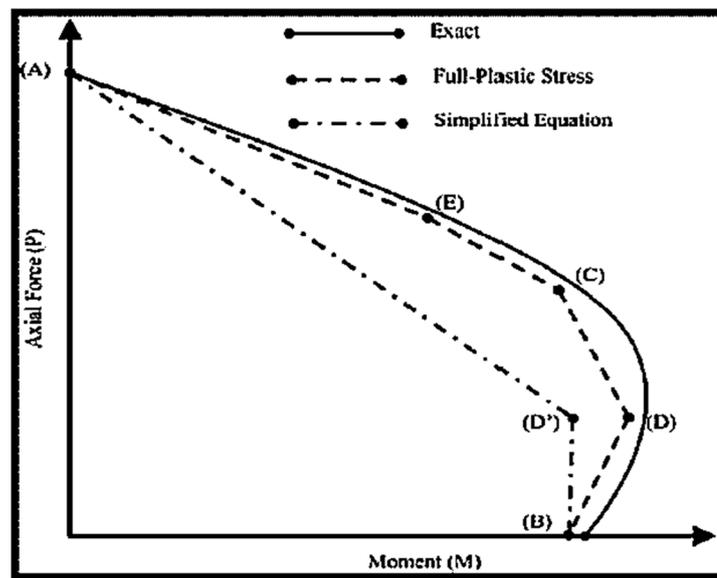
$$P_E = \frac{1}{2} (0.85f'_c) A_c + 0.85f'_c h_1 h_2 + 4F_y t_w h_E$$

$$M_E = M_{max} - \Delta M_E$$

$$Z_{sE} = b h_E^2 - Z_{cE} \quad z_{cE} = h_1 h_E^2$$

$$\Delta M_E = Z_{sE} F_y + 1/2 Z_{cE} (0.85f'_c)$$

$$h_E = \frac{h_n}{2} + \frac{d}{4}$$



Gambar 3. 5: Diagram interaksi P-M untuk balok-kolom komposit

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Model Linier Dan Non Linier**

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

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

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

Berdasarkan SNI 1726:2019, analisa harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisa harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 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

- a. Model 1 dengan nilai  $R = 8$ , didapat 6 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak diatas 15%.
- b. Model 2 dengan nilai  $R = 8$ , didapat 6 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak diatas 15%

Untuk perhitungan tertera pada Lampiran A2.

#### 4.2.2 Koreksi Gempa Dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1, apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam ( $V_t$ ) kurang dari 100 % dari gaya geser ( $V$ ) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan  $V/V_t$ , dimana  $V$  adalah gaya geser dasar statik ekuivalen yang dihitung sesuai pasal ini dan 0, dan  $V_t$  adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam.

$$\text{Faktor skala} = 100\% V/V_t = V/V_t \geq 1$$

Dimana :

$V$  = gaya geser dasar statik ekuivalen yang dihitung

$V_t$  = gaya geser dasar dari hasil analisis kombinasi ragam

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)
Model 1	Gempa X (R=8)	474.204	576.078
Model 2	Gempa X (R=8)	297.692	417.035

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

$$\text{Syarat : } \frac{V_t}{V} \geq 100\%$$

Untuk perhitungan tertera pada Lampiran A4.

#### 4.2.3 Koreksi Faktor Redudansi

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.3.4.2, 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. Untuk perhitungan terdapat pada Lampiran A5.

#### 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:

Syarat :  $V_t \geq V$  atau  $V_t \geq W.C_s$  Nilai  $V_t$  pada sb. X dapat dilihat berdasarkan Tabel 4.2.

Tabel 4. 2: Nilai  $V_t$  arah X

Struktur	Arah Gempa	$V_t$ (KN)	$W.C_s$	Cek
Model 1	Gempa X (R=8)	576.078	474.204	Ok
Model 2	Gempa X (R=8)	417.035	297.692	Ok

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 1726:2019 pasal 7.12.1, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai yang diizinkan yaitu 0,02 dikali tinggi lantai, nilai simpangan tidak boleh melebihi ketentuan tersebut. Pada hasil yang diperoleh, nilai simpangan antar lantai tidak melebihi batas izin atau memenuhi syarat. Untuk hasil perhitungan terdapat pada Lampiran A6.

#### 4.2.6 Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.7, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai *stability ratio* lebih kecil dari 1. Pada hasil perhitungan, nilai *stability ratio* dibawah nilai 1 untuk semua model atau dapat dikatakan kontrolnya memenuhi syarat yang ditentukan. Pada dasarnya efek P-delta dapat diabaikan jika syarat *stability ratio* sudah terpenuhi. Untuk hasil perhitungan terdapat pada Lampiran A7.

#### **4.2.7 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)**

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.3.3.4, kekakuan tingkat lunak (*soft story*) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Pada hasil kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x untuk semua model, diperoleh nilai persentase kekakuan di atas batas yang ditentukan atau struktur yang direncanakan tidak mengalami *Soft Story*.

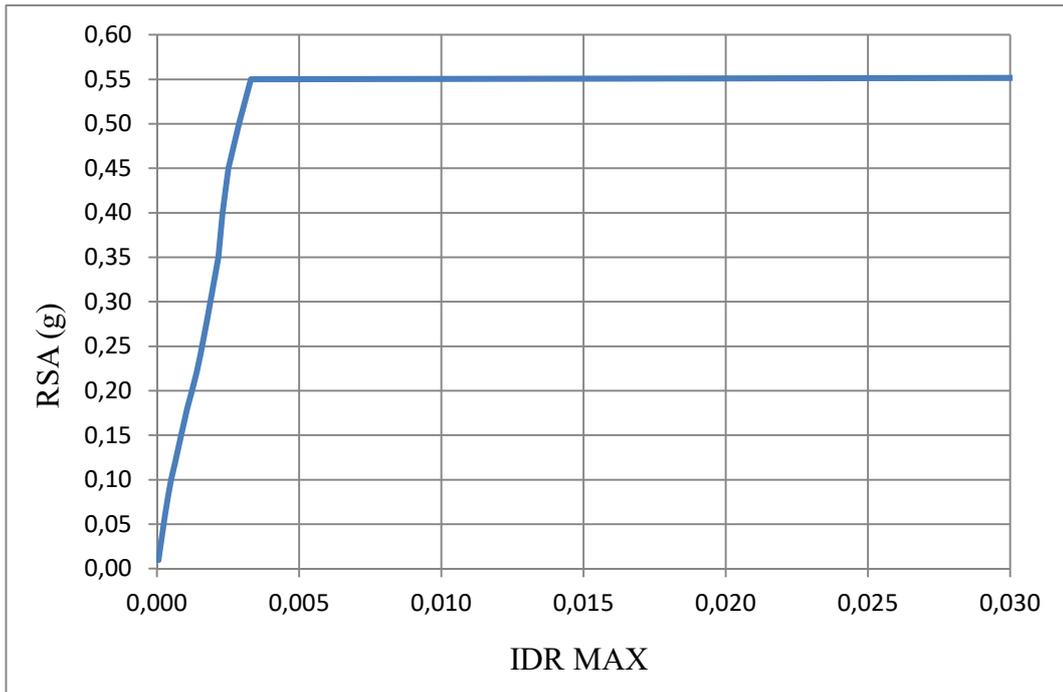
Untuk hasil perhitungan terdapat pada Lampiran A8.

### **4.3 Hasil Analisa Non Linier**

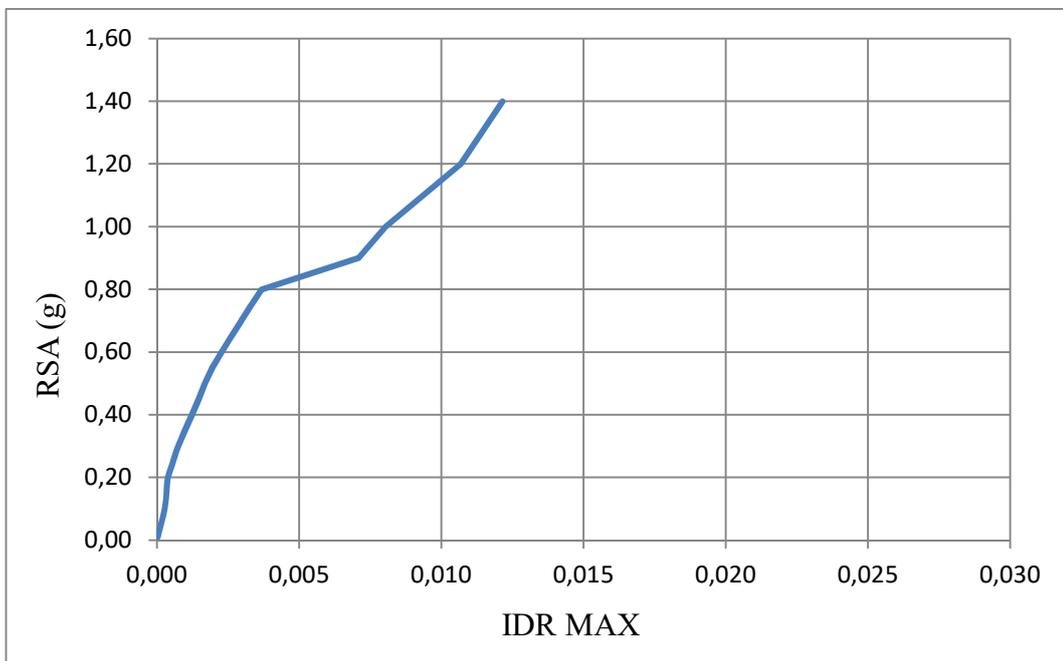
Pada tahap ini merupakan bagian dari evaluasi struktur komposit yang telah di desain terhadap beban gempa yang telah direncanakan, dalam hal ini respon struktur akan ditinjau terhadap perbedaan beberapa rekaman gempa berulang dan perioda struktur bangunan. Perbedaan nilai perioda didapat dari kedua jenis model yang telah didesain. Setiap model struktur akan diambil data *inter story drift*. Dan dianalisa.

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

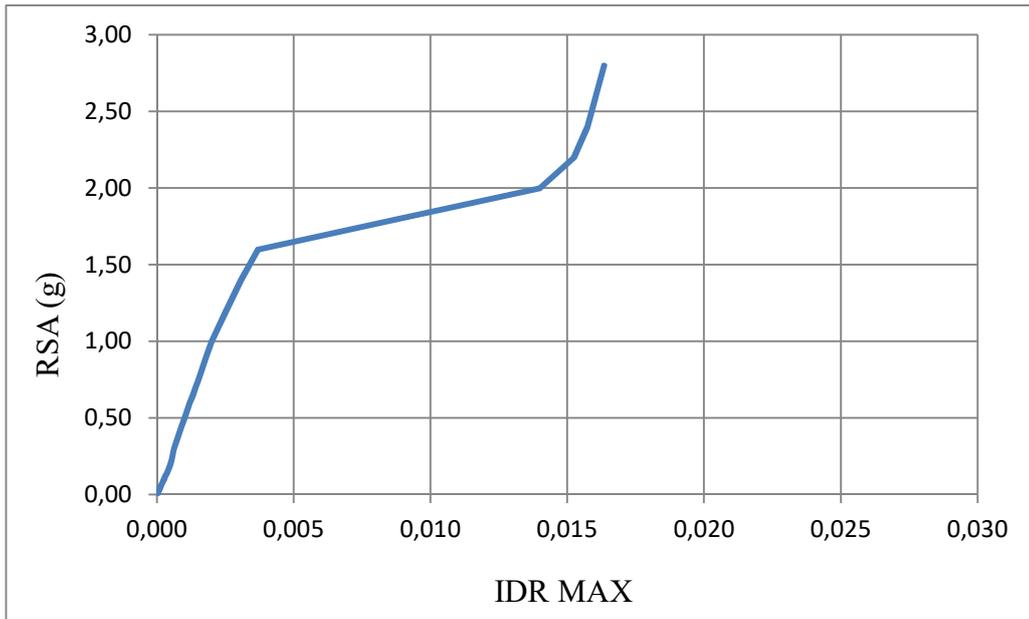
*Incremental Dynamic Analysis* yang di lakukan pada kedua model struktur menghasilkan gambaran respon dan kapasitas dari struktur yang selanjutnya dapat digunakan untuk membentuk kurva kerapuhan struktur sebagai metode dalam asamen kerapuhan seismik. Hasil IDA menggunakan 2 rekaman gempa berulang untuk masing-masing pemodelan struktur. Grafik IDA adalah hasil dari *interstory drift Ratio*.



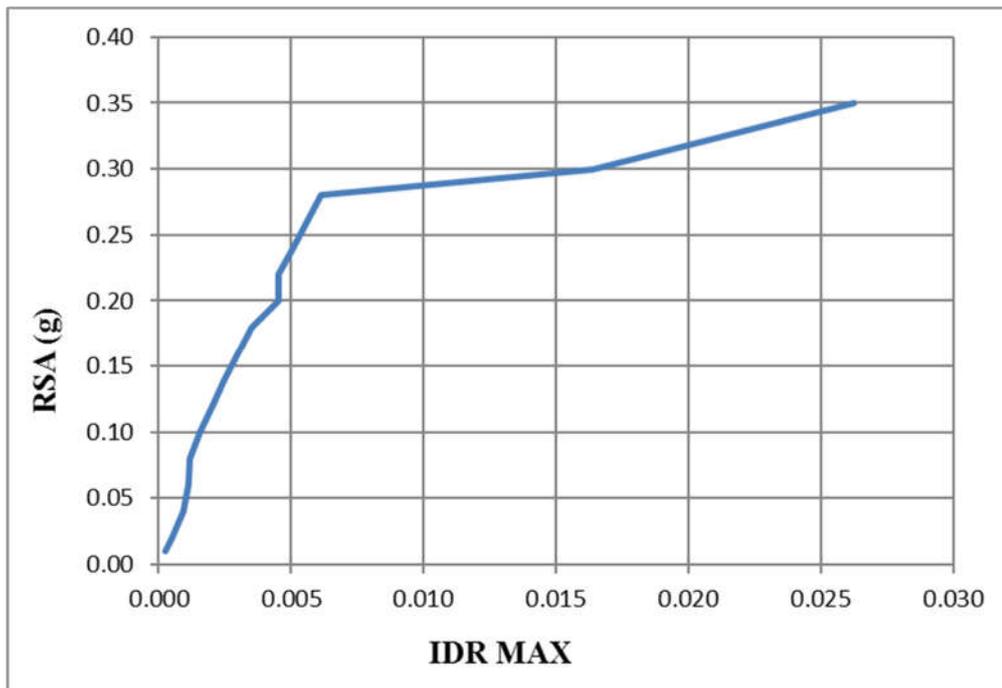
Gambar 4. 1: Grafik kurva IDA pemodelan bangunan 4 lantai terhadap gempa berulang MQX1.



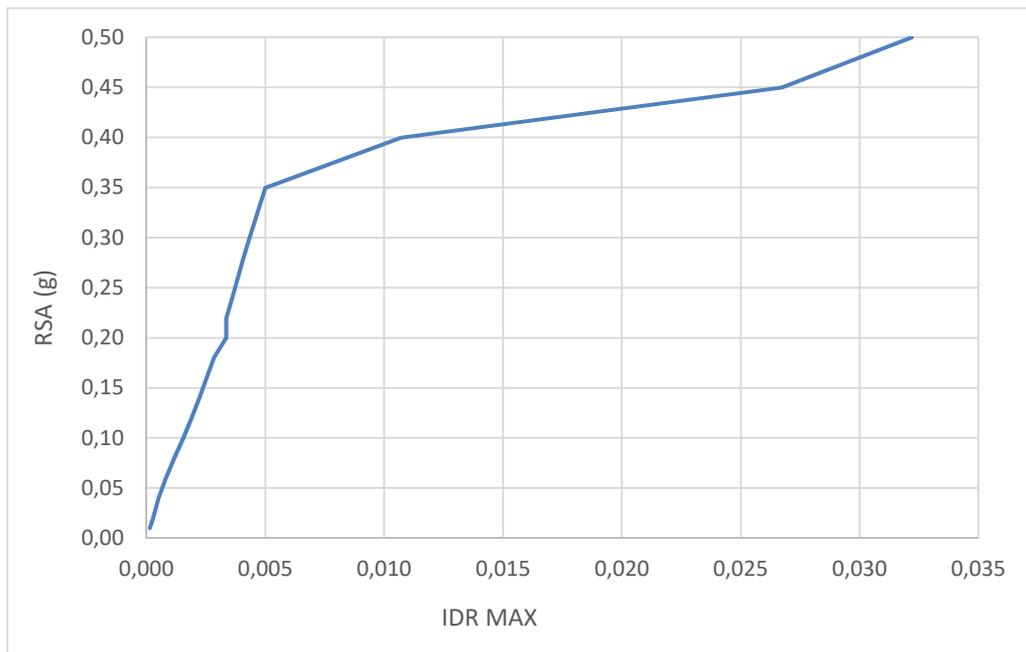
Gambar 4. 2: Grafik kurva IDA pemodelan bangunan 4 lantai terhadap gempa berulang MQX2.



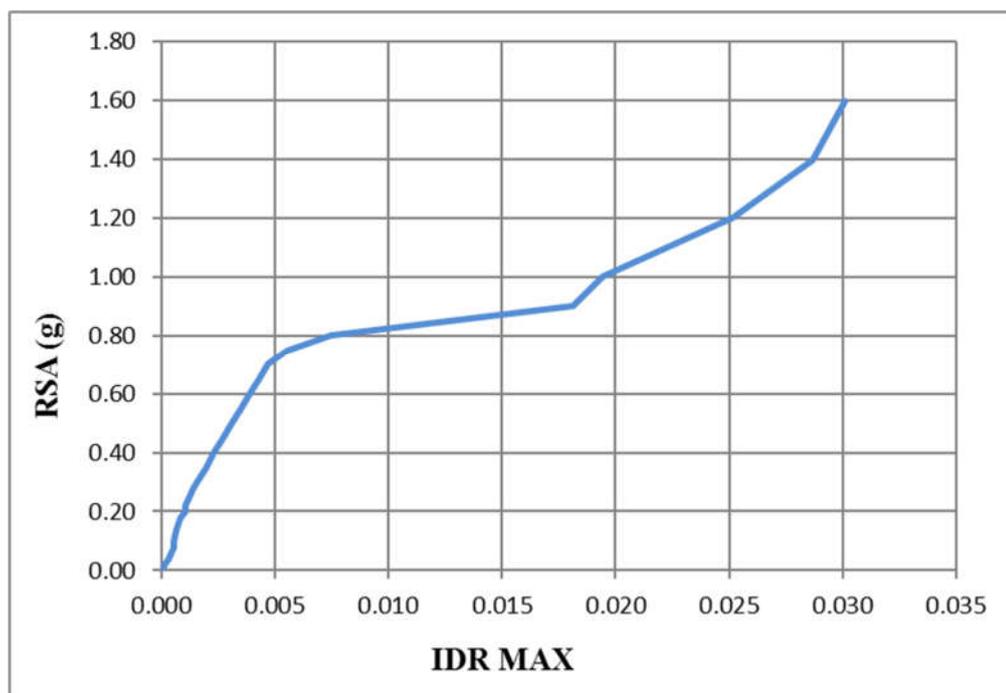
Gambar 4. 3: Grafik kurva IDA pemodelan bangunan 4 lantai terhadap gempa berulang MQX3.



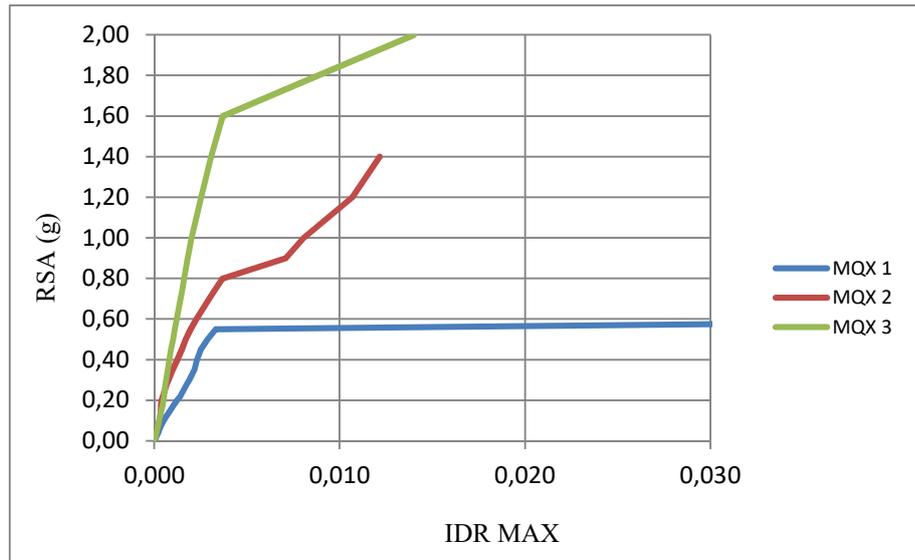
Gambar 4. 4: Grafik kurva IDA pemodelan bangunan 6 lantai terhadap gempa berulang MQX1.



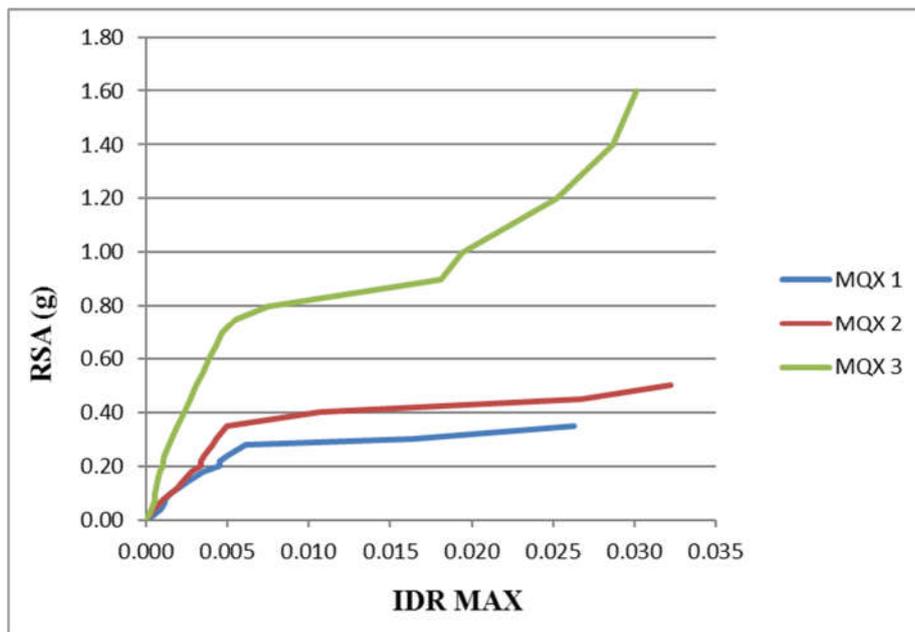
Gambar 4. 5: Grafik kurva IDA pemodelan bangunan 6 lantai terhadap gempa berulang MQX2.



Gambar 4. 6: Grafik kurva IDA pemodelan bangunan 6 lantai terhadap gempa berulang MQX3.



Gambar 4.7: Grafik kurva IDA terhadap 3 gempa berulang pada Model 1



Gambar 4.8: Grafik kurva IDA terhadap 3 gempa berulang pada Model 2

Pada gambar 4.7 tampak dengan jelas bahwa  $IDR_{max}$  model 1 dicapai oleh gempa MQX1 dengan  $RSA(T_1) = 0,55$  g, gempa MQX2 dengan  $RSA(T_1) = 1,2$  g, dan gempa MQX3 dengan  $RSA(T_1) = 2,00$  g. Sedangkan pada gambar 4.8  $IDR_{max}$  model 2 dicapai oleh gempa MQX1 dengan  $RSA(T_1) = 0,35$  g, gempa MQX2 dengan  $RSA(T_1) = 0,4$  g, dan gempa MQX3 dengan  $RSA(T_1) = 0,9$  g.

## BAB 5

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi pembahasan mengenai kinerja keruntuhan pada sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) terhadap getaran gempa berulang, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Model 1 akan mengalami  $IDR_{max}$  pada RSA ( $T_1$ ) = 0.55 g oleh gempa MQX1. Sedangkan model 2 akan mengalami  $IDR_{max}$  pada RSA ( $T_1$ ) = 0.35 g oleh gempa MQX1.

#### 5.2 Saran

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

## DAFTAR PUSTAKA

- Amiri, S., & Bojorquez, E. (2019). Residual displacement ratios of structures under mainshock-aftershock. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 121, 179–193.
- Amrullah, W., Bagio, T. H., Tistogondo, J. (2019). *Desain perencanaan struktur Gedung 38 lantai dengan sistem Rangka pemikul momen khusus (SRPMK)*, 1 (April 2019). 18-23.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2019)*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (SNI 2847:2019)*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- 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.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural (SNI 1729:2020)*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Charles G. Salmon, Jhon E. Johnson. 1996. *STRUKTUR BAJA, Design dan Perilaku, Jilid 2*. Jakarta: Airlangga.
- Elnashai, S.A., dan Sarno, D.L., 2008, *Fundamental Of Earthquake Engineering*, Wiley, Hongkong.
- Hu, J. W. (2016). *Smart Connection System Design and Seismic Analysis*. CRC Press/Balkema.
- H.-K. Kang Thomas, dkk. (2019). *Seismic Performance of Concrete-Filled Tube Column-Reinforced Concrete Slab Connections with Shearhead Keys*, *ACI Structural Journal*. 116 (March 2019). 233-244.
- Lerner, RM. & Galambos, NL. (1998). Adolescent development: challenges and opportunities for research, program and policies. *Annual Review of Psychology*, 49: 413-446
- Krawinkler, H., Mohasseb, S. (1987). Effects of panel zone deformations on seismic response. *Journal of constructional steel research*. 233-250.

- Liang, Q.Q. 2004. Performance-Based Optimization of Structures: *Theory and Applications*. London and New York : Spon Press, Taylor dan Francis Group
- Misbatullah, dkk. (2020). Evaluasi Keruntuhan Struktur Srpm Baja Akibat Pengaruh Kekuatan Panelzone Dan Sistem Rangka Pemikul Beban Gravitasi. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara . *Jurnal Sipil*, 1-11.
- Pawirodikromo, W., (2012), Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan, Pustaka Pelajar., Yogyakarta.
- Pujianto, (2007). Bahan Kuliah Perencanaan Struktur Tahan Gempa. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Ruddy, John L. 2005. "Structural Design of Steel Building Components for Fire Conditions". Proceedings of the 2005 Structures Congress and the 2005 Forensic Engineering Symposium. New York : Metropolis and Beyond.
- Sampakang, J., R. E. Pandaleke, J. D. Pangouw, & L. K. Khosama. (2013). Perencanaan sistem rangka pemikul momen khusus pada komponen balok-kolom dan sambungan struktur baja gedung BPJN XI, *Jurnal Sipil Statik*, 1, 653-663.
- Spiegel, Leonard dan Limbrunner, Geogre F. 1998. Desain Baja Struktural Terapan. Bandung : PT. ERESKO BANDUNG
- Siswanto, B., Afif, S. (2018), Rekayasa Gempa, Pustaka Pelajar., Semarang.
- Tubuh, K., dkk. (2017). Studi perbandingan perilaku dan kinerja struktur baja menggunakan kolom komposit concrete encased dan concrete filled tube, serta non komposit, 5(Juli 2017). 111 – 121.
- Wirabakti, G.,.. (2019). *Analisis Pengaruh Deformasi Panel Zone Terhadap Perilaku Inelastis Rangka Pemikul Momen Dengan Kolom Komposit Baja Beton*. Bandung. *Skripsi*. Parahyangan Chatolic University Departement of Civil Engineering.

## **LAMPIRAN**

### **A.1. Data Pembebanan Struktur**

Dalam Tugas Akhir ini beban yang digunakan untuk beban gravitasi terdiri dari beban hidup dan beban mati. Dan ada beban gempa statik ekuivalen yang diletakkan pada masing masing joint model. Data pembebanan struktur dapat dilihat pada Tabel L.1.

Tabel L.1: Data pembebanan struktur.

Story	Bay X (m)	Bay Y (m)	Dead Load		Live Load		Equivalent Lateral Load	Beban Terpusat
			KN/m <sup>2</sup>	KN/m	KN/m <sup>2</sup>	KN/m	KN	KN
Model 1								
1	10.98	9.15	4.790	12.783	3.832	10.227	161.5	6.877
2			4.790	12.783	3.832	10.227	254.9	6.877
3			4.790	12.783	3.832	10.227	264.8	5.617
4			4.790	12.783	3.832	10.227	180.7	5.617
Model 2								
1	10.98	9.15	4.790	12.783	3.832	10.227	87.3	6.877
2			4.790	12.783	3.832	10.227	167.9	6.877
3			4.790	12.783	3.832	10.227	219.1	6.877
4			4.790	12.783	3.832	10.227	232.5	5.617
5			4.790	12.783	3.832	10.227	202.9	5.617
6			4.790	12.783	3.832	10.227	126.5	5.617

## A.2. Modal Participating Mass Ratios

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

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>	UX	Sum UX
Modal	1	0.607	0.8334	0.833
Modal	2	0.195	0.1142	0.948
Modal	3	0.103	0.0404	0.988
Modal	4	0.071	0.0119	1.000
Modal	5	0.055	0.0000	1.000
Modal	6	0.055	0.0000	1.000

Tabel L.3: Hasil selisih persentase nilai perioda

Mode	Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	67.875	Not OK	OK
T2-T3	47.179	Not OK	OK
T3-T4	31.068	Not OK	OK
T4-T5	22.535	Not OK	OK
T5-T6	0.000	OK	Not OK

### A.2.2. Modal Participating Mass Ratios Model 2

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

<i>Modal Participating Mass Ratios</i>				
<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	UX	Sum UX
Modal	1	0.916	0.8187	0.819
Modal	2	0.303	0.1072	0.926
Modal	3	0.166	0.0401	0.966
Modal	4	0.110	0.0210	0.987
Modal	5	0.080	0.0101	0.997
Modal	6	0.080	0.0000	0.997

Tabel L.5: Hasil selisih persentase nilai perioda

Mode	Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	66.921	Not OK	OK
T2-T3	45.215	Not OK	OK
T3-T4	33.735	Not OK	OK
T4-T5	27.273	Not OK	OK
T5-T6	0.000	OK	Not OK

### A.3. Data Berat Sendiri Struktur

Tabel L.6: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 1).

Story	Self Weight (kg)	Self Weight (KN)
Lantai 4	87635.750	858.830
Lantai 3	93647.320	917.744
Lantai 2	95902.370	939.843
Lantai 1	95902.370	939.843
Base	6011.570	58.913
Total	379099.380	3715.174

Tabel L.7: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 2).

Story	Self Weight (kg)	Self Weight (KN)
Lantai 6	87635.750	858.830
Lantai 5	93647.320	917.744
Lantai 4	93647.320	917.744
Lantai 3	95902.370	939.843
Lantai 2	95902.370	939.843
Lantai 1	95902.370	939.843
Base	6011.570	58.913
Total	568649.070	5572.761

#### A.4. Perhitungan Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

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

a. Model 1

Faktor R=8, Data struktur:

- $S_{D1}$  : 0.554
- $S_{DS}$  : 1.239
- R : 8.00
- $I_e$  : 1.00
- S1 : 0.5897
- T : 0.543

$$\begin{aligned}\rightarrow C_s \text{ Hitungan} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{1,239}{\left(\frac{8}{1}\right)} \\ &= 0.1549\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rightarrow C_s \text{ Minimum} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \\ &= 0,044 \cdot 1,239 \cdot 1 \\ &= 0.0545\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rightarrow C_s \text{ Maksimum} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,554}{0.543\left(\frac{8}{1}\right)} \\ &= 0.12764\end{aligned}$$

Tabel L.8: Nilai  $C_s$  yang digunakan untuk Model 1 (R=8).

Arah	$C_s$ Minimum	$C_s$ Maksimum	$C_s$ Hitungan	$C_s$ Digunakan
X	0.0545	0.12764	0.1549	0.12764

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0.12764 \times 3715.174 \text{ KN}$$

$$V = 474.204 \text{ KN}$$

b. Model 2

Faktor R=8, Data struktur:

- $S_{D1}$  : 0.315
- $S_{DS}$  : 0.826
- R : 8.00
- $I_e$  : 1.00
- S1 : 0.590
- T : 0.736

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{Cs Hitungan} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,826}{\left(\frac{8}{1}\right)} \\ &= 0.1033 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{Cs Minimum} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \\ &= 0,044 \cdot 0,826 \cdot 1 \\ &= 0.0364 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{Cs Maksimum} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,315}{0,736\left(\frac{8}{1}\right)} \\ &= 0.05342 \end{aligned}$$

Tabel L.9: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 1 (R=8).

Arah	Cs Minimum	Cs Maksimum	Cs Hitungan	Cs Digunakan
X	0.0364	0.05342	0.1033	0.05342

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0.05342 \times 5572.761 \text{ KN}$$

$$V = 297.692 \text{ KN}$$

### A.5. Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear*

#### A.5.1. Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* Model 1

Tabel L.10: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear*.

<i>Story</i>	<i>Story Shear</i> V <sub>x</sub> (KN)	<i>Base Shear</i> 35% V <sub>x</sub> (KN)	Cek
4	225.440	165.971	Oke
3	393.821	165.971	Oke
2	513.497	165.971	Oke
1	576.078	165.971	Oke
<i>Base</i>	0	0	Oke

#### A.5.2. Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* Model 2

Tabel L.11: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear*.

<i>Story</i>	<i>Story Shear</i> V <sub>x</sub>	35% V <sub>x</sub> <i>Base Shear</i>	Cek
6	133.587	104.192	Oke
5	224.440	104.192	Oke
4	286.972	104.192	Oke
3	339.192	104.192	Oke
2	386.349	104.192	Oke
1	417.035	104.192	Oke
<i>Base</i>	0	0	Oke

## A.6. Nilai Simpangan Gedung

### A.6.1. Nilai Simpangan Gedung Model 1

Tabel L.12: Hasil analisa nilai simpangan gedung.

Story	Load Case/Combo	Direction	$\delta_{ex}$	$\delta_{xe} = (\delta_{ex} - \delta_{ex-1})$	$\Delta_x = \delta_{xe} \frac{C_{dx}}{I_e}$	$h_{sx}$	$\Delta_{ijin} = 0.020 h_{sx}$	Cek
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Lantai 4	Envelope Max	X	21.835	3.757	20.664	3965	79.3	OK
Lantai 3	Envelope Max	X	18.078	5.909	32.500	3965	79.3	OK
Lantai 2	Envelope Max	X	12.169	6.987	38.429	3965	79.3	OK
Lantai 1	Envelope Max	X	5.182	5.182	28.501	3965	79.3	OK

Berdasarkan Tabel L.12: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari  $\Delta_a$  (simpangan antar tingkat izin).

### A.6.2. Nilai Simpangan Gedung Model 2

Tabel L.13: Hasil analisa nilai simpangan gedung.

Story	Load Case/Combo	Direction	$\delta_{ex}$	$\delta_{xe} = (\delta_{ex} - \delta_{ex-1})$	$\Delta_x = \delta_{xe} \frac{C_{dx}}{I_e}$	$h_{sx}$	$\Delta_{ijin} = 0.020 h_{sx}$	Cek
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Lantai 6	Envelope Max	X	23.63	1.960	10.780	3965	79.3	OK
Lantai 5	Envelope Max	X	21.67	3.311	18.211	3965	79.3	OK
Lantai 4	Envelope Max	X	18.359	4.261	23.436	3965	79.3	OK
Lantai 3	Envelope Max	X	14.098	4.892	26.906	3965	79.3	OK
Lantai 2	Envelope Max	X	9.206	5.376	29.568	3965	79.3	OK
Lantai 1	Envelope Max	X	3.83	3.830	21.065	3965	79.3	OK

Berdasarkan Tabel L.13: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari  $\Delta_a$  (simpangan antar tingkat izin).

Keterangan :

$\delta_{ex}$  = Simpangan total

$\Delta_x$  = Simpangan antar lantai

## A.7. Pengaruh Efek P-Delta

### A.7.1. Pengaruh Efek P-Delta Model 1

Tabel L.14: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan.

Perhitungan P-Δ arah X Akibat Envelope Max								
Story	Px	Δ <sub>x</sub>	Ie	Vx	hsx	Cdx	$\theta_x = \frac{P_x \cdot \Delta_x \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_{dx}}$	Cek
	kN	mm		kN	mm			
Lantai 4	1361.9	20.664	1	225.4	3965	5.5	0.0057	P-Δ Diabaikan
Lantai 3	2841.8	32.500	1	393.8	3965	5.5	0.0108	P-Δ Diabaikan
Lantai 2	4343.7	38.429	1	513.5	3965	5.5	0.0149	P-Δ Diabaikan
Lantai 1	5845.6	28.501	1	576.1	3965	5.5	0.0133	P-Δ Diabaikan

### A.7.2. Pengaruh Efek P-Delta Model 2

Tabel L.15: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan.

Perhitungan P-Δ arah X Akibat Envelope Max								
Story	Px	Δ <sub>x</sub>	Ie	Vx	hsx	Cdx	$\theta_x = \frac{P_x \cdot \Delta_x \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_{dx}}$	Cek
	kN	mm		kN	mm			
Lantai 6	1361.9	10.780	1	133.6	3965	5.5	0.0050	P-Δ Diabaikan
Lantai 5	2841.8	18.211	1	224.4	3965	5.5	0.0106	P-Δ Diabaikan
Lantai 4	4321.6	23.436	1	287.0	3965	5.5	0.0162	P-Δ Diabaikan
Lantai 3	5823.5	26.906	1	339.2	3965	5.5	0.0212	P-Δ Diabaikan
Lantai 2	7325.5	29.568	1	386.3	3965	5.5	0.0257	P-Δ Diabaikan
Lantai 1	8827.4	21.065	1	417.0	3965	5.5	0.0204	P-Δ Diabaikan

Keterangan :

P-Delta diabaikan jika nilai  $\theta_x$  lebih kecil dari  $\theta_{max}$  dengan nilai  $\theta_{max}$  yaitu :

$$\theta_x = \frac{0.5}{\beta \cdot C_{dx}} < 0.25$$

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

### A.8.1. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 1

Tabel L.16: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x.

Story	Shear X	Drift X	Stiffness X	Kekakuan Tingkat Lunak		Keterangan
	KN	mm	KN/m	Tipe 1a	Tipe 1b	
4	225.440	3.757	60005.323			
3	393.821	5.909	66647.673	OK	OK	Tidak ada soft story
2	513.497	6.987	73493.216	OK	OK	Tidak ada soft story
1	576.078	5.182	111168.950	OK	OK	Tidak ada soft story

### A.8.2. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 2

Tabel L.17: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x.

Story	Shear X	Drift X	Stiffness X	Kekakuan Tingkat Lunak		Keterangan
	KN	mm	KN/m	Tipe 1a	Tipe 1b	
6	133.587	1.960	68156.582			
5	224.440	3.311	67786.016	OK	OK	Tidak ada soft story
4	286.972	4.261	67348.510	OK	OK	Tidak ada soft story
3	339.192	4.892	69336.141	OK	OK	Tidak ada soft story
2	386.349	5.376	71865.569	OK	OK	Tidak ada soft story
1	417.035	3.830	108886.449	OK	OK	Tidak ada soft story

### A.9. Ketidakberaturan Horizontal

Tabel L.18: Kontrol ketidakberaturan torsi pada model 1

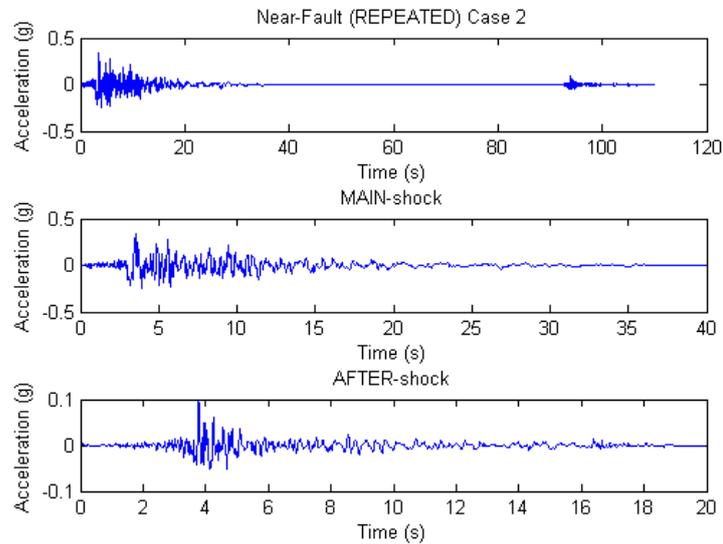
Story	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Keterangan
		Mm	mm		
Lantai 4	X	3.918	3.918	1	Reguler
Lantai 3	X	6.012	6.012	1	Reguler
Lantai 2	X	7.01	7.01	1	Reguler
Lantai 1	X	5.182	5.182	1	Reguler

Tabel L.19: Kontrol ketidakberaturan torsi pada model 1

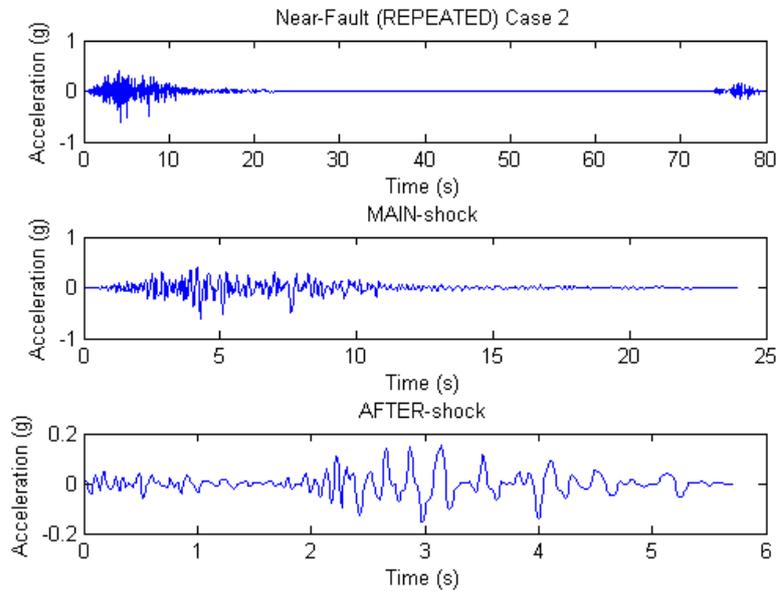
Story	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Keterangan
		Mm	mm		
Lantai 6	X	2.329	2.329	1	Reguler
Lantai 5	X	3.715	3.715	1	Reguler
Lantai 4	X	4.541	4.541	1	Reguler
Lantai 3	X	5.001	5.001	1	Reguler
Lantai 2	X	5.395	5.395	1	Reguler
Lantai 1	X	3.83	3.83	1	Reguler

### A.10. Ground Motion (Rekaman gempa)

Berikut adalah data *ground motion* yang terdiri dari gempa utama (*main shock*) dan gempa susulan (*after shock*).




(a)



(b)

Gambar L.1: (a) sampai (c) rekaman gempa utama (*main shock*), gempa susulan (*after shock*) dan gempa berulang.



(c)

Gambar L.1: (a) sampai (c) rekaman gempa utama (*main shock*), gempa susulan (*after shock*) dan gempa berulang (lanjutan).

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PESERTA

Nama lengkap : Nur Aziza Ulfa Nasution  
Tempat tanggal lahir : Rantau Prapat, 20 Oktober 1997  
Jenis kelamin : Perempuan  
Alamat : Dusun Satu Batu Satu Desa Aek Tapa Kecamatan Marbau  
Labuhanbatu Utara  
Agama : Islam  
No. HP : 082262629920  
Email : zezeulfa97@gmail.com

### RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negeri 115482 Tahun 2003 - 2009
2. SMP Negeri 1 Marbau Tahun 2009 - 2012
3. SMA Negeri 1 Marbau Tahun 2012 - 2015
4. Diploma III Universitas Negeri Medan Tahun 2015 - 2018
5. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2019 - selesai

