

TUGAS AKHIR

KINERJA GEMPA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS KOMPOSIT AKIBAT GERAKAN TANAH MENGANDUNG PULSE (Studi Literatur)

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

Disusun Oleh:

MILDA MAHRANI SIREGAR
1907210198P



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Milda Mahrani Siregar
NPM : 1907210198P
Program Studi : Teknik Sipil
Judul skripsi : Kinerja Gempa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
Komposit Akibat Gerakan Tanah Mengandung *Pulse*
Bidang ilmu : Struktur

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 07 Februari 2022

Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Milda Mahrani Siregar

NPM : 1907210198P

Program Studi : Teknik Sipil

Judul skripsi : Kinerja Gempa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
Komposit Akibat Gerakan Tanah Mengandung *Pulse*

Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan, 07 Februari 2022

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



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

Dosen Pembanding I



Rizki Efrida S.T.,M.T

Dosen Pembanding II



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

Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Milda Mahrani Siregar

Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 1997

NPM : 1907210198P

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul: “Kinerja Gempa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Komposit Akibat Gerakan Tanah Mengandung *Pulse*”.

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 kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses 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, 07 Februari 2022

Saya yang menyatakan,



Milda Mahrani Siregar

ABSTRAK

KINERJA GEMPA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS KOMPOSIT AKIBAT GERAKAN TANAH MENGANDUNG *PULSE* (*Studi Literatur*)

Milda Mahrani Siregar
1907210198P
Ade Faisal, S.T., M.Sc., PhD

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh adanya pelepasan energi regangan elastis batuan pada litosfir. Semakin besar energi yang dilepas semakin kuat gempa yang terjadi. Indonesia khususnya Kota Banda Aceh merupakan wilayah yang rawan gempa, sehingga bangunan bertingkat dapat mengalami kehancuran baik dalam kategori ringan, kecil, sedang, parah bahkan hancur total. 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. Struktur komposit memiliki kekakuan lebih besar dari pada struktur non komposit. Dalam tugas akhir ini akan mengevaluasi struktur komposit Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) 2 dimensi pada 2 model struktur yang difungsikan sebagai bangunan perkantoran yang terdapat di daerah Banda Aceh. Model 1 memiliki tinggi 15,86 m (4 lantai) bentang 10,98 m dengan jenis tanah keras (SC), Model 2 memiliki tinggi 23,79 m (6 lantai) bentang 10,98 m dengan jenis tanah batuan keras (SA). Analisa yang digunakan adalah Respon Spektrum sebagai tahap desain dan Respon Riwayat Waktu Nonlinear sebagai tahap evaluasi, dengan alat bantu *software* Program Analisa Struktur dan RUAUMOKO versi 04. Pada struktur bangunan akan dikenakan respon gempa tunggal yaitu gempa *no pulse* dan *Pulse*. Hasilnya menunjukkan bahwa model 1 memiliki simpangan *inter story drift* dan *top displacement* terbesar baik dengan gempa *no pulse* dan *Pulse* karena dipengaruhi oleh nilai perioda, berat bangunan itu sendiri, dan jenis tanahnya.

Kata kunci: Gempa bumi, *no pulse*, *pulse*, SRPMK, komposit.

ABSTRACT

PERFORMANCE OF COMPOSITE SPECIAL MOMENT RESISTANCE FRAME SYSTEMS DUE TO SOIL MOVEMENT CONTAINING PULSE (Study of literature)

Milda Mahrani Siregar
1907210198P
Ade Faisal, S.T., M.Sc., PhD

Earthquakes are natural phenomena caused by the release of elastic strain energy of rocks in the lithosphere. The greater the energy released, the stronger the earthquake that occurs. Indonesia, especially the city of Banda Aceh, is an earthquake-prone area, so that high-rise buildings can experience destruction in the categories of light, small, medium, severe and even completely destroyed. Therefore, a special design is needed for buildings in Indonesia that are able to withstand the earthquake forces that occur. One of them is a steel and concrete composite frame system where the use of the structure has been widely developed in various developed countries. Composite structures have greater rigidity than non-composite structures. In this final project, we will evaluate the composite structure of the 2-dimensional Special Moment Resistant Frame System (SRPMK) on 2 structural models that function as office buildings in the Banda Aceh area. Model 1 has a height of 15.86 m (4 floors) span 10.98 m with hard soil type (SC), Model 2 has a height of 23.79 m (6 floors) span 10.98 m with hard rock soil type (SA) . The analysis used is Spectrum Response as the design stage and Nonlinear Time History Response as the evaluation stage, with the tools of the Structural Analysis Program and RUAUMOKO version 04 software. The building structure will be subject to a single earthquake response, namely no pulse and pulse earthquake. The results show that model 1 has the largest inter story drift and top displacement with no pulse and pulse earthquakes because it is influenced by the period value, the weight of the building itself, and the type of soil.

Keywords: Earthquake, no pulse, pulse, SRPMK, composite.

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 “Kinerja Gempa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Komposit Akibat Gerakan Tanah Mengandung *Pulse* ” 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. Ibu Rizki Efrida S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc 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 Rustam Adi Siregar dan Ibu Nurhaida Harahap, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis serta abang, kakak dan Adik Penulis 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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Milda', with a large, stylized flourish above it.

Milda Mahrani Siregar

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	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Teori Gempa	5
2.3 Ground Motion (Getaran Tanah)	5
2.4 Respons Spektrum	6
2.5 Gempa Dekat (<i>Near-field</i>)	7
2.6 Gempa <i>Pulse</i>	7
2.7 Struktur Komposit	8
2.8 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	9
2.9 Karakteristik Bangunan Tahan Gempa	9
2.10 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019	10

2.11 Simpangan (<i>Drift</i>) Akibat Gaya Gempa	11
BAB 3 METODE PENELITIAN	12
3.1 Umum	12
3.2 Pemodelan Struktur	13
3.2.1 Data Perencanaan Struktur	13
3.2.2 Konfigurasi Bangunan	14
3.2.3 Dimensi Elemen Balok dan Kolom	15
3.3 Analisa Dinamik Struktur Linear	16
3.3.1 Pembebanan	16
3.3.2 Respons Spektrum Desain	17
3.3.3 Kombinasi Pembebanan	19
3.4 Metode Perhitungan Kuat Perlu Struktur Komposit	21
3.5 Analisa Dinamik Struktur Nonlinear	22
3.5.1 Ground motion Records (Data rekaman gempa)	22
3.5.2 Analisis Respons Riwayat Waktu	24
3.5.3 Momen Leleh (M_y)	25
3.5.4 Kapasitas Rotasi (θ_p)	26
3.5.5 Rotasi Leleh (θ_y)	26
3.5.6 Panel Zone	26
3.5.7 Diagram Interaksi Kolom	28
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Model Linier dan Non Linier	31
4.2 Hasil Analisa Linier	31
4.2.1 Respon Spektrum Ragam	31
4.2.2 Koreksi Gempa Dasar Nominal	32
4.2.3 Koreksi Faktor Redudansi	32
4.2.4 Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	33
4.2.5 Nilai Simpangan Gedung	33
4.2.6 Pengaruh Efek P-Delta	33
4.2.7 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (<i>Soft Story</i>)	34
4.3 Hasil Analisa Non Linier	34

BAB 5 KESIMPULAN	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Komponen Struktural Bangunan	16
Tabel 3.2 Berat Material Konstruksi Berdasarkan PPPURG 1987	16
Tabel 3.3 Beban Hidup Pada Lantai dan Atap Struktur Berdasarkan SNI 1727:2013	17
Tabel 3.4 Kombinasi Pembebanan Berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai $\rho = 1.3$, $S_{DS} = 1.239$ g	19
Tabel 3.5 Kombinasi Pembebanan Berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai $\rho = 1.3$, $S_{DS} = 0.826$ g	20
Tabel 3.6 Data Rekaman Getaran Gempa <i>No Pulse</i> dari PEER NGA	23
Tabel 3.6 Data Rekaman Getaran Gempa <i>Pulse</i> dari PEER NGA	23
Tabel 4.1 Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekivalen (V_1) dan Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum output Program Analisa Struktur v_t .	32
Tabel 4.2 Nilai V_t arah X	33
Tabel 4.3 Nilai simpangan atap (<i>top displacement</i>) dengan Gempa <i>No Pulse</i> pada analisa linear	37
Tabel 4.2 Nilai simpangan atap (<i>top displacement</i>) dengan Gempa <i>Pulse</i> pada analisa linear	37
Tabel 4.3 Nilai simpangan atap (<i>top displacement</i>) dengan Gempa <i>No Pulse</i> pada analisa nonlinear	37
Tabel 4.3 Nilai simpangan atap (<i>top displacement</i>) dengan Gempa <i>Pulse</i> pada analisa nonlinear	38
Tabel 4.5 Nilai rasio simpangan atap (<i>top displacement</i>)	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rekaman gempa Kern – County 1952 sebagai initial ground motion. (Samsul A., dkk, 2016).	6
Gambar 2.2 Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).	7
Gambar 2.3 Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).	8
Gambar 2.4 (a) Profil Baja Berselubung beton profil WF (a) dan (b) Profil Baja Berselubung beton profil king cross	8
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	12
Gambar 3.2 a) Denah struktur model 1 , b) Proyeksi bangunan model 1 (Etabs, 2016)	14
Gambar 3.3 a) Denah struktur model 2 , b) Proyeksi bangunan model 2 (Etabs, 2016)	15
Gambar 3.4 a) Respon spektrum untuk kelas situs SC, b) Respons spektrum untuk kelas situs SA	18
Gambar 3.5 a) Respon spektrum untuk kelas situs SC, b) Respons spektrum untuk kelas situs SA (lanjutan)	19
Gambar 3.6 Diagram interaksi P-M untuk balok-kolom komposit	30
Gambar 4.1 Nilai rata-rata inter story drift untuk struktur komposit SRPMK model 1 dengan jenis gempa <i>No Pulse</i> dan <i>Pulse</i> pada analisa linear	35
Gambar 4.2 Nilai rata-rata inter story drift untuk struktur komposit SRPMK model 2 dengan jenis gempa <i>No Pulse</i> dan <i>Pulse</i> pada analisa linear	35
Gambar 4.3 Nilai rata-rata inter story drift untuk struktur komposit SRPMK model 1 dengan jenis gempa <i>No Pulse</i> dan <i>Pulse</i> pada analisa nonlinear	36
Gambar 4.4 Nilai rata-rata inter story drift untuk struktur komposit SRPMK model 2 dengan jenis gempa <i>No Pulse</i> dan <i>Pulse</i> pada analisa linear	36

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 pada periode pendek
T	= Periode fundamental bangunan
T_a	= Periode fundamental pendekatan
$T_{a_{maksimum}}$	= Nilai batas atas periode bangunan
$T_{a_{minimum}}$	= 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
ϵ	= Total tegangan yang terjadi
ϵ_y	= Tegangan pada saat leleh
γ_{wy}	= Regangan leleh pada badan kolom
γ_{fy}	= Regangan leleh pada sayap kolom
μ_p	= Lendutan pada titik plastis
μ_y	= Lendutan pada titik leleh
Δ	= Simpangan antar tingkat desain
Δ_a	= Simpangan antar tingkat yang dizinkan
δ_x	= Defleksi pusat massa di tingkat x
δ_{xe}	= Defleksi pada lokasi yang ditentukan dengan analisis elastik
θ	= Koefisien stabilitas untuk pengaruh P-Delta
θ_p	= Koefisien Rotasi plastis

θ_{pc}	= Koefisien Rotasi pasca puncak
θ_u	= Rotasi pada batas ultimit
θ_y	= Rotasi pada saat leleh
ρ	= Faktor redundansi struktur
ω	= Kecepatan sudut
Ω_0	= Faktor kuat lebih sistem

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

Perancangan struktur gedung tahan gempa di Indonesia merupakan hal yang sangat penting, karena sebagian besar wilayahnya berada di wilayah gempa yang cukup tinggi. Dalam melakukan perencanaan struktur bangunan tingkat tinggi, beban gempa merupakan parameter yang sangat berpengaruh. Hal ini disebabkan karena beban gempa pada struktur tingkat tinggi lebih dominan dari beban gravitasi.

Sehingga perlu perlakuan khusus untuk mendapatkan struktur tahan gempa untuk menghindari kegagalan struktur akibat gempa. Robohnya struktur bangunan akibat gempa bumi mendorong para ahli untuk lebih mendalami efek gempa bumi dalam struktur bangunan.

Gempa besar terjadi di Indonesia seperti gempa Aceh 2004, gempa Nias 2005, dan gempa Yogyakarta 2006. Gempa - gempa tersebut besarnya di luar ruang lingkup peta gempa SNI 2002. Pada tahun 2009 dibentuk tim revisi peta gempa Indonesia yang terdiri para ahli seismologi, geologi, geoteknik, tomografi, sehingga diterbitkan peraturan gempa terbaru SNI-1726-2012 (Hastomi, 2013).

Struktur komposit merupakan kombinasi beton dengan baja profil yang membentuk suatu kesatuan dan bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Bila pada beton bertulang gaya-gaya tarik yang dialami suatu elemen struktur dipikul oleh besi tulangan, maka pada beton komposit gaya-gaya tarik tersebut dipikul oleh profil baja. 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, struktur 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 “KINERJA GEMPA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS KOMPOSIT AKIBAT GERAKAN TANAH MENGANDUNG NO PULSE DAN PULSE”

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah gaya gempa akan memberikan pengaruh simpangan pada struktur komposit Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus berdasarkan analisa linier?
2. Apakah gaya gempa akan memberikan pengaruh simpangan pada struktur komposit Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus berdasarkan analisa nonlinier?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

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 : - Simpangan atap dan Simpangan antar tingkat

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian pada tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui simpangan pada struktur komposit Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus akibat gempa berdasarkan analisa linier.
2. Untuk mengetahui simpangan pada struktur komposit Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus akibat gempa berdasarkan analisa nonlinier.

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 bagaimana kinerja gempa pada bangunan struktur komposit tersebut di Indonesia.

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB I 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 komposit, analisa struktur komposit sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK), dan konsep tentang kekuatan bangunan komposit terhadap gempa yang terjadi.

BAB III 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 komposit dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) terhadap gempa yang terjadi dengan menggunakan Program Analisa Struktur.

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

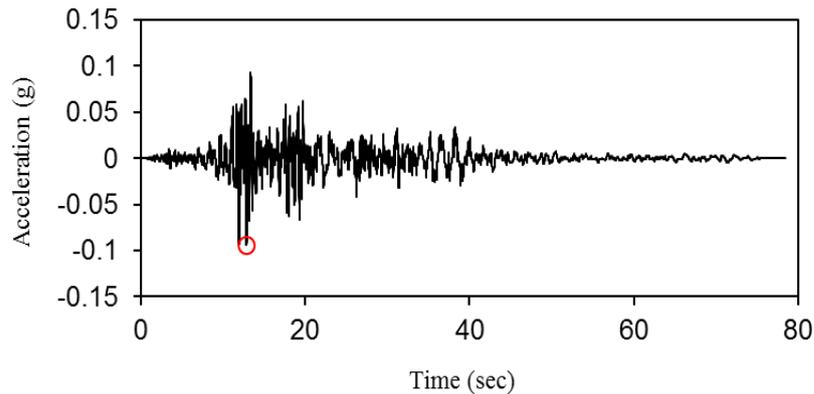
Pada Bab ini akan dibahas mengenai teori-teori dasar dan syarat-syarat atau ketentuan yang berhubungan dalam perencanaan struktur bangunan yang akan dianalisa, seperti struktur komposit, teori gempa, sistem struktur penahan gempa, tata cara perencanaan bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726:2019 dan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

2.2 Teori Gempa

Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Pengertian tersebut sekaligus menjawab mengapa permukaan tanah menjadi bergetar, yaitu akibat energi gempa yang merambat dari pusat gempa kesegala arah. Sebagaimana diketahui bahwa suatu kekuatan akan terkandung dalam suatu energi, artinya energi gempa akan menghasilkan suatu kekuatan yang dalam hal ini adalah getaran tanah (Pawiradikromo, 2012).

2.3 *Ground Motion* (Getaran Tanah)

Pada umumnya, pengertian gerakan tanah akibat gempa lebih banyak ditujukan pada percepatan tanah, sekaligus menjadi parameter utama. Gerakan tanah dengan makna seperti itu dimaksudkan sebagai terjemahan atas istilah *ground motions* yaitu suatu istilah yang populer dalam teknik gempa. Istilah tersebut kadang-kadang juga disebut *strong motions* untuk lebih menekankan pada percepatan tanah akibat gempa daripada respons-respons tanah yang lain. Selain percepatan tanah (*ground acceleration*), maka kecepatan gerakan (*ground velocity*) dan simpangan tanah (*ground displacement*) sangat umum dipakai sebagai sebutan tentang *ground motions* (Pawirodikromo, 2012).



Gambar 2.1: Rekaman gempa Kern – County 1952 sebagai *initial ground motion*. (Samsul A., dkk, 2016).

2.4 Respons Spektrum

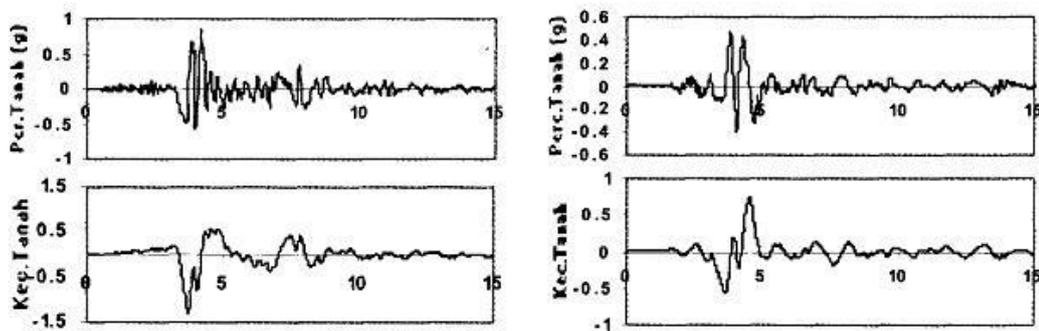
Respons spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T , lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu. Respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*Spectral Displacement, SD*), kecepatan maksimum (*Spectral Velocity, SV*) atau percepatan maksimum (*Spectral Acceleration, SA*) suatu massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*Single Degree of Freedom, SDOF*). Terdapat dua macam respons spektrum yang ada yaitu Respons Spektrum elastik dan Respons 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 elastik respons spektrum dengan tingkat daktilitas elemen tertentu (Pawirodikromo, 2012).

Menurut Bambang Budiono dan Lucky Supriatna (2011), Respons spektrum merupakan konsep pendekatan yang digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan. Definisi respons spektra adalah respons maksimum dari suatu sistem struktur Single Degree of Freedom (SDOF) baik percepatan (a), kecepatan (v), dan perpindahan (d) dengan struktur tersebut dibebani oleh gaya luar tertentu. Absis dari respons spektra adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respons spektra adalah respons maksimum.

2.5 Gempa Dekat (Near-field)

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 2.2.

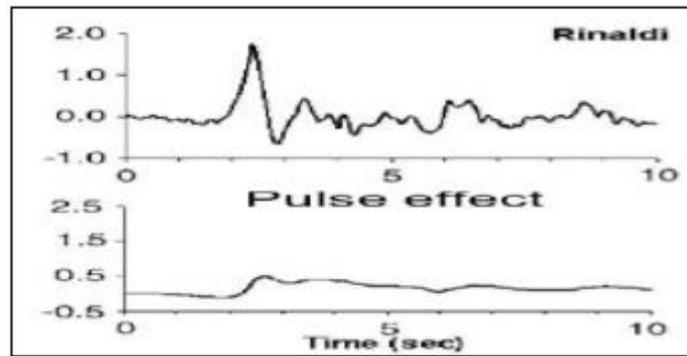


Gambar 2.2: Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).

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 gempanya.

2.6 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.

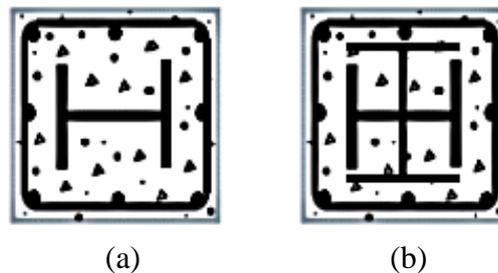


Gambar 2.2: Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).

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 .

2.7 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).



Gambar 2.4: (a) Profil Baja Berselubung beton profil WF (a) dan (b) Profil Baja Berselubung beton profil king cross.

Dalam struktur komposit baja-beton, keunggulan dua material dapat ditambahkan sementara kerugiannya dapat dikompensasikan dengan efek komposit. Dua sistem banyak digunakan pada anggota vertikal konstruksi komposit: diperkuat baja beton (SRC), di mana bagian baja terbungkus beton, dan tabung berisi beton (CFT) (Hu, 2016).

2.8 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Dalam penelitian Amrullah, dkk (2019) menyimpulkan bahwa 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.
4. Lebar nya tidak boleh kurang dari 250 mm dan lebih dari lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi tiga perempat tinggi komponen struktur lentur.

Faktor Reduksi Gempa (R) = 8,0.

2.9 Karakteristik Bangunan Tahan Gempa

Suatu bangunan yang baik pada daerah yang terletak berdekatan dengan daerah pertemuan lempengan benua seperti di Indonesia hendaknya didesain terhadap kemungkinan beban gempa yang akan terjadi di masa yang akan datang yang waktunya tidak dapat diketahui secara pasti. Berikut yang termasuk bangunan tahan gempa menurut Budiono dan Supriatna (2011) adalah:

1. Apabila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural (dinding retak, genting dan langit-langit

- jatuh, kaca pecah dan sebagainya) maupun pada komponen strukturalnya (kolom dan balok retak, pondasi amblas, dan lainnya).
2. Apabila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-strukturalnya akan tetapi komponen struktural tidak boleh rusak.
 3. Apabila terjadi gempa kuat, bangunan boleh mengalami kerusakan baik komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi jiwa penghuni bangunan tetap selamat, artinya sebelum bangunan runtuh masih cukup waktu bagi penghuni bangunan untuk keluar/mengungsi ketempat aman.

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

2.10 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 perubahan nilai SS dan $S1$ yang ada di beberapa kota di Indonesia. Dalam hal ini, tata cara perencanaan bangunan gedung tahan gempa menjadi lebih rasional dan akurat.

2.11 Simpangan (Drift) Akibat Gaya Gempa

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

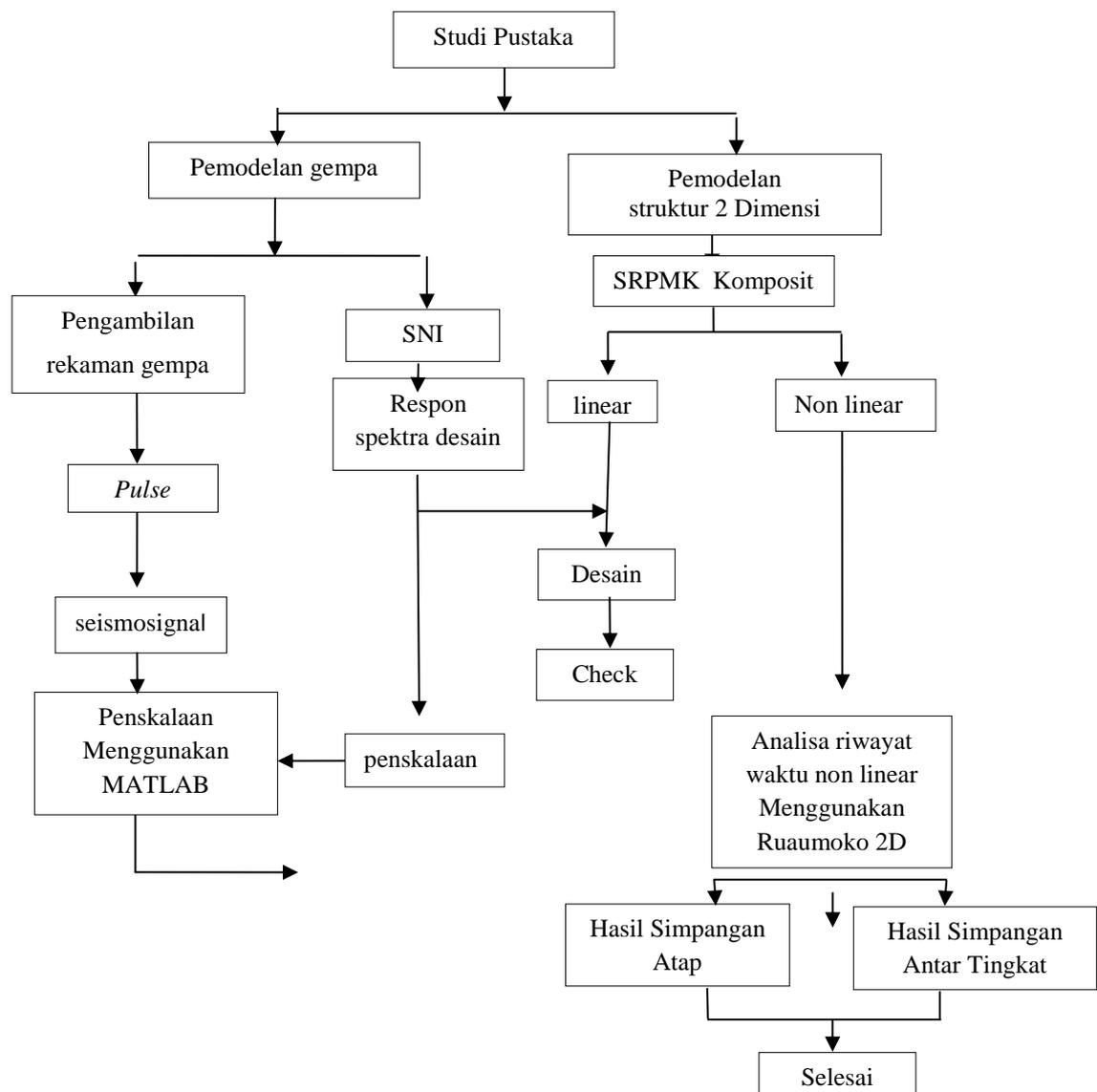
1. Kestabilan struktur (*structural stability*)
2. Kesempurnaan arsitektural (*architectural integrity*) dan potensi kerusakan bermacam-macam komponen non-struktur
3. Kenyamanan manusia (*human comfort*), sewaktu terjadi gempa bumi dan sesudah bangunan mengalami gerakan gempa.

Simpangan antar tingkat dari suatu titik pada suatu lantai harus ditentukan sebagai simpangan horizontal titik itu, relatif terhadap titik yang sesuai pada lantai yang berada dibawahnya. Untuk menjamin agar kenyamanan para penghuni gedung tidak terganggu maka dilakukan pembatasan-pembatasan terhadap simpangan antar tingkat pada bangunan. Pembatasan ini juga bertujuan untuk mengurangi momen-momen sekunder yang terjadi akibat penyimpangan garis kerja gaya aksial di dalam kolom-kolom (yang lebih dikenal dengan P-delta) (Anshari, 2019).

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Bab ini berisi tentang pemodelan struktur yang direncanakan. Struktur dianalisis menggunakan 2 *software* bantuan, yaitu Program Analisa Struktur dan Program Analisa Riwayat Waktu. 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 struktur komposit dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Model bangunan tersebut dianalisa secara Linear dan Non-Linear dengan menggunakan metode Analisa Respon Spektrum serta Analisa Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) dengan menggunakan software RUAUMOKO versi 04, untuk mendapatkan nilai simpangan atap (*top displacement*) dan simpangan antar tingkat (*interstory drift*) ketika bangunan telah dikenakan gempa tunggal. Kemudian nilai simpangan tersebut akan dibandingkan untuk setiap modelnya.

3.2 Pemodelan Struktur

1. Data Perencanaan Struktur

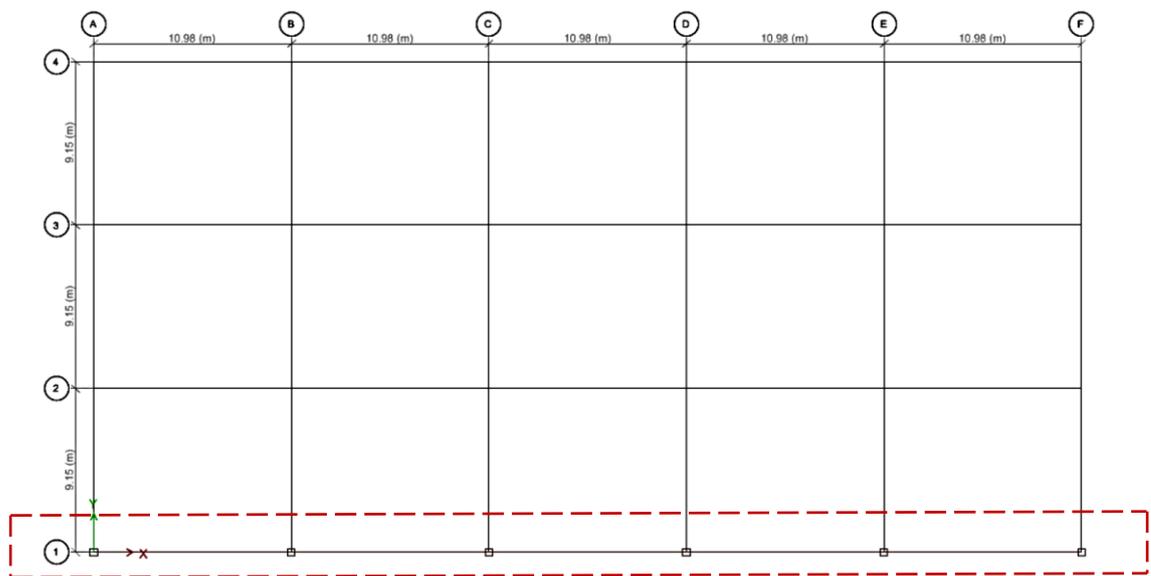
Adapun data perencanaan struktur yang digunakan pada keempat pemodelan dalam Program Analisa Struktur, yaitu:

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 baut yang digunakan adalah ASTM A490
 - a. Kuat leleh minimum (f_y) : 585.65 Mpa
 - b. Kuat tarik minimum (f_u) : 1033.5 Mpa
8. 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

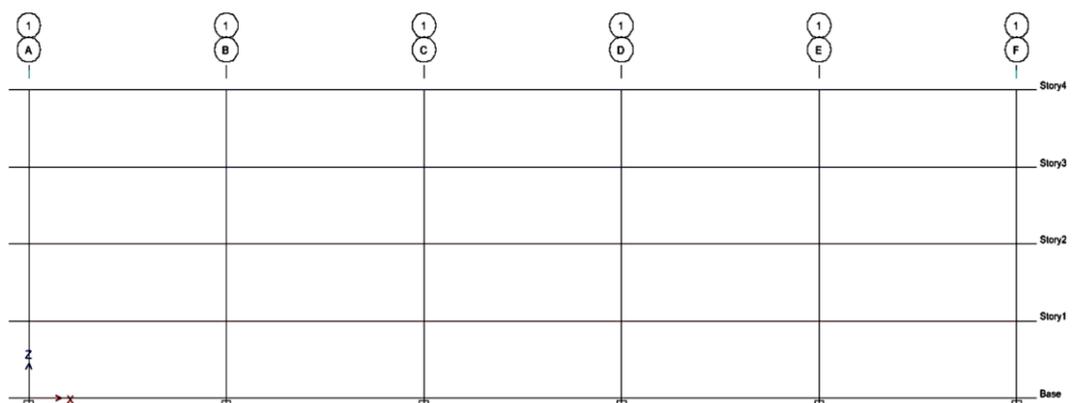
2. Konfigurasi Bangunan

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



(a)

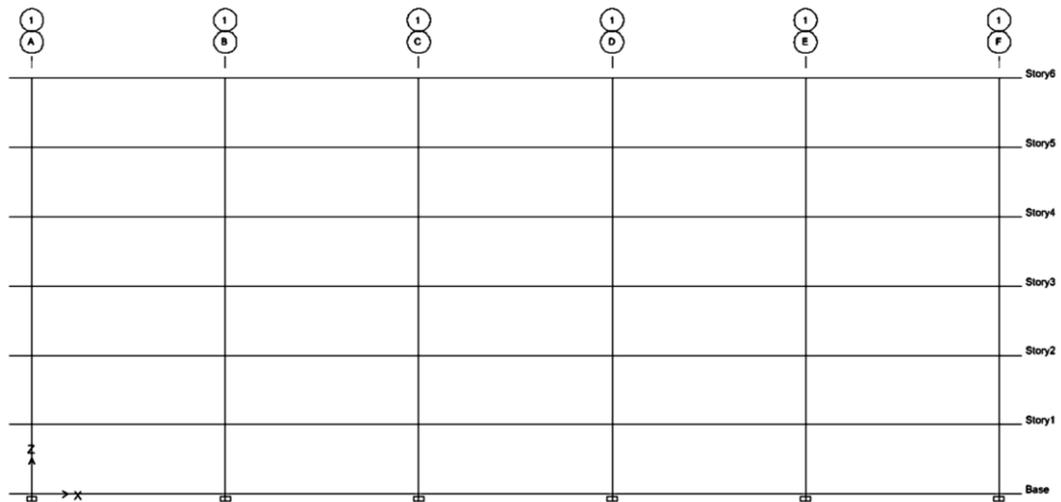


(b)

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. 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.

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 ³
Beton bertulang	2400 kg/m ³
Plafon dan penggantung	18 kg/m ²
Adukan /cm dari semen	21 kg/m ²
Pasangan bata setengah batu	250 kg/m ²
Penutup lantai dari keramik	24 kg/m ²

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

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

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

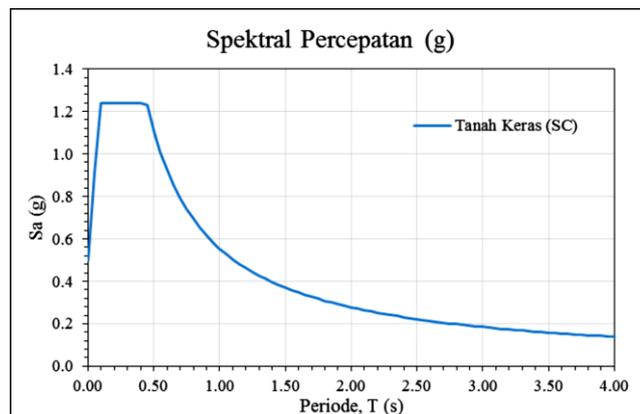
2. Respons Spektrum Desain

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

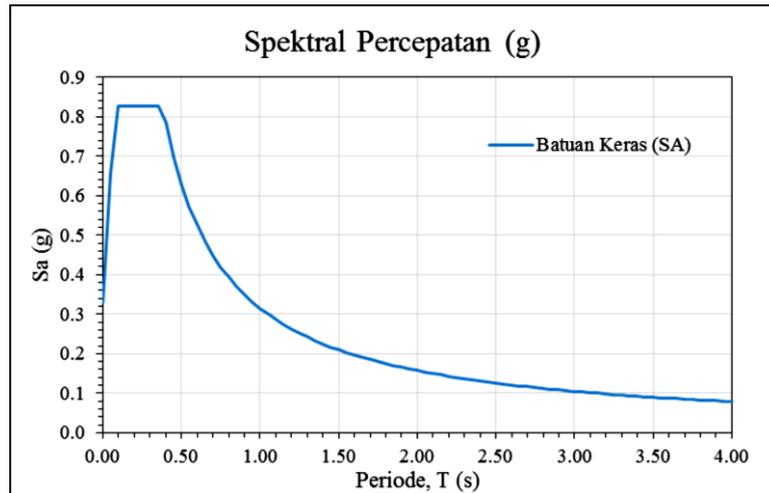
Nama Kota	: Banda Aceh
Kelas Situs	: SA – Batuan Keras
SS	: 1.549100 g
S1	: 0.589700 g
TL	: 14 s
Fa	: 0.800
Fv	: 0.800
SMS = Fa.SS	: 1.239 g
SM1 = Fv.S1	: 0.472 g
SDS = 2/3 SMS	: 0.826 g
SD1 = 2/3 SM1	: 0.315 g
T0 = 0.2 SD1/SDS	: 0.076 s
TS = SD1/SDS	: 0.381 s

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)

Gambar 3.4: a) Respon spektrum untuk kelas situs SC, b) Respons spektrum untuk kelas situs SA.



(b)

Gambar 3.5: a) Respon spektrum untuk kelas situs SC, b) Respons spektrum untuk kelas situs SA (lanjutan).

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	-	-
	$(1.2 + 0.2 S_{DS})DL + 1.0 LL + \rho (\pm 30\% QEx \pm 100\% QEy)$			
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_x)	Koefisien (E_y)
	$(1.2 + 0.2 S_{DS})DL + 1.0 LL + \rho (\pm 100\% Q_{Ex} \pm 30\% Q_{Ey})$			
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_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	1.365	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, τ_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 :

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

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

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

3. Kekuatan Lentur

Kekuatan lentur positif desain, $\phi_b M_n$, dan kekuatan lentur positif yang diizinkan, M_n/Ω_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: Data Rekaman Getaran Gempa *No Pulse* dari PEER NGA

No	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun	Magnitude
1	"Northridge-01"	1994	"Beverly Hills - 12520 Mulhol"	6.69
2	"Northridge-01"	1994	"Arleta - Nordhoff Fire Sta"	6.69
3	"Northridge-01"	1994	"Big Tujunga_ Angeles Nat F"	6.69

Tabel 3. 7: Data Rekaman Getaran Gempa *Pulse* dari PEER NGA

No	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun	Magnitude
1	"Imperial Valley-01"	1938	"El Centro Array #9"	5.00
2	"Landers"	1992	"La Crescenta - New York"	7.28
3	"Coalinga-01"	1983	"Pleasant Valley P.P. - yard"	6.36

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

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*

3.5.3 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 II.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 (θ_p)

a. 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.

b. 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).

3.5.5 Rotasi Leleh (θ_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 θ_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 (γ_{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 (γ_{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 (γ_{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 (τ_{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 = 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)

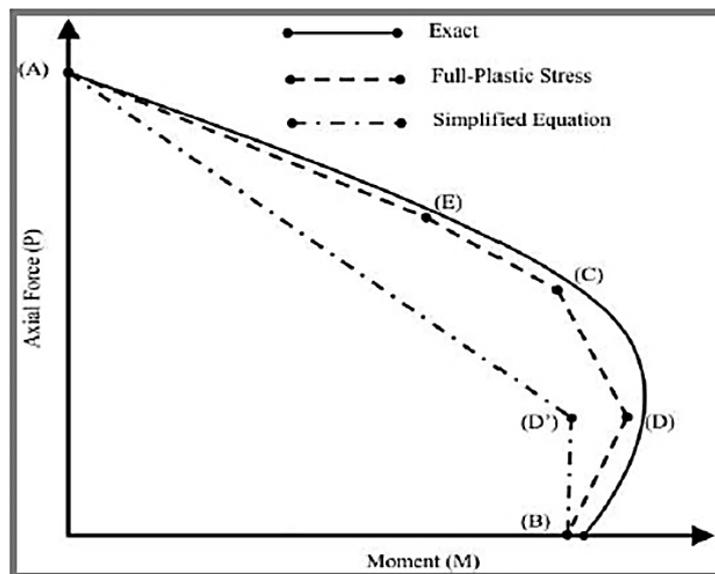
$$P_E = \frac{1}{2} (0.85f'_c) A_c + 0.85f'_c h_1 h_2 + 4F_y t_w h_E$$

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

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

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

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



Gambar 3.6: 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 Redundansi

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.

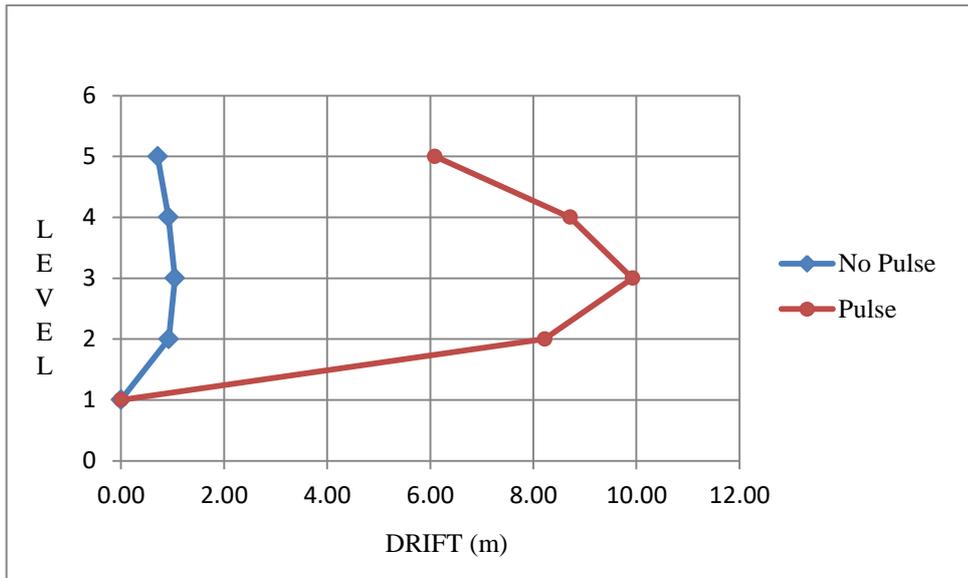
4.2.7 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)

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*.

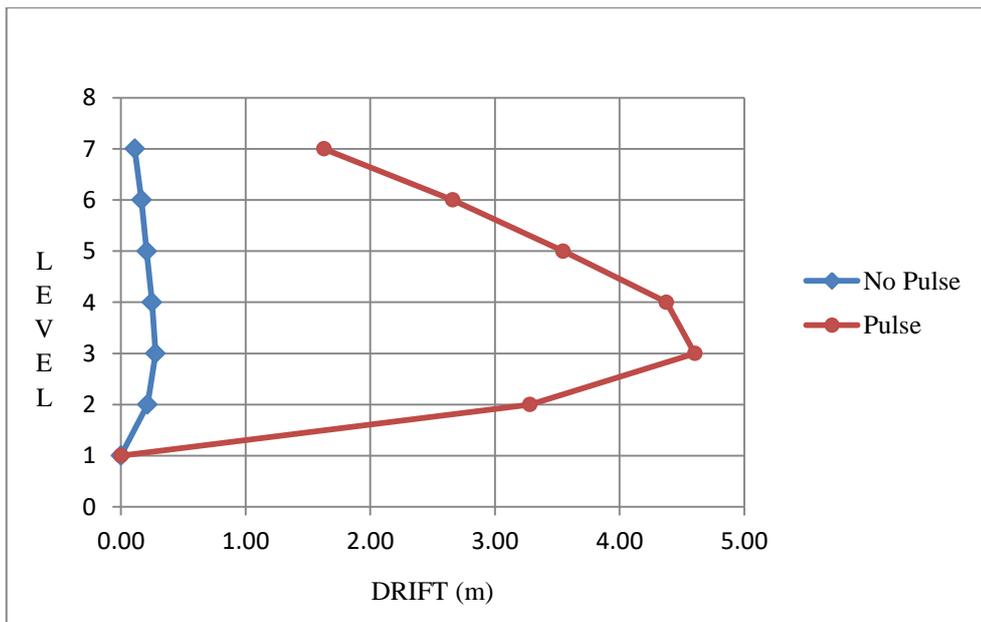
Untuk hasil perhitungan terdapat pada Lampiran A8.

4.3 Hasil Analisa Non Linier

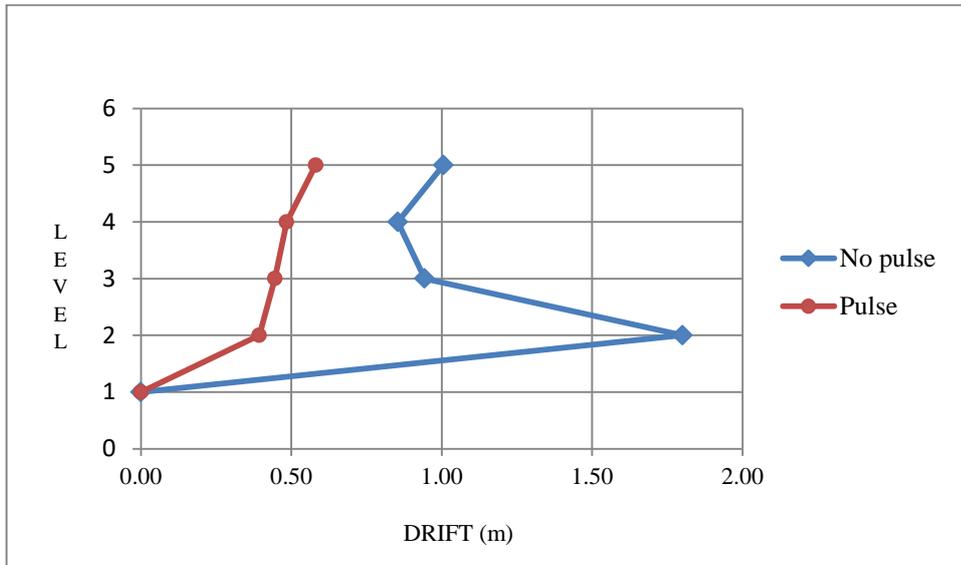
Pada tahap ini merupakan bagian dari evaluasi struktur komposit yang telah di desain terhadap beban gempa yang telah direncanakan, dalam hal ini respon struktur akan ditinjau terhadap perbedaan beberapa rekaman gempa *no pulse* dan *Pulse* dan perioda struktur bangunan. Perbedaan nilai perioda didapat dari kedua jenis model yang telah didesain. Setiap model struktur akan diambil data *inter story drift* dan *top displacement* setelah dianalisis, nilai tersebut dibandingkan terhadap faktor-faktor yang telah disebutkan di atas. Pada gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan beberapa grafik hasil analisis *interstory drift* rekaman gempa *no pulse* dan *Pulse*. Pada grafik *inter story drift* yang ditampilkan merupakan hasil dari beberapa *ground motion* dan nilai rata-rata nya. Kemudian nilai nilai dari hasil analisa nonlinear gempa *no pulse* tersebut dibandingkan dengan hasil analisa nonlinear gempa *Pulse* untuk mendapatkan berapa rasio untuk simpangan atap (*top displacement*).



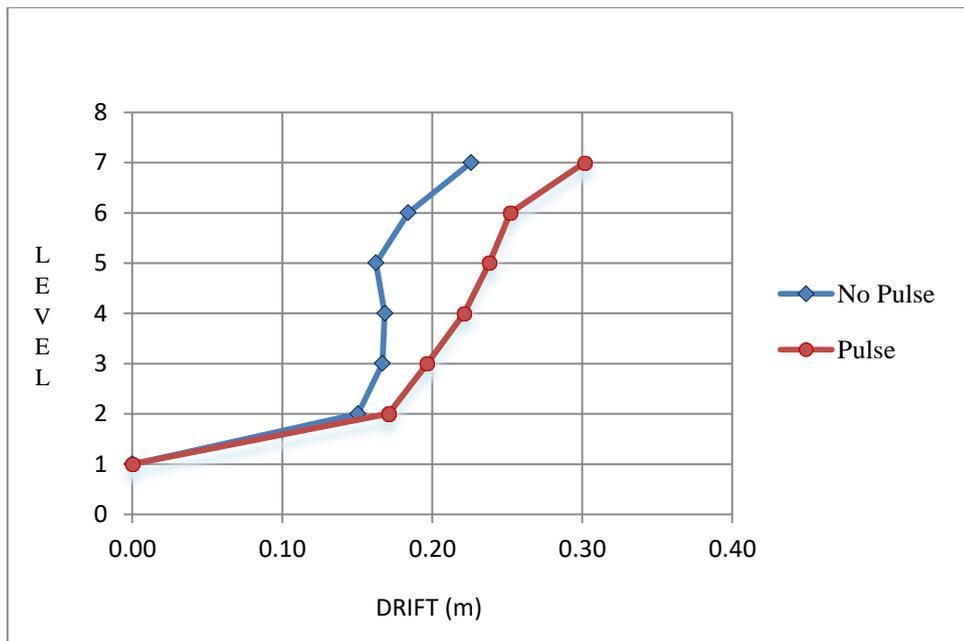
Gambar 4.1: Nilai rata-rata *inter story drift* untuk struktur komposit SRPMK model 1 dengan jenis gempa *No Pulse* dan *Pulse* pada analisa linear.



Gambar 4.2: Nilai rata-rata *inter story drift* untuk struktur komposit SRPMK model 2 dengan jenis gempa *No Pulse* dan *Pulse* pada analisa linear.



Gambar 4.3: Nilai rata-rata *inter story drift* untuk struktur komposit SRPMK model 1 dengan jenis gempa *No Pulse* dan *Pulse* pada analisa nonlinear.



Gambar 4.4: Nilai rata-rata *inter story drift* untuk struktur komposit SRPMK model 2 dengan jenis gempa *No Pulse* dan *Pulse* pada analisa nonlinear.

Tabel 4.3: Nilai simpangan atap (*top displacement*) dengan Gempa *No Pulse* untuk analisa linear.

<i>Ground Motion</i>	<i>Displacement (m)</i>	
	Model 1	Model 2
4GNOP01	2.102	0.686
4GNOP02	1.452	0.452
4GNOP03	6.389	2.081
Rata-Rata	3.314	1.073

Tabel 4.4: Nilai simpangan atap (*top displacement*) dengan Gempa *Pulse* untuk analisa linear.

<i>Ground Motion</i>	<i>Displacement (m)</i>	
	Model 1	Model 2
4GP01	81.370	50.610
4GP02	13.120	7.682
4GP03	0.661	0.370
Rata-Rata	31.717	19.554

Tabel 4.5: Nilai simpangan atap (*top displacement*) dengan Gempa *No Pulse* untuk analisa nonlinear.

<i>Ground Motion</i>	<i>Displacement (m)</i>	
	Model 1	Model 2
4GNOP01	3.447	0.629
4GNOP02	2.594	0.296
4GNOP03	4.141	1.008
Rata-Rata	3.394	0.644

Tabel 4.6: Nilai simpangan atap (*top displacement*) dengan Gempa *Pulse* untuk analisa nonlinear.

<i>Ground Motion</i>	<i>Displacement (m)</i>	
	Model 1	Model 2
4GP01	0.550	0.379
4GP02	3.621	1.985
4GP03	0.834	0.822
Rata-Rata	1.668	1.062

Tabel 4.7: Nilai rasio simpangan atap (*top displacement*).

Model	Jenis Gempa	Linear	Nonlinear	Rasio
Model 1	<i>No Pulse</i>	3.314	3.394	0.976
	<i>Pulse</i>	31.717	1.668	19.015
Model 2	<i>No Pulse</i>	1.073	0.644	1.666
	<i>Pulse</i>	19.554	1.062	18.412

Pada Tabel 4.3 sampai pada Tabel 4.6 merupakan hasil dari simpangan atap (*top displacement*) analisa linear dan nonlinear pada 2 model yang digunakan. Dapat dilihat dalam table 4.7 bahwa rasio terbesar dengan membandingkan nilai analisa linear dengan analisa nonlinear dari gempa *no pulse* dan gempa *pulse*, untuk gempa *no pulse* terdapat pada model 2 yaitu gedung 6 lantai bentang 10.98 m dengan nilai rasio sebesar 1.666. Sedangkan untuk gempa *pulse* terdapat pada model 1 yaitu gedung 4 lantai bentang 10.98 m dengan nilai rasio sebesar 19.015.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai maksimum untuk simpangan antar lantai untuk analisa linear terjadi pada struktur Model 1 terhadap gempa no pulse, yaitu sebesar 1.045 m, sedangkan terhadap gempa pulse sebesar 9.925 m. Nilai maksimum untuk simpangan atap juga terjadi pada struktur Model 1, terhadap gempa no pulse sebesar 3.314 m, sedangkan terhadap gempa pulse sebesar 31.717 m.
2. Nilai maksimum untuk simpangan antar lantai untuk analisa nonlinear terjadi pada struktur Model 1 terhadap gempa no pulse, yaitu sebesar 1.801 m, sedangkan terhadap gempa pulse sebesar 0.581 m. Nilai maksimum untuk simpangan atap juga terjadi pada struktur Model 1, terhadap gempa no pulse sebesar 3.394 m, sedangkan terhadap gempa pulse sebesar 1.668 m. Nilai rasio simpangan tidak elastis akibat gempa pulse yang terbesar terjadi pada Model 2, sedangkan akibat gempa pulse terjadi pada struktur Model 1.

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 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

- Amrullah, W., Tony H. B., Julistyana T. (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.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural (SNI 1729:2020)*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Budiono, B., dan Supriatna, L. (2011). *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201x*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Hu, J. W. (2016). *Smart Connection System Design and Seismic Analysis*. CRC Press/Balkema.
- Kalkan, E., dan Kunnath, K. (2006). Effects of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response of Buildings. *Earthquake Spectra*, 22(2), 367–390.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.
- Rendra, R. (2015). *Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa Dengan Metode Respon Spektrum Dan Time History*. Tekno, pp. 153-160.
- Samsul A., Bagus J. S., dan Bambang S. (2016). *round Motion Modeling Wilayah Sumatera Selatan Berdasarkan Analisis Bahaya Gempa Probabilistik*.
- Wang, J., dan Huijie Z. (2017). *Seismic performance assessment of blind bolted steel-concrete composite joints based on pseudo-dynamic testing*, 131 (2017). 192–206.



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

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

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : MILDA MAHRANI SIREGAR
NPM : 1907210188P
JUDUL : "KINERJA GEMPA SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN KHUSUS KOMPOSIT AKIBAT
GERAKAN TANAH MENGANDUNG *PULSE*."

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
		all proposal!	
		Dapat semua proposal!	Stu 02/21
-		perbaiki bab 1 pd Tujuan	
-		lanjut ke bab 2 & buat model	Stu 10/03/21
-		perbaiki bab 2	
-		perbaiki model linear	Stu 20/03/21
-		Cek model linear (translasi)	
-		buat grafiknya	Stu 15/04/21
-		lanjut ke bab 3	
-		lanjut ke model non-linear	Stu 11/05/21
-		perbaiki model non-linear	
-		elemen komposit (kolom)	Stu 21/05/21
-		perbaiki bab 3	
-		Cek hasil analisis model non-linear	
-		Buat grafik 10R nya	Stu 17/07/21
-		perbaiki model non-linear	Stu 23/08/21
-		perbaiki grafik result	
-		perbaiki model nya	Stu 15/09/21

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir

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



UMSU
Unggul | Cordas | Terpercaya

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

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

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : MILDA MAHRANI SIREGAR
NPM : 1907210188P
JUDUL : "KINERJA GEMPA SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN KHUSUS KOMPOSIT AKIBAT
GERAKAN TANAH MENGANDUNG PULSE."

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
-		buat perbandingan hasil pulse	Sh 07/21
-		dan no pulse	Sh 07/21
-		amplifier ke bab 4	
-		grafiknya dibuat utk pulse	Sh 16/21
-		dan no pulse	
-		Cek satuan in dan cm	Sh 11/21
-		buat kerangka	
-		perbaiki kerangka	
-		buat daftar isi, pustaka	Sh 21/21
-		perbaiki Bab 4 & kerangka	
-		perbaiki 16 slide	Sh 20/21
-		perbaiki kerangka & Bab 4	
-		Daft. pustaka	Sh 05/21
		All dapat diteminaskan	Sh 08/21

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir

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

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama lengkap : Milda Mahrani Siregar
Tempat tanggal lahir : Simatorkis, 23 April 1997
Jenis kelamin : Perempuan
Alamat : Lingkungan VI, Simatorkis Sisoma, Angkola Barat
Agama : Islam
No. HP : 081377304292
Email : mildamahrani23@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

- | | |
|--|----------------------|
| 1. TK ABA Simatorkis | Tahun 2002 - 2003 |
| 2. SD Negeri 100101 Simatorkis | Tahun 2003 - 2009 |
| 3. SMP Negeri 4 Padangsidimpuan | Tahun 2009 - 2012 |
| 4. SMA Negeri 1 Padangsidimpuan | Tahun 2012 - 2015 |
| 5. Diploma III Politeknik Negeri Medan | Tahun 2015 - 2018 |
| 6. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara | Tahun 2019 - selesai |