

TUGAS AKHIR

SRPMM BETON BERTULANG TERHADAP GEMPA DI GEDUNG UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUMATERA UTARA SETELAH RETROFITTING DENGAN FIBER REINFORCED POLYMER

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

Diajukan Oleh :

**MUHAMMAD NUR FADLI
NPM : 1507210243**



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Muhammad Nur Fadli
NPM : 1507210243
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Srpmm Beton Bertulang Terhadap Gempa Di Gedung
Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Setelah
Retrofitting Dengan Fiber Reinforced Polymer
Bidang Ilmu : Struktur

Disetujui Untuk Disampaikan Kepada
Panitia Ujian

Medan, 19 September 2022

Dosen Pembimbing I



Dr. Ade Faisal, ST.,MSc

Dosen Pembimbing II



Sri Frafanti ST,MT

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Nur Fadli
NPM : 1507210243
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Srpm Beton Bertulang Terhadap Gempa Di Gedung Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Setelah Retrofitting Dengan Fiber Reinforced Polymer
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, 19 September 2022

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dr. Ade Faisal, ST.,MSc

Dosen Pembimbing II



Sri Frafanti ST,MT

Dosen Penguji I



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST.,MSc

Dosen Penguji II



Rizki Efrida, S.T, M.T

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST.,MSc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Nur Fadli
Tempat/Tanggal Lahir : Medan / 21 - Oktober - 1997
NPM : 1507210243
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Srpmm Beton Bertulang Terhadap Gempa Di Gedung Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Setelah Retrofitting Dengan Fiber Reinforced Polymer”.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya Karena hubungan material dan non-material, atau pun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil 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 atau pun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 19 September 2022

Saya yang menyatakan,



Muhammad Nur Fadli

ABSTRAK

SRPMM BETON BERTULANG TERHADAP GEMPA DI GEDUNG UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUMATERA UTARA SETELAH RETROFITTING DENGAN FIBER REINFORCED POLYMER (STUDI LITERATUR)

Muhammad Nur Fadli
1507210243
Dr. Ade Faisal
Sri Frapanti ST,MT

Struktur Bangunan Gedung Kuliah UINSU yang berlokasi di Medan direncanakan sebagai suatu struktur gedung beton bertulang yang terdiri dari 3 lantai. Pada tahap awal desain, struktur direncanakan terhadap beban gempa sesuai dengan SNI-03-1726-2019 (Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung) yang didasarkan pada Peta Gempa 2017 di kota Medan, dan jika struktur gagal menahan beban yang telah di tentukan dari SNI 03-2847-2019 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung) maka struktur perlu di evaluasi untuk retrofit menggunakan FRP (Fiber Reinforced Polymer) pada penampang kolom saja. Studi ini bertujuan untuk mengetahui berapa banyak penampang yang perlu di retrofit dan seberapa banyak FRP yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan pada struktur yang rusak. Hasil analisis yang diperoleh dari Program ETABS Versi 16 menunjukkan bahwa telah terjadi kerusakan pada struktur lantai 1 sebanyak 16 kolom dan di retrofit menggunakan Produk Sika Wrap 231 C sebanyak 2 lapis, lantai 2 sebanyak 19 kolom dan di retrofit menggunakan Produk Sika Wrap 231 C sebanyak 2 lapis, lantai 3 sebanyak 20 kolom dan di retrofit menggunakan Produk Sika Wrap 231 C sebanyak 2 lapis.

Kata kunci: Beton bertulang, Kolom, Retrofit, FRP, UINSU.

ABSTRACT

SRPMM REINFORCED CONCRETE AGAINST EARTHQUAKE IN NORTH SUMATERA ISLAMIC UNIVERSITY BUILDING AFTER RETROFITTING WITH FIBER REINFORCED POLYMER (STUDY OF LITERATURE)

Muhammad Nur Fadli
1507210243
Dr. Ade Faisal
Sri Frapanti ST,MT

The structure of the UINSU Lecture Building located in Medan is planned as a reinforced concrete structure consisting of 3 floors. At the initial design stage, the structure is planned for earthquake loads in accordance with SNI-03-1726-2019 (Earthquake Resistance Planning Standards for Building and Non-Building Structures) based on the 2017 Earthquake Map in the city of Medan, and if the structure fails to withstand the loads that have been determined from SNI 03-2847-2019 (Structural Concrete Requirements for Buildings) then the structure needs to be evaluated for retrofit using FRP (Fiber Reinforced Polymer) on the column section only. This study aims to determine how many cross sections need to be retrofitted and how much FRP is needed to meet the needs of the damaged structure. The results of the analysis obtained from the ETABS Version 16 program indicate that there have been damage to the structure of the 1st floor as many as 16 columns and retrofitted using 2 layers of Sika Wrap 231 C Products, 19 columns on the 2nd floor and retrofitted using 231 C Sika Wrap Products. layers, the 3rd floor has 20 columns and is retrofitted using 2 layers of Sika Wrap 231 C Products.

Keywords: Reinforced concrete, Column, Retrofit, FRP, UINSU.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatulahi Wabarakatuh puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala yang telah memberikan limpahan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "SRPMM Beton Bertulang Terhadap Gempa Di Gedung Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Setelah Retrofitting Dengan Fiber Reinforced Polymer". Penelitian ini merupakan kewajiban bagi penulis guna memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan program Strata-1 Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak yang tidak ternilai harganya.

Dalam segala keterbatasan penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan para pembaca berkenan memberikan saran dan masukan yang bersifat membangun demi ketepatan pada Tugas Akhir ini.

Untuk itu dalam kesempatan ini dengan ketulusan hati penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah bersedia mendoakan, membantu, memotivasi, membimbing, dan mengarahkan selama penyusunan skripsi. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih sebesar - besarnya terutama kepada:

1. Bapak Dr. Ade Faisal, Selaku Dosen Pembimbing I.
2. Ibu Sri Frapanti ST,MT., Selaku Dosen Pembimbing II.
3. Bapak Fahrizal Zulkarnain ST, MT. Selaku Dosen Pembimbing I.
4. Ibu Rizki Efrida, S.T, M.T. Selaku Dosen Pembimbing II.
5. Bapak Munawar Alfanshury ST,MT., Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu Teknik kepada penulis.

7. Kedua orang tua Ibunda Almh. Nurmiati Sitorus dan Ayahanda Alm. Suriono yang telah merawat dan membesarkan serta memberi pendidikan untuk saya sehingga dapat melakukan Tugas Akhir ini.
8. Nursuriyani selaku saudara kandung yang menjadi penyemangat dan motivasi untuk berlomba lomba membahagiakan kedua orang tua.
9. Stambuk 15, Selaku Sahabat yang setia menemani dan membantu saat pengerjaan Tugas Akhir ini.
10. Sahabat – sahabat penulis: Reja Saputra, Posman A. Sitompul, Risky Harahap, Ryan Ismanto, Harwin Harahap, dan Erzalasis Dakhi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna baik dari segi materi maupun penulisannya, untuk itu dengan kerendahan hati penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna menyempurnakan skripsi ini dari semua pihak.

Akhir kata penulis ucapkan banyak terimakasih semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pembaca dan dapat memperluas cakrawala pemikiran kita dimasa yang akan datang dan berharap skripsi ini dapat menjadi lebih baik kedepannya Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 14 September 2022

Penulis

Muhammad Nur Fadli
1507210243

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xv
DAFTAR SINGKATAN	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Ruang Lingkup	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Sistematika Pembahasan	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Umum	8
2.2. Teori Gempa	8
2.3. Filosofi Desain Bangunan Tahan Gempa	9
2.4. Sistem Rangka Pemikul Momen	11
2.5. Peraturan Pembebanan Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2019	15
2.6. Perkuatan (Retrofitting)	27
2.7. Penggunaan Fiber Reinforced Polymer (FRP)	30
BAB 3 METODE PENELITIAN	35
3.1. Bagan Alir Penelitian	35
3.2. Pemodelan Struktur	36
3.3. Analisa Struktur	38
3.4. Model Gedung di Lapangan	42

3.5.	Analisis Respon Spektrum	46
3.6.	Penambahan Fiber Reinforced Polymer (FRP)	47
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		52
4.1.	Umum	52
4.2.	Analisis Struktur Gedung Kuliah Universitas Islam Negeri Sumatera Utara	52
4.3.	Gaya Geser	52
4.4.	Cek Penampang Kolom Gedung UINSU	62
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		69
5.1.	Kesimpulan	69
5.2.	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA		71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019.	15
Tabel 2.2	Faktor keutaman gempa (SNI 03-1726-2019).	15
Tabel 2.3	Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2019.	16
Tabel 2.4	Koefisien perioda pendek (F_a) berdasarkan SNI 1726:2019.	17
Tabel 2.5	Koefisien perioda 1,0 detik (F_v) berdasarkan SNI 1726:2019.	17
Tabel 2.6	Koefisien Batasan Sistem Struktur.	20
Tabel 2.7	Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x berdasarkan SNI 1726:2019.	21
Tabel 2.8	Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2019.	22
Tabel 2.9	Prosedur analisa yang boleh digunakan.	23
Tabel 2.10	Karakteristik Fiber (Simonelli, 2005).	30
Tabel 3.1	Komponen structural bangunan.	37
Tabel 3.2	Berat material konstruksi berdasarkan PPURG 1987.	38
Tabel 3.3	Beban hidup pada lantai dan atap struktur berdasarkan SNI 1727:2020.	38
Tabel 3.4	Faktor reduksi gempa berdasarkan SNI 1726:2019.	39
Tabel 3.5	Respons Spektrum SNI 1726:2012 Daerah, Kota Medan dengan jenis tanah Lunak.	40
Tabel 3.6	Perbandingan berat isi baja dan FRP.	47
Tabel 3.7	Perbandingan kuat tarik dan tekan bahan baja dan FRP.	47
Tabel 3.8	Perbandingan berat dan tebal bahan baja dan FRP.	47

Tabel 3.9	Klasifikasi Data Sika Wrap 231 C.	49
Tabel 3.10	Klasifikasi Data Sika Plat Carbodur S 1012.	50
Tabel 4.1	Gaya geser dasar nominal hasil analisis ragam respons spektrum.	51
Tabel 4.2	Pengecekan story shear dengan 35% base shear terhadap redundansi 1,0 untuk Model 1 di lapangan terhadap gempa x.	53
Tabel 4.3	Pengecekan story shear dengan 35% base shear terhadap redundansi 1,0 untuk Model 1 di lapangan terhadap gempa y.	53
Tabel 4.4	Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1729-2012 dengan nilai $\rho = 1,3$ dan $SDS = 0,7023$.	54
Tabel 4.5	Gaya geser hasil output analisis respons spektrum gempa x.	56
Tabel 4.6	Gaya geser hasil output analisis respons spektrum gempa y.	57
Tabel 4.7	Nilai simpangan gedung Model 1 di lapangan akibat gempa x, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726-2019.	58
Tabel 4.8	Nilai simpangan gedung Model 1 di lapangan akibat gempa x, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726-2019.	59
Tabel 4.9	Kontrol P-delta pada arah x di Lapangan.	60
Tabel 4.10	Kontrol P-delta pada arah y di Lapangan.	60
Tabel 4.11	Perbandingan V_u dan V_n pada Struktur Kolom lantai 1.	61
Tabel 4.12	Perbandingan V_u dan V_n pada Struktur Kolom lantai 2.	63
Tabel 4.13	Perbandingan V_u dan V_n pada Struktur Kolom lantai 3	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Zonasi Gempa di Indonesia.	2
Gambar 2.1	Histeresis di sendi plastis yang stabil (Pawirodikromo, 2012).	10
Gambar 2.2	Respon gaya-perpindahan struktur kondisi elastis dan inelastic	13
Gambar 2.3	Hubungan antara faktor modifikasi respon (R), faktor kuat lebih struktur (Ω), dan faktor reduksi daktilitas ($R\mu$).	14
Gambar 2.4	Spektrum respons desain.	19
Gambar 2.5	Dinding Geser (Sheer Wall).	27
Gambar 2.6	Jacketing Concrete.	28
Gambar 2.7	Fiber Reinforced Polymer.	29
Gambar 2.8	Diagram tegangan regangan penampang Beton bertulang dengan kekuatan FRP.	30
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian.	34
Gambar 3.2	Denah Struktur Model.	37
Gambar 3.3	Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Medan dengan jenis tanah lunak.	41
Gambar 3.4	Denah struktur beton di lapangan.	42
Gambar 3.5	Tampak Samping Bangunan Arah Y dan Z.	42
Gambar 3.6	Tampak 3D Struktur Bangunan Beton Model 1 di Lapangan.	43
Gambar 3.7	Tampak 3D Kolom dan Balok Gedung.	43
Gambar 3.8	Denah Balok.	44
Gambar 3.9	Denah Kolom.	44

Gambar 3.10	Tabel Kolom.	45
Gambar 3.11	Bahan Serat Kaca, Fiber, dan Aramid.	48
Gambar 3.12	Grafik Tensile Strength Bahan FRP menurut Simonelli (2005).	48
Gambar 3.13	Grafik Tensile Strength Bahan FRP menurut Hartono Hioe.	49
Gambar 3.14	Grafik Tensile Strength Bahan FRP menurut Zhishen et al, 2012.	49
Gambar 4.1	Diagram gaya geser respons spektrum sumbu x.	54
Gambar 4.2	Diagram gaya geser respons spektrum sumbu y.	55
Gambar 4.3	Diagram nilai simpangan lintai sumbu x.	56
Gambar 4.4	Diagram nilai simpangan lintai sumbu y.	57

DAFTAR NOTASI

Afv	=	Area untuk lekatan CFRP
As	=	Luas Penampang Tulangan
a	=	Tinggi Distribusi Tegangan Persegi
b	=	Lebar Balok
Cd	=	Faktor kuat lebih system
CE	=	Faktor Pengurangan Lingkungan
DL	=	Beban mati, termasuk SIDL
d	=	Jarak Serat Tekan terluar terhadap Tulangan
dfv	=	Jarak Serat Tekan terluar terhadap FRP
E	=	Modulus elastisitas
Ef	=	Modulus elastisitas FRP
Ex	=	Beban gempa arah x
Ey	=	Beban gempa arah y
F	=	Frekuensi Struktur
Fa	=	Koefisien Perioda pendek
Fc'	=	Kuat Tekan Beton
Fv	=	Koefisien Perioda 1,0 detik
Fy	=	Kuat Leleh Baja
FPGA	=	Nilai koefisien situs untuk PGA
ffe	=	Tegangan tarik efektif FRP
ffu*	=	Kuat Tarik FRP
hn	=	Ketinggian struktur dalam m di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (meter)
I	=	Momen Inersia Kolom/Balok
Ie	=	Faktor keutamaan gempa
ω	=	Kecepatan sudut
k	=	Kekakuan struktur
k1	=	Faktor kuat tekan Beton untuk FRP
k2	=	Faktor Pemasangan FRP
kv	=	Koefisien Reduksi lekatan FRP
l	=	Panjang Kolom/Balok
Le	=	Panjang lekatan aktif
LL	=	Beban hidup
Mcolumn	=	Momen kapasitas 2 Kolom yang bertemu di <i>joint</i>
Mbeam	=	Momen kapasitas 2 Balok yang menumpu di Kolom
Mc	=	Momen puncak
Mn	=	Momen Nominal
Mu	=	Momen Ultimit
My	=	Momen leleh

n	=	Jumlah lekatan untuk FRP
PGA	=	Nilai PGA di batuan dasar (<i>SB</i>) mengacu pada peta Gempa SNI 1726:2012
PGAM	=	Nilai percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs
QE	=	Pengaruh gaya seismik horizontal dari V , yaitu gaya geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau. Pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain
R	=	Faktor koefisien modifikasi respon
S_f	=	Lebar <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i> (CFRP)
SS	=	Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa Periode pendek 0,2 detik di batuan dasar (<i>SB</i>) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2016
S_1	=	Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa Periode 1,0 detik di batuan dasar (<i>SB</i>) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2016
SDS	=	Respon spektrum percepatan respon desain untuk Periode pendek
SD1	=	Respon spektrum percepatan desain untuk Periode 1,0 detik
T_f	=	Ketebalan FRP
T_a	=	Nilai batas bawah Periode bangunan
<i>minimum</i>		
T_a	=	Nilai batas atas Periode bangunan
<i>maksimu</i>		
m		
V_f	=	Kapasitas geser FRP
V_t	=	Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respon yang telah dilakukan
V_l	=	Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekuivalen
W_f	=	Lebar Properti FRP
ϵ	=	Total tegangan yang terjadi
ϵ_y	=	Tegangan pada saat leleh
ϵ_{fe}	=	Regangan tarik efektif FRP
ϵ_{fu}^*	=	Regangan pada saat leleh
ϕ	=	Faktor Reduksi kekuatan
θ_y	=	Rotasi pada saat leleh
θ_p	=	Koefisien rotasi plastis
θ_{pc}	=	Koefisien rotasi post-capping

θ_u	=	Rotasi pada batas ultimit
ϕ_y	=	Lengkungan pada saat leleh
θ_y	=	Rotasi pada batas leleh
ϕ_m	=	Lengkungan maksimum yang akan timbul
μ_p	=	Lendutan pada titik plastis
μ_y	=	Lendutan pada titik leleh
ΔV_u	=	Delta Geser Ultimit
Ω_0	=	Faktor pembesaran defleksi
ρ	=	Faktor redudansi
Ψ_f	=	Faktor reduksi tambahan

DAFTAR SINGKATAN

ACI	= <i>American Concrete Institute</i>
CFRP	= <i>Carbon Fibre Reinforced Polymer</i>
QQC	= <i>Complete Quadratic Combination</i>
FRP	= Fibre Reinforced Polymer
PEER	= Pacific Earthquake Engineering Research
PGA	= <i>Peak Ground Acceleration</i>
PPPURG	= Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung
PPIUG	= Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SRSS	= <i>Square Root of the Sum of Square</i>
SRPM	= Sistem Rangka Pemikul Momen
SRPMB	= Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa
SRPMK	= Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

BAB 1

PENDAHULUAN

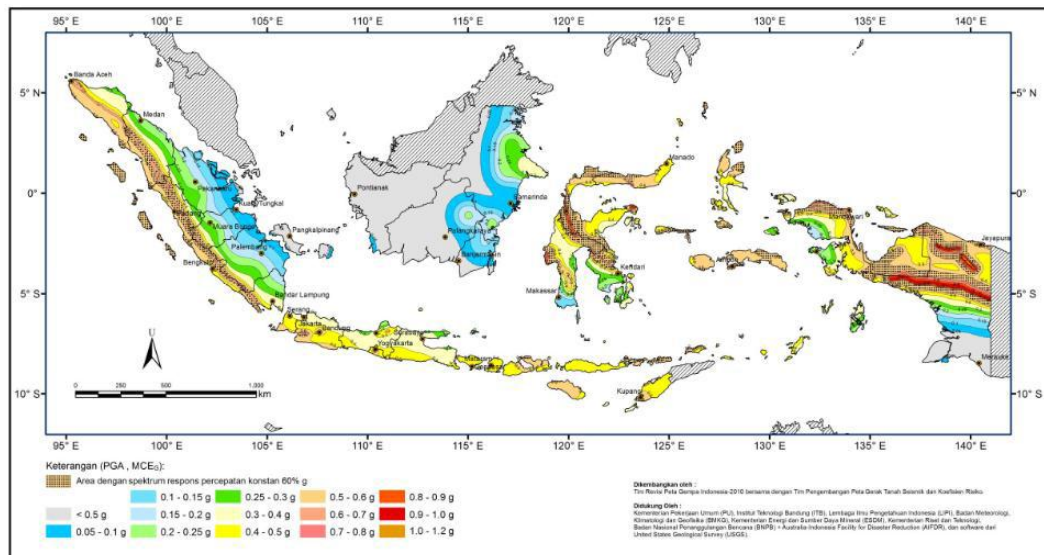
1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang terdiri dari berbagai kepulauan. Di setiap pulau di Indonesia pasti memiliki keunikan masing – masing. Dalam dunia ketekniksipilan tentunya juga sama, dalam merencanakan bangunan teknik sipil khususnya bangunan gedung perlu penanganan yang berbeda-beda di setiap wilayah. Belum lagi ditambah Indonesia terletak di lingkaran cincin api dimana kondisi Indonesia rawan terhadap gempa yang dapat datang kapan saja. Setiap pulau di Indonesia sebagian besar wilayahnya terletak dalam wilayah gempa dengan intensitas sedang hingga tinggi.

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

Indonesia merupakan negara yang terletak di wilayah rawan bencana gempabumi. Hal ini disebabkan letak geografis yang menempati zona tektonik sangat aktif. Indonesia terletak di pertemuan 4 lempeng besar dunia. Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Eurasia pada bagian pantai barat Sumatera, pantai

Selatan Jawa (dikenal sebagai kawasan Busur Sunda atau Sunda Arc, dan terus melintasi Nusa Tenggara Timur dan Kepulauan Maluku. Lempeng Pasifik dan Lempeng Filipina di bagian Timur Kepulauan Maluku dan bagian Utara daerah kepala burung Papua. Di bagian terakhir ini adalah kawasan pusat pertemuan 4 lempeng besar dunia tersebut. Zonasi gempa yang terdapat di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1: Peta Zonasi Gempa di Indonesia.

Untuk bangunan yang mengalami gempa tunggal, tentunya kehancuran yang terjadi pada bangunan tersebut akan meningkat seiring dengan berlangsungnya gempa berikutnya dengan periode ulang tertentu. Oleh karena itu, kita perlu untuk mengetahui kinerja struktur yang terjadi pada suatu bangunan yang mengalami gempa tunggal dan gempa berulang dengan periode ulang gempa tertentu agar ketahanan bangunan dapat kita rencanakan sebaik mungkin. Bila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non struktural maupun pada komponen strukturalnya. Bila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non strukturalnya, akan tetapi komponen strukturalnya tidak boleh mengalami kerusakan. Bila terjadi gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi penghuni bangunan dapat menyelamatkan diri. Lalu bagaimana jadinya jika bangunan ini terkena gempa lainnya dan merupakan gempa dekat?

Perencanaan tugas akhir terapan pada Bangunan Kampus Universitas Islam Negeri Sumatera Utara dihitung sesuai peraturan SNI Beton 2847:2019 dan peraturan SNI Gempa 1726:2019 dalam mengantisipasi dan menahan baik gempa kecil sampai skala besar sehingga gedung mampu tetap bertahan tidak ambruk walaupun sudah berada di ambang runtuh. Bangunan Kampus Universitas Islam Negeri Sumatera Utara terletak Jalan Williem Iskandar Pasar V Medan Estate, Sumatera Utara. Sehingga pada zona gempa termasuk dalam zona 3 dengan resiko gempa sedang atau menengah dan menggunakan metode SRPMM dengan $0,167 \leq S_d \leq 0,33$ dan $0,067 \leq S_d1 \leq 0,133$ sehingga bangunan yang dirancang tersebut bisa bertahan setelah menerima beban yang telah di perhitungkan. Bangunan kampus tersebut memiliki tiga lantai dengan atap beton kemudian di lakukan perubahan struktur yaitu pada tinggi bangunan menjadi empat lantai dan atap tetap menggunakan pelat beton.

Kebanyakan struktur yang rusak akan langsung dibongkar tanpa mempertimbangkan adanya kemungkinan perbaikan atau perkuatan. Padahal pada tingkat kerusakan tertentu, pada perinsipnya suatu elemen struktur beton bertulang dapat diperkuat atau diperbaiki. Saat ini telah berkembang berbagai metode perbaikan dan perkuatan struktur, salah satunya adalah menggunakan lembaran FRP (Fiber Reinforced Polymer). Secara umum bahan serat yang digunakan pada FRP ada 3 jenis, yaitu serat karbon (Carbon Fiber Reinforced Polymer), serat gelas (Glass Fiber Reinforced Polymer), dan serat aramid (Aramid Fiber Reinforced Polymer). Sistem perkuatan FRP pada balok atau kolom dilakukan dengan cara menempelkannya pada permukaan balok atau kolom dengan menggunakan epoxy. FRP merupakan material yang sangat menjanjikan untuk perkuatan struktur beton bertulang. Material ini merupakan pilihan yang sangat baik untuk digunakan sebagai perkuatan eksternal karena merupakan bahan yang ringan, tahan terhadap korosi, memiliki kekuatan yang tinggi, dan dapat dibentuk sesuai dengan bentuk permukaan yang akan dipasang lembaran FRP. Selain itu, FRP juga mudah diaplikasikan pada beton bertulang dan terbukti ekonomis sebagai material yang digunakan untuk perbaikan struktur dan meningkatkan ketahanan struktur (Kati, 2016).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka timbul permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana perhitungan perencanaan Gedung dengan SNI terbaru?
2. Bagaimana pengaruh perencanaan dengan SNI 1726-2019 dan peta gempa 2017 terhadap bangunan Gedung di kota Medan?
3. Bagaimana menerapkan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) pada bangunan Gedung agar lebih tahan gempa dan bandingkan kekuatannya setelah retrofit?

1.3. Ruang Lingkup

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

1. Perencanaan struktur beton bertulang, pembebanan serta gedung direncanakan berdasarkan :
 - Tata cara perencanaan struktur beton bertulang menggunakan Persyaratan Beton Struktural untuk bangunan Gedung SNI 2847:2019.
 - Beban gravitasi menggunakan SNI 1727:2020 dan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987.
 - Beban gempa dan gedung direncanakan menggunakan Standar Perencanaan Tahan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726:2019.
2. Analisis menggunakan alat bantu berupa program yaitu :
 - Program Analisa Struktur, untuk menganalisa tahap desain (Analisa Respon Spektrum Linear).
3. Parameter yang ditinjau :

- Linear adalah semua aspek yang harus di kontrol sesuai dengan SNI 1726:2019.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui desain struktur yang sesuai dengan SNI terbaru.
2. Untuk mengetahui pengaruh peta gempa 2017 terhadap bangunan gedung dikota Medan.
3. Untuk mendapatkan penerapan perkuatan tahan gempa dan membandingkan kekuatan pada struktur dan setelah menggunakan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP).

1.5. Manfaat Penelitian

Dalam penyusunan Tugas akhir ini, mahasiswa diharapkan mampu dan kreatif dalam menyusun Tugas akhir. Dan dari penyusunan Tugas akhir ini manfaat yang dapat diambil:

1. Mahasiswa dapat menganalisis struktur gedung yang memenuhi standart keamanan.
2. Mahasiswa mampu mengaplikasikan keseluruhan ilmu yang telah dipelajari pada pembuatan skripsi ini ke lapangan.
3. Menambah pengetahuan kepada pembaca agar lebih memahami tentang perkuatan struktur.

1.6. Sistematika Pembahasan

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 beton bertulang, analisa struktur beton bertulang sistem rangka pemikul momen (SRPM), dan konsep tentang kekuatan bangunan beton bertulang terhadap gempa yang terjadi.

BAB 3 METODE PENELITIAN

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

BAB 4 HASIL 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/ketentuan yang berhubungan dalam perencanaan struktur bangunan yang akan dianalisa, seperti struktur beton bertulang, teori gempa, sistem struktur penahan gempa, tata cara perencanaan bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726:2019, 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 suatu gerakan tiba-tiba atau suatu rentetan gerakan tiba-tiba dari tanah dan bersifat transient yang berasal dari suatu daerah terbatas dan menyebar dari titik tersebut ke segala arah. Gempa bumi merupakan guncangan dan getaran yang terjadi di permukaan bumi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng bumi, tanah longsor, maupun akibat patahan aktif aktifitas gunung api. Berdasarkan proses terjadinya, gempa bumi digolongkan menjadi tiga, antara lain :

1. Gempa Reruntuhan : gempa yang disebabkan antara lain oleh reruntuhan yang terjadi baik di atas maupun dibawah permukaan tanah. Contoh: tanah longsor, salju longsor, batu jatuhan.
2. Gempa Vulkanik : gempa yang disebabkan oleh kegiatan gunung berapi baik sebelum maupun pada saat meletusnya gunung berapi tersebut.
3. Gempa Tektonik : gempa yang disebabkan oleh terjadinya pergeseran kulit bumi (lithosphere) yang umumnya terjadi di daerah patahan kulit bumi. Gempa tektonik merupakan gempa yang paling menimbulkan kerusakan yang paling luas. Maka dari itu gempa bumi tektonik yang ditinjau sebagai beban siklisnya.

Pergerakan dari patahan atau sesar dapat dibedakan berdasarkan 2 (dua) arah pergerakan yaitu strike dan dip.

1. Dip Slip Movement

Pergerakan patahan mempunyai arah yang sejajar dengan kemiringan (slope) dip, atau tegak lurus dengan strike. Jenis patahan ini dibagi dua yaitu normal fault dan reverse fault.

2. Strike Slip Movement

Pergerakan patahan yang terjadi mempunyai arah sejajar dengan garis strike. Bidang patahan mendekati vertikal dan menyebabkan pergerakan besar.

2.3. Filosofi Desain 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 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 structural 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 ke tempat 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.

Pendekatan disain ini bukan dengan cara memperkuat struktur bangunan tetapi adalah dengan mereduksi gaya gempa yang akan bekerja pada bangunan atau menambah suatu sistem pada struktur yang dikhususkan untuk menyerap sebagian besar energi gempa yang masuk ke bangunan dan hanya sebagian kecil (sisanya) akan dipikul oleh komponen struktur bangunan itu sendiri.

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa dengan tingkat keamanan memadai, struktur harus dirancang dapat memikul gaya horizontal atau gaya gempa. Struktur harus dapat memberikan layanan yang sesuai dengan perencanaan.

Tingkat layanan dari struktur akibat gaya gempa terdiri dari tiga, yaitu :

1. Kemampuan layan (serviceability)

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

2. Kontrol kerusakan (damage control)

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

3. Ketahanan (survival)

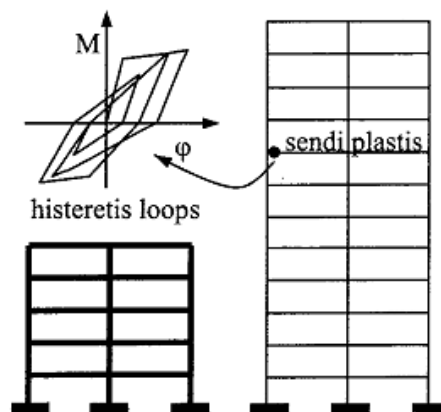
Jika gempa kuat yang mungkin terjadi pada umur (masa) bangunan yang direncanakan membebani struktur, maka struktur direncanakan untuk dapat bertahan dengan tingkat kerusakan yang besar tanpa mengalami keruntuhan (collapse). Tujuan utama dari keadaan batas ini adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia.

2.4. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah salah satu sistem struktur utama dalam menahan gaya-gaya lateral, baik itu gaya lateral akibat gempa maupun angin. SRPM ini dikenal cukup baik dalam memberikan sistem yang daktail namun sayangnya kurang baik dalam memberikan kekuatan lateral, khususnya untuk bangunan-bangunan yang tinggi. Umumnya SRPM cukup efektif dipakai sampai < 25 tingkat (Faisal, 2015).

Menurut Pawirodikromo (2012), penggunaan SRPM untuk bangunan bertingkat akan mempunyai kelebihan dan kelemahan. Beberapa kelebihannya diantaranya:

1. Apabila didesain secara baik maka struktur portal dapat menjadi struktur yang daktail dengan hysteresis loops di sendi plastis yang stabil, seperti Gambar 2.1 dan dapat memberikan sistem pengekangan/kekakuan yang cukup.
2. Karena fleksibilitasnya tinggi, SRPM akan mempunyai perioda getar T yang relatif besar.
3. Secara arsitektural SRPM memberi keleluasaan untuk menata ruangan yang diinginkan.



Gambar 2.1: Histeresis di sendi plastis yang stabil (Pawirodikromo, 2012).

Adapun kekurangan dari SRPM adalah:

1. Kerusakan secara total pada frame dapat saja terjadi terutama apabila tidak adanya penerapan pola mekanisme yang jelas.
2. Desain tulangan lateral tidak layak baik pada lokasi sendi plastis maupun pada joint.
3. Distribusi kekakuan struktur portal yang secara vertikal yang tidak merata menyebabkan timbulnya tingkat yang relatif lemah (soft storey).
4. Struktur portal yang terlalu fleksibel dapat menyebabkan simpangan antar tingkat yang relatif besar terutama pada tingkat-tingkat bawah.

2.2.1. 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.
4. Lebarnya 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.

2.2.2. SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah)

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah adalah suatu metode perencanaan struktur sistem rangka pemikul momen yang menitik beratkan kewaspadaannya terhadap kegagalan struktur akibat keruntuhan geser. Pada SNI 03-2847-2019 (Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung), SRPMM dijelaskan secara tersendiri pada pasal 23.10. Pada pasal tersebut, dijelaskan tata cara perhitungan beban geser batas berikut pemasangan tulangan gesernya. Kemampuan penampang dalam mengantisipasi perbalikan momen juga disyaratkan pada peraturan tersebut.

Faktor Reduksi Gempa (R) = 5,0.

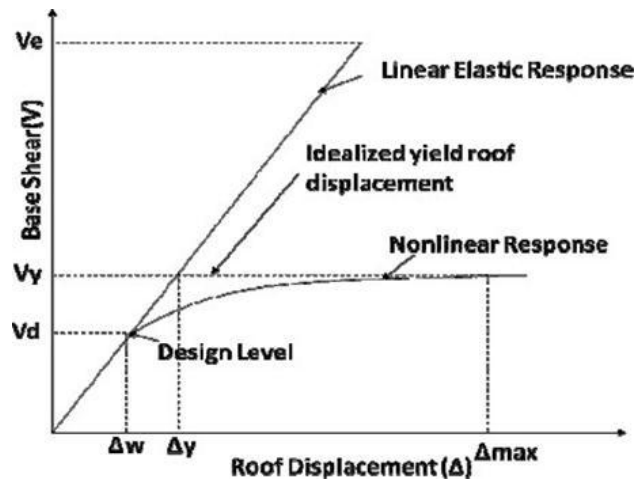
2.2.3. SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa)

Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa merupakan sistem yang memiliki deformasi inelastik dan tingkat daktilitas yang paling kecil tapi memiliki kekuatan yang besar, oleh karena itu desain SRPMB dapat mengabaikan persyaratan “Strong Column Weak Beam” yang dipakai untuk mendesain struktur yang mengandalkan daktilitas yang tinggi. Sistem ini masih jarang digunakan untuk wilayah gempa yang besar namun efektif untuk wilayah gempa yang kecil.

Faktor Reduksi Gempa (R) = 3,0.

2.2.4. Faktor Modifikasi Respon (R)

Persyaratan desain bangunan untuk beban-beban gravitasi akan selalu berbeda dengan beban yang bersifat lateral seperti beban angin dan gempa bumi. Beban lateral seperti angin dapat digolongkan kedalam pembebanan primer karena biasanya dirancang dengan kisaran 1% sampai 3% dari berat struktur sehingga bisa dilakukan dengan konsep desain elastisitas. Hal tersebut tidak berlaku terhadap beban gempa, beban lateral gempa biasanya dirancang dengan kisaran 30% sampai 40% dari berat struktur sehingga jika didesain dengan konsep elastisitas, struktur akan sangat berat dan tidak ekonomis. Oleh karena itu desain beban gempa lebih difokuskan kepada konsep pengendalian dan pencegahan keruntuhan. Hal ini dapat digambarkan pada gambar 2.6 di bawah untuk respon elastis dan inelastis pada struktur dengan kondisi linier elastis dan nonlinier.

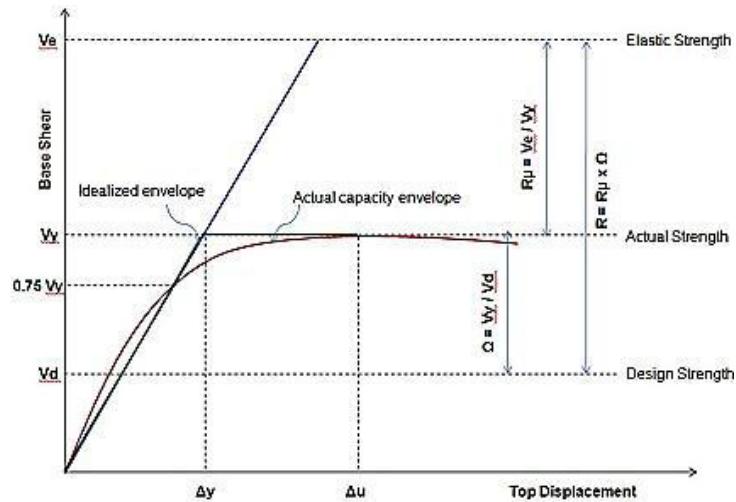


Gambar 2.2: Respon gaya-perpindahan struktur kondisi elastis dan inelastic.

2.2.5. Definisi Faktor Modifikasi Respon (R)

Faktor R merupakan parameter desain seismik yang penting dalam mendefinisikan tingkat kekakuan struktur selama terjadi gempa. Faktor R merupakan faktor yang digunakan untuk memperhitungkan nilai redaman dan daktilitas pada suatu sistem struktur sehingga struktur mampu berdeformasi cukup besar mendekati deformasi maksimumnya. Faktor R mencerminkan kemampuan struktur dalam mendisipasi energi melalui perilaku inelastis.

Sesuai dengan konsep desain bangunan tahan gempa, struktur dirancang untuk beban geser dasar yang lebih kecil dari yang diperlukan agar struktur berperilaku elastis selama terjadi gempa. Hubungan antara faktor modifikasi respon (R), faktor kuat lebih struktur (Ω), dan faktor reduksi daktilitas ($R\mu$) dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.3: Hubungan antara faktor modifikasi respon (R), faktor kuat lebih struktur (Ω), dan faktor reduksi daktalitas ($R\mu$).

Reduksi yang besar ini terutama disebabkan oleh dua faktor utama (Gambar 2.7), yaitu :

1. Faktor reduksi daktalitas ($R\mu$), mengurangi kekuatan elastis yang dibutuhkan ke tingkat kuat leleh maksimum struktur.
2. Faktor kuat lebih (Ω), yang dimasukkan kedalam perhitungan sebagai kekuatan lebih seperti yang dimuat di dalam peraturan.

2.5. Peraturan Pembebanan Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2019

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 berlaku saat ini ialah SNI 03-1726-2019 yang merupakan revisi dari SNI 03-1726-2019 dimana parameter wilayah gempanya sudah tidak digunakan lagi dan diganti berdasarkan dari nilai S_s (parameter respons spectral percepatan gempa pada periode pendek) dan nilai S_1 (parameter respons spectral percepatan gempa pada periode 1 detik) pada setiap daerah yang ditinjau. Dalam hal ini, tata cara perencanaan bangunan gedung tahan gempa menjadi lebih rasional dan akurat.

2.2.6. Gempa Rencana dan Faktor Keutamaan

Tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

Tabel 2.1: Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019.

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none">- Bangunan Monumental- Gedung Sekolah dan Fasilitas Pendidikan- Rumah Sakit dengan fasilitas bedah dan UGD- Pusat pembangkit energi- Tempat perlindungan gempa bumi, badai, dll- Fasilitas kesiapan darurat	IV

Untuk berbagai kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.1 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 2.2 khusus untuk struktur bangunan dengan kategori resiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori resiko IV.

Tabel 2.2: Faktor keutamaan gempa (SNI 03-1726-2019).

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
IV	1,50

2.2.7. Klasifikasi Situs dan Parameter

Prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria seismik adalah berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran

percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasi terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, berikut disajikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2019.

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		
	- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plasitisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

2.2.8. Parameter Percepatan Gempa

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuandasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismic pada Bab 14 yang tertera dalam SNI 03-1726-2012 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.

Untuk penentuan respons spectral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismic pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan factor amplifikasi terkait

percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spectrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan menggunakan Pers. (2.1) dan (2.2).

$$S_{MS} = F_a \cdot S_S \quad (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.2)$$

Dimana :

S_S = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa periode pendek 0,2 detik di batuan dasar (SB) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2019

S_1 = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa periode 1,0 detik di batuan dasar (SB) mengacu pada peta Gempa SNI 1726:2019

F_a = Koefisien periode pendek

F_v = Koefisien periode 1,0 detik

Tabel 2.4: Koefisien periode pendek (F_a) berdasarkan SNI 1726:2019.

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Tabel 2.5: Koefisien periode 1,0 detik (F_v) berdasarkan SNI 1726:2019.

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

2.2.9. Parameter Percepatan Spektral Desain

Spektrum respons adalah salah satu cara penyelesaian problem persamaan diferensial gerakan struktur MDOF. Walaupun memakai prinsip dinamik, tetapi

metode ini bukanlah kategori analisis riwayat waktu. Penggunaan metode ini hanya terbatas pada pencarian respons-respons maksimum. Dengan memakai spektrum respons yang telah disiapkan (tiap-tiap daerah gempa), maka respons-respons maksimum dapat dicari dalam waktu yang relatif singkat dibanding dengan cara analisis riwayat waktu. Namun demikian penyelesaian problem dengan cara ini hanya bersifat pendekatan artinya spektrum respons akan diperoleh dengan asumsi-asumsi tertentu.

Pada kenyataannya perlu diketahui prinsip dasar pada analisis dan desain struktur bangunan tahan gempa yaitu antara suplai (supply) dan kebutuhan (demand). Kebutuhan yang dimaksud dalam hal ini adalah kebutuhan kekuatan struktur sedemikian sehingga dengan tercukupinya kebutuhan kekuatan struktur mampu menahan beban dengan aman. Spektrum respons akan berfungsi sebagai alat untuk mengestimasi dalam menentukan strength demand. Di lain pihak, suplai kekuatan dapat dilakukan setelah melakukan desain elemen struktur. Desain elemen dapat dilakukan dengan berdasar pada kekuatan bahan hasil uji elemen di laboratorium. Dengan demikian desain kekuatan harus didasarkan atas kekuatan yang nyata/riil atas bahan yang dipakai. Estimasi kebutuhan kekuatan struktur (strength demand) akibat beban gempa pada prinsipnya adalah menentukan seberapa besar beban horisontal yang akan bekerja pada tiap-tiap massa. Hal ini terjadi karena beban gempa akan mengakibatkan struktur menjadi bergetar dan pengaruhnya dapat diekivalenkan/seolah-olah terdapat gaya horisontal yang bekerja pada tiap-tiap massa. Spektrum respons dapat dipakai untuk menentukan gaya horisontal maupun simpangan struktur MDOF tersebut.

Spektrum respons merupakan suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara perioda getar struktur, T , lawan respons-respons maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respons-respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum (spektrum perpindahan, S_d) kecepatan maksimum (spektrum kecepatan, S_v) atau percepatan maksimum (spektrum percepatan, S_a) massa struktur. Terdapat dua macam spektrum yaitu spektrum elastik dan spektrum inelastik. Spektrum elastik adalah spektrum yang didasarkan atas respons elastik struktur, sedangkan spektrum inelastik (juga disebut desain spektrum respons) adalah spektrum yang direduksi dari spektrum

elastik dengan nilai daktilitas tertentu. Nilai spektrum dipengaruhi oleh periode getar, rasio redaman, tingkat daktilitas dan jenis tanah. Umumnya beban gempa, rasio redaman, daktilitas dan jenis tanah sudah dijadikan suatu variabel kontrol sehingga grafik yang ada tinggal diplot antara periode getar, T , lawan nilai spektrum, apakah simpangan, kecepatan atau percepatan maksimum. Secara umum yang dipakai adalah spektrum akselerasi.

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus mengikuti ketentuan berikut :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus ditentukan berdasarkan Pers. (2.3).

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.3)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} .
3. Untuk periode lebih besar dari T_s , spectrum respons percepatan desain, S_a , dihitung berdasarkan Pers. (2.4).

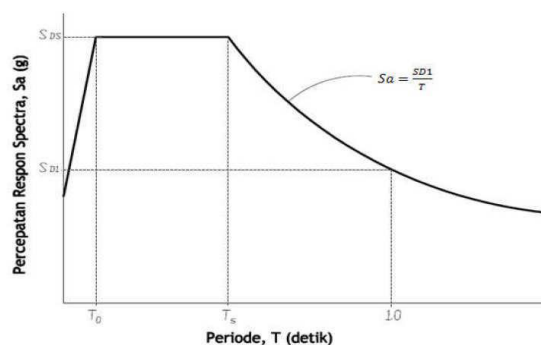
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.4)$$

Dimana:

S_{DS} = Parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = Parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur



Gambar 2.4: Spektrum respons desain.

2.2.10. Struktur Penahan Beban Gempa

Sistem penahan gaya seismik lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang telah ditetapkan pada SNI 1726:2019, setiap tipe dibagi-bagi

berdasarkan tipe elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya seismik lateral. Setiap sistem penahan gaya seismik yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang telah ditetapkan.

Berdasarkan SNI 1726:2019, sistem struktur penahan gaya seismik ditentukan oleh parameter berikut :

- Faktor koefisien modifikasi respon (R)
- Faktor kuat lebih sistem (Ω_0)
- Faktor pembesaran defleksi (C_d)
- Faktor batasan tinggi sistem struktur

Tabel 2.6: Koefisien Batasan Sistem Struktur

Sistem penahan gaya gempa seismik	R^a	Ω_0^g	C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
Sistem rangka pemikul momen								
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 1/2	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang momen menengah	8	3	4 1/2	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang momen biasa	3	3	2 1/2	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5 1/2	TB	TB	TB	TB	TB

2.2.11. Periode Alami Struktur

Periode adalah besarnya waktu yang diperlukan untuk mencapai satu getaran. Periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan dimana frekuensi alami struktur

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

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2 tentang Penentuan Periode, periode struktur fundamental (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisa yang teruji. Periode struktur fundamental memiliki nilai batas minimum dan batas maksimum. Nilai-nilai tersebut ditentukan dalam Pers. 2.5 dan Pers. 2.6.

- Periode fundamental pendekatan minimum ($T_{a \text{ minimum}}$) :

$$T_{a \text{ minimum}} = C_t H_n^x \quad (2.5)$$

- Periode fundamental pendekatan maksimum ($T_{a \text{ maksimum}}$) :

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u T_{a \text{ minimum}} \quad (2.3)$$

Dimana :

$T_{a \text{ minimum}}$ = Nilai batas bawah periode bangunan

$T_{a \text{ maksimum}}$ = Nilai batas atas periode bangunan

H_n = Ketinggian struktur dalam m di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (m)

x = Ditentukan dari Tabel 2.7

C_t = Ditentukan dari Tabel 2.7

C_u = Ditentukan dari Tabel 2.8

Tabel 2.7: Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x berdasarkan SNI 1726:2019.

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Tabel 2.8: Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2019.

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

2.2.12. Simpangan (Drift) Akibat Gaya Gempa

Simpangan (drift) adalah sebagai perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau dapat dikatakan simpangan mendatar tiap-tiap tingkat bangunan (horizontal story to story deflection).

Simpangan lateral dari suatu sistem struktur akibat beban gempa adalah sangat penting yang dilihat dari tiga pandangan yang berbeda, menurut Farzat Naeim (1989) :

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). Menurut SK SNI-1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung pasal 8.1.2 bahwa untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung menurut Pasal 8.1.1 tidak boleh

melampaui $0,03/R$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, bergantung yang mana yang nilainya terkecil. Sementara Berdasarkan UBC 1997 bahwa batasan story drift atau simpangan antar tingkat adalah sebagai berikut :

Untuk periode bangunan yang pendek $T < 0,7$ detik, maka simpangan antar tingkat $\delta_m = 0,0025I_h$ atau 2,5% dari tinggi bangunan. Untuk periode bangunan yang pendek $T > 0,7$ detik, maka simpangan antar tingkat $\delta_m = 0,002I_h$ atau 2,0% dari tinggi bangunan.

2.2.13. Metode Analisa

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7, analisa struktur yang disyaratkan harus terdiri dari salah satu tipe yang diijinkan dalam Tabel 2.9, berdasarkan pada kategori desain seismik struktur, sistem struktur, properti dinamis, dan keteraturan, atau dengan persetujuan pemberi ijin yang mempunyai kuasa hukum, sebuah prosedur alternatif yang diterima secara umum diijinkan digunakan.

Tabel 2.9: Prosedur analisa yang boleh digunakan.

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 0	Analisis spektrum respons ragam pasal 0	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 0
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_c$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

2.2.13.1. Metode Analisa Respon Spektrum Ragam

Parameter respon terkombinasi respon masing-masing ragam yang ditentukan melalui spektrum respon rencana gempa merupakan respon maksimum. Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan ragam respon menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%.

Untuk penjumlahan respon ragam yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode Kombinasi Kuadratik Lengkap (Complete Quadratic Combination/CQC). Waktu getar alami dianggap berdekatan apabila selisihnya kurang dari 15%. Sedangkan untuk struktur yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respon ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode yang dikenal dengan Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (Square Root of the Sum of Squares/SRSS).

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9, nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 85% nilai respon ragam yang pertama. Bila respon dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser V_t , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dalam Pers. 2.7.

$$V_t \geq 0,85 V_I \quad (2.7)$$

Maka, apabila nilai akhir respon dinamik lebih kecil dari nilai respon ragam pertama, gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisa spektrum respon ragam dalam suatu arah tertentu harus dikalikan nilainya dengan suatu faktor skala yang ditentukan dengan Pers. 2.8.

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,85 V_I}{V_t} \geq 1 \quad (2.8)$$

Dimana :

V_t = Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisa ragam spektrum respon yang telah dilakukan

V_I = Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekivalen

2.2.13.2. Metode Analisa Riwayat Waktu

Analisa riwayat waktu terbagi menjadi 2 jenis metode, yaitu :

1. Analisa respon dinamik riwayat waktu linear

Adalah suatu cara analisa untuk menentukan riwayat waktu respon dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh terhadap gerakan tanah akibat gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal sebagai

data maksimum, dimana respon dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode integrasi langsung atau dapat juga dengan metode analisa ragam.

2. Analisa respon dinamik riwayat waktu nonlinear

Adalah suatu cara analisa untuk menentukan riwayat waktu respon dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh (linear) maupun elasto-plastis (nonlinear) terhadap gerakan tanah akibat gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal sebagai data maksimum, dimana respon dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode integrasi langsung.

2.2.14. Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan

Beban kerja pada struktur atau komponen struktur ditetapkan berdasarkan peraturan pembebanan yang berlaku. Berdasarkan PPPURG (1987), beban pada struktur atau komponen struktur dikelompokkan menjadi 5 jenis beban, yaitu :

1. Beban mati, yaitu berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu seperti pipa-pipa, saluran listrik, AC, lampu-lampu, penutup lantai/atap, plafon, dan sebagainya
2. Beban hidup, yaitu semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.
3. Beban angin, yaitu semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.
4. Beban gempa, yaitu semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu.
5. Beban khusus, yaitu semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan,

penurunan pondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

Kombinasi beban untuk metode ultimit struktur, komponen-komponen struktur dan elemen-elemen pondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor.

Menurut Budiono dan Supriatna (2011), faktor-faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa nominal adalah:

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL
3. $1,2 DL + 1 LL \pm 0,3 (\rho QE + 0,2 SDS DL) \pm 1 (\rho QE + 0,2 SDS DL)$
4. $1,2 DL + 1 LL \pm 1 (\rho QE + 0,2 SDS DL) \pm 0,3 (\rho QE + 0,2 SDS DL)$
5. $0,9 DL \pm 0,3 (\rho QE - 0,2 SDS DL) \pm 1 (\rho QE - 0,2 SDS DL)$
6. $0,9 DL \pm 1 (\rho QE - 0,2 SDS DL) \pm 0,3 (\rho QE - 0,2 SDS DL)$

Dimana :

DL = beban mati, termasuk SIDL

LL = beban hidup

Ex = beban gempa arah – x

Ey = beban gempa arah – y

P = faktor redudansi

S_{DS} = parameter percepatan respon spektrum desain pada perioda pendek

Q_E = pengaruh gaya seismik horizontal dari V, yaitu gaya geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau. Pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain

Faktor redudansi (ρ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya seismik masing-masing dalam kedua arah orthogonal untuk semua struktur.

2.6. Perkuatan (Retrofitting)

Perkuatan (*retrofit*) elemen struktur adalah meningkatkan kapasitas elemen struktur dari kapasitas desain awal elemen struktur menjadi perancangan baru dengan kapasitas struktur lebih tinggi.

Pada umumnya, perbaikan dan perkuatan struktur dilakukan dikarenakan beberapa sebab berikut :

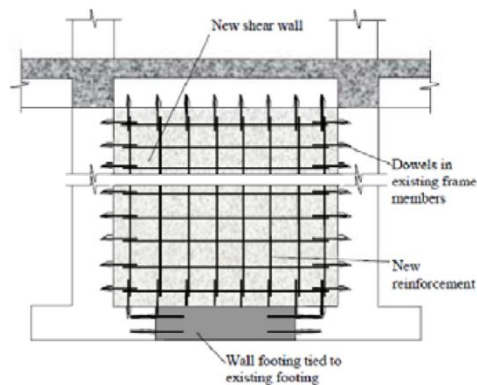
1. Perubahan fungsi struktur bangunan.
2. Perubahan peraturan perancangan bangunan Gedung.
3. Peningkatan persyaratan keamanan
4. Kerusakan struktur.

2.4.1. *Retrofitting Global*

Metode retrofitting global berkonsentrasi pada tingkat struktur untuk mendapatkan perilaku keseluruhan yang lebih baik dari keseluruhan struktur.

Membuat Dinding Geser (*Sheer Wall*)

- Meningkatkan kekuatan dan kekakuan lateral.
- Sering dipakai untuk retrofit struktur Gedung yang tidak daktail.
- Dinding geser lebih disukai dipasang pada bagian exterior (perimeter).
- Keburukan : menambah gaya geser dasar desain dan perlu pondasi yang sesuai.



Gambar 2.5: Dinding Geser (Sheer Wall).

2.4.2. *Retrofitting Lokal*

Metode retrofitting local meliputi penambahan beton, baja, dan komposit. Dimana modifikasi dilakukan pada unsur yang rentan dalam system structural saja. Kapasitas deformasi pada elemen yang rentan ditingkatkan, sehingga respons struktur tidak akan melebihi batas maksimal.

2.4.2.1. Jacketing Beton Bertulang

Jacketing beton bertulang adalah salah satu sistem perkuatan atau perbaikan beton dengan cara menyelimuti beton yang telah ada dengan beton tambahan.

- Jacketing dapat memakai beton bertulang atau baja.
- Jacketing beton akan menambah lapisan (luar) beton, tulangan lentur dan geser.
- Jacketing akan menambah kekuatan lentur dan geser, dan juga daktilitas. Kekakuan tingkat juga akan bertambah.
- Bila lapisan jaket tipis, maka kekakuan tidak akan berubah signifikan.
- Lebih murah dibandingkan Teknik retrofit composit.
- Keburukan : merusak struktur existing, sulit dilakukan pada bagian joint balok - kolom, berat struktur bertambah.



Gambar 2.6: Jacketing Concrete.

2.4.2.2. Fiber Reinforced Polymer (FRP)

Pada umumnya perkuatan komposit FRP terbuat dari bahan Carbon Glass dan Aramid dalam bentuk batang, kabel, lembaran, pelat, kisi kisi, dan sebagainya Material FRP merupakan komposit yang terdiri dari fiber dengan kekuatan tinggi yang dibalut oleh resin polimer.

- Meningkatkan daktilitas
- Meningkatkan kekuatan lentur dan geser
- Ukuran tampang tidak berubah banyak

- Mudah dan cepat dikerjakan
- Keburukan : memerlukan proteksi kebakaran, harga jauh lebih mahal dibanding jacketing



Gambar 2.7: Fiber Reinforced Polymer.

2.7. Penggunaan Fiber Reinforced Polymer (FRP)

Pengembangan material komposit Fiber Reinforced Polymer (FRP) telah membuka peluang baru untuk keperluan perbaikan dan perkuatan struktur Beton bertulang. Menurut (Kati, 2016) Ada 3 jenis FRP yang dibedakan berdasarkan serat penyusunnya, yaitu Carbon Fiber Reinforced Polymer (serat karbon), Glass Fiber Reinforced Polymer (serat gelas), dan Aramid Fiber Reinforced Polymer (serat aramid). Dalam penelitian ini digunakan FRP dari serat gelas.

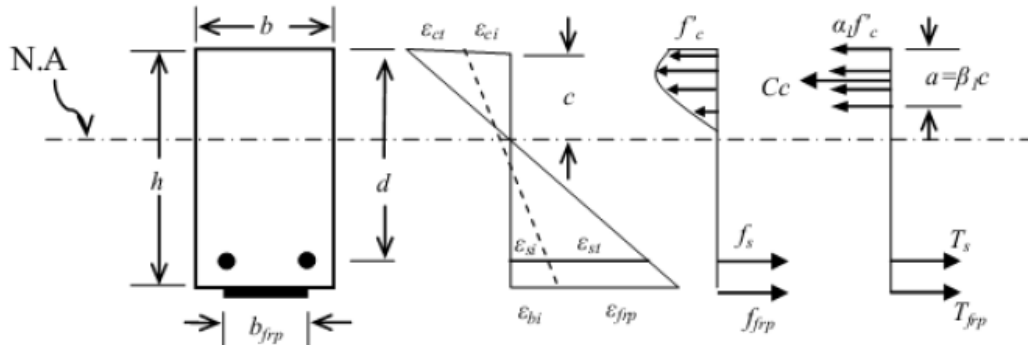
Material komposit dibentuk oleh dua material atau lebih yang mempunyai sifat alami dan mikroskopik yang berbeda. Pada fiber komposit, dua material itu adalah serat mutu tinggi dan resin.

Ketika FRP diaplikasikan untuk perkuatan ataupun perbaikan pada Balok Beton bertulang ada beberapa mode kegagalan yang dapat terjadi, yaitu:

1. Rusaknya FRP setelah tulangan tarik meleleh.
2. Hancurnya Beton sekunder setelah tulangan tarik meleleh.
3. Inti Beton rusak karena tekanan sebelum tulangan tarik meleleh.

4. Lepasnya ikatan antara FRP dan Balok Beton (debonding).
5. Putusnya FRP (FRP failure).

Gambar 2.8 menunjukkan diagram distribusi tegangan dan regangan penampang Beton bertulang dengan perkuatan FRP.



Gambar 2.8: Diagram tegangan regangan penampang Beton bertulang dengan perkuatan FRP.

2.4.3. Serat (*Fiber*)

Secara spesifik, material fiber yang diaplikasikan untuk perkuatan dan perbaikan Beton bertulang dapat berupa serat kaca, karbon, dan aramid. Masing-masing mempunyai kemiripan antara yang satu dengan yang lainnya. Nilai karakteristik masing-masing fiber diberikan pada Tabel 2.2. Nilai elastisitasnya bersifat linear untuk semua jenis serat, tetapi nilai lelehnya tidak signifikan.

Tabel 2.10: Karakteristik Fiber (Simonelli, 2005).

Fiber	Tensile Strength (N/mm ²)	Modulus of Elasticity (kN/mm)	Elongation (%)	Specific Density
Carbon High Strength	4300 - 4900	230 - 240	1.9 - 2.1	1.8
Carbon High Module	2740 - 5490	294 - 329	0.7 - 1.9	1.78 - 1.81
Carbon Ultra High Module	2600 - 4020	510 - 610	0.4 - 0.8	1.91 - 2.12
Aramid	3200 - 3600	424 - 430	2.4	1.44
Glass	2400 - 3500	70 - 85	3.5 - 4.7	2.6

Terdapat 2 bentuk fiber yang diproduksi, yaitu:

1. Lembaran, yang merupakan fiber yang umum digunakan. Pada umumnya fiber dalam bentuk lembaran mempunyai arah serat sembarang meskipun ada yang mempunyai arah serat biaxial dan triaxial, di atas lapisan bagian belakang yang dapat dilepas atau juga berbentuk anyaman.
2. Fiber yang sebelumnya dicairkan dengan resin (“pre-preg” material), dimana perawatannya dilakukan di site dengan pemanasan atau dengan cara lain.

Fiber produksi pabrik kemungkinan mempunyai perbandingan kekuatan searah serat 70% dan ke arah melintang serat sebesar 30%. Fiber mempunyai ketebalan minimum 0,1 mm dengan lebar 500 mm atau lebih. Pemilihan jenis fiber untuk perkuatan ataupun perbaikan suatu struktur tergantung pada beberapa faktor, seperti tipe struktur, biaya yang tersedia, beban yang direncanakan, kondisi lingkungan, dan lain-lain.

2.4.4. Faktor – faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Komposit FRP

2.4.4.1. Arah Serat Fiber

Kekuatan komposit sangat dipengaruhi oleh arah serat. Ada tiga jenis penguatan arah serat fiber yaitu penguatan satu dimensi, penguatan dua dimensi, dan penguatan tiga dimensi. Penguatan satu dimensi memiliki kekuatan maksimum pada arah serat. Penguatan dua dimensi memiliki kekuatan yang berbeda pada tiap arah orientasi serat. Penguatan tiga dimensi adalah isotropic tetapi nilai penguatannya sangat kecil ($1/3$ dari penguatan satu dimensi dan dua dimensi).

2.4.4.2. Jumlah Serat Fiber

Banyak sedikitnya jumlah serat yang terkandung dalam satu bahan komposit sangat mempengaruhi kekuatannya. Komposit yang mengandung serat fiber hingga 80% dari beratnya akan memiliki kekuatan sekitar 4 kali lipat dibandingkan komposit dengan komposisi sebaliknya.

Jumlah maksimum serat fiber tergantung dari kemampuan matrik untuk mengikat serat. Apabila serat fiber terlalu banyak, akan mengakibatkan adanya serat fiber yang saling bersentuhan tanpa adanya matrik yang mengikat. Apabila salah satu serat putus, maka beban yang terjadi tidak akan dapat diteruskan ke serat yang lain secara sempurna. Hal ini dapat menyebabkan kegagalan dini pada lapisan FRP.

2.4.5. Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang yang Diperkuat dengan FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Berdasarkan dengan ACI 440, kapasitas geser pada Balok Beton bertulang yang diperkuat dengan FRP komposit dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_n = V_c + V_s + V_f \quad (2.24)$$

Khalifa, dkk (2000) menjelaskan faktor reduksi untuk kapasitas geser pada Beton bertulang yang diberi perkuatan geser dengan FRP sebagai berikut:

$$V_u = 0,85(V_c + V_s) + 0,75V_f \quad (2.24)$$

Terdapat dua kemungkinan kegagalan atau kehancuran yang terjadi pada perkuatan geser yang disumbangkan FRP pada Balok Beton bertulang, yaitu kegagalan akibat retak atau patahnya FRP dan kegagalan akibat lepasnya rekatan FRP dengan Balok Beton bertulang. Untuk perencanaan perkuatan geser berdasarkan kegagalan akibat retaknya (fracture mekanisme) FRP, ACI Committee Report 440 memberikan persamaan:

$$V_f = \frac{A_{fv} \cdot f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot d_{fv}}{s} \quad (2.7)$$

$$\varepsilon_{fe} = K_v \cdot \varepsilon_{fu} \leq 0,004 \quad (2.8)$$

Dimana :

$$A_{fv} = 2n \cdot t_f \cdot W_f \quad (2.9)$$

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} \cdot E_f$$

Dari persamaan regangan efektif FRP (ε_{fe}), koefisien reduksi (K_v) dapat dihitung dengan persamaan:

$$K_v = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot L_e}{11900 \varepsilon_{fu}} \quad (2.10)$$

$$k1 = \left(\frac{f'c}{27}\right)^{2/3} \quad (2.11)$$

$$k2 = \frac{dfv - Le}{dfv} \quad \text{untuk U wrap} \quad (2.12)$$

$$k2 = \frac{dfv - 2Le}{dfv} \quad \text{untuk 2 sides bonded}$$

$$Le = \frac{23300}{(nftfEf)^{0,58}}$$

Untuk menentukan nilai desain dari kuat tarik FRP (f_{fu}), dan (ϵ_{fu}) maka nilai ultimitnya harus dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan CE:

$$f_{fu} = C_E \cdot f_{fu} \quad (2.13)$$

$$\epsilon_{fu} = C_E \cdot \epsilon_{fu} \quad (2.14)$$

Untuk perencanaan kekuatan geser berdasarkan kegagalan akibatnya lepasnya rekatan FRP dengan Balok Beton bertulang, (Khalifa dkk, 1998) memberikan persamaan:

$$V_f = \frac{2Le \cdot W_f \cdot \tau_b \cdot W_{fe}}{S_f} \quad (2.15)$$

Kuat rekatan FRP dengan konstanta (k) adalah:

$$\tau_b = k \cdot E_f \cdot t_f \quad (2.16)$$

Kuat rekatan FRP terhadap Beton:

$$\tau_b = k \left(\frac{f'c}{42}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot E_f \cdot t_f \quad (2.17)$$

Pengaruh dan tipe pemasangan FRP terhadap lebar efektif rekatan FRP, untuk Balok yang dibungkus dengan FRP:

$$W_{fe} = d_f \quad (2.18)$$

Untuk FRP yang dipasang dengan tipe U:

$$W_{fe} = d_f - Le \quad (2.19)$$

Untuk FRP yang dipasang pada bagian samping:

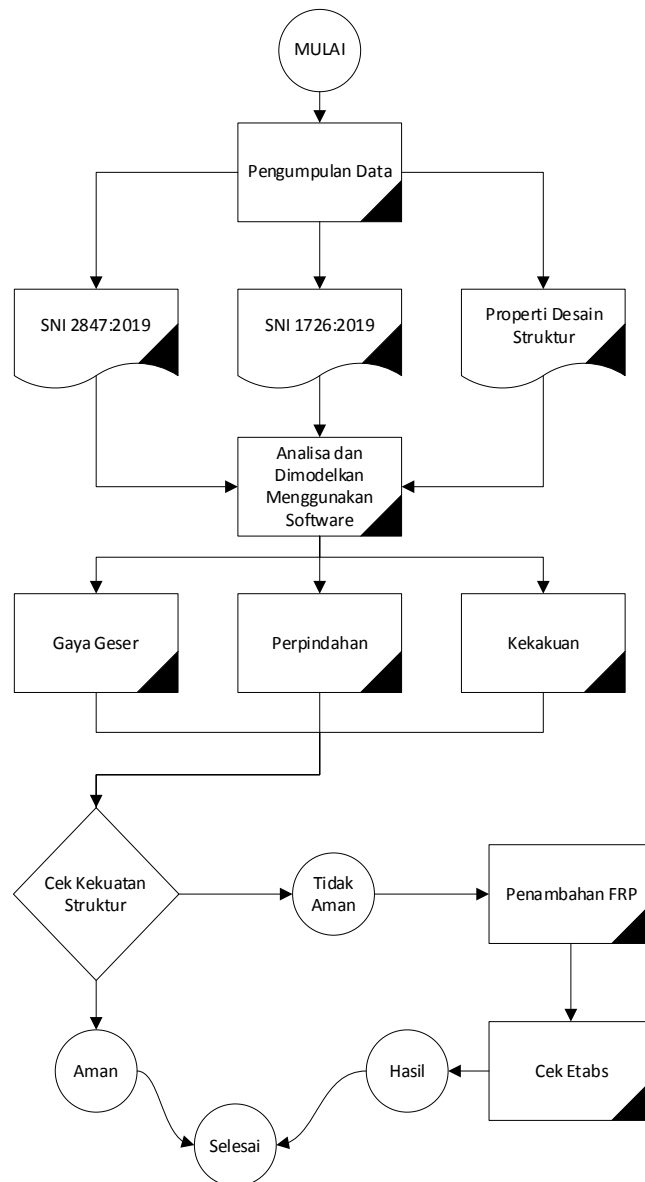
$$W_{fe} = d_f - 2Le \quad (2.20)$$

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Penelitian

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



Gambar 3.1: Bagan Alir Penelitian.

Berdasarkan Gambar 3.1, dapat dijelaskan bahwa dalam Tugas Akhir ini analisis dilakukan terhadap 1 model, untuk modelnya memiliki 1 sistem rangka pemikul momen yaitu sistem rangka pemikul momen khusus. Model bangunan tersebut dianalisis secara Linear dengan menggunakan Metode Analisis Respon Spektrum (Response Spectrum Analysis) dengan menggunakan Program Analisa Struktur, untuk mendapatkan nilai simpangan yang ada ketika bangunan telah dikenakan gempa tunggal dan berulang (gabungan).

3.2. Pemodelan Struktur

3.2.1. Data Perencanaan Struktur

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

4. Jenis pemanfaatan gedung sekolah dan fasilitas pendidikan.
5. Gedung terletak di Kota Medan.
6. Klasifikasi situs tanah lunak (SE).
7. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
8. Jenis portal struktur gedung adalah beton bertulang.
9. Struktur Bangunan : Beton Bertulang

Material :

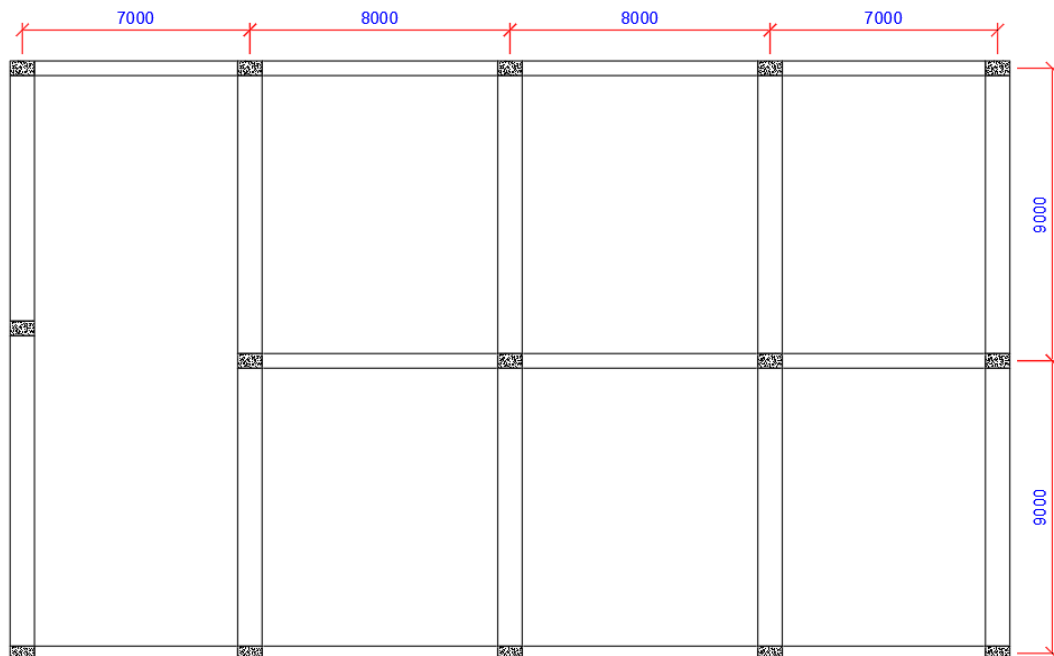
- Beton :
 - Mutu Beton : K-350 (Struktur Atas dan Bore Pile)
- Tulangan :
 - Mutu Baja : BJ-37
 - Kuat Lentur (Fy) : 450 MPa
 - Modulus Elastisitas : 200000 MPa

3.2.2. Konfigurasi Bangunan

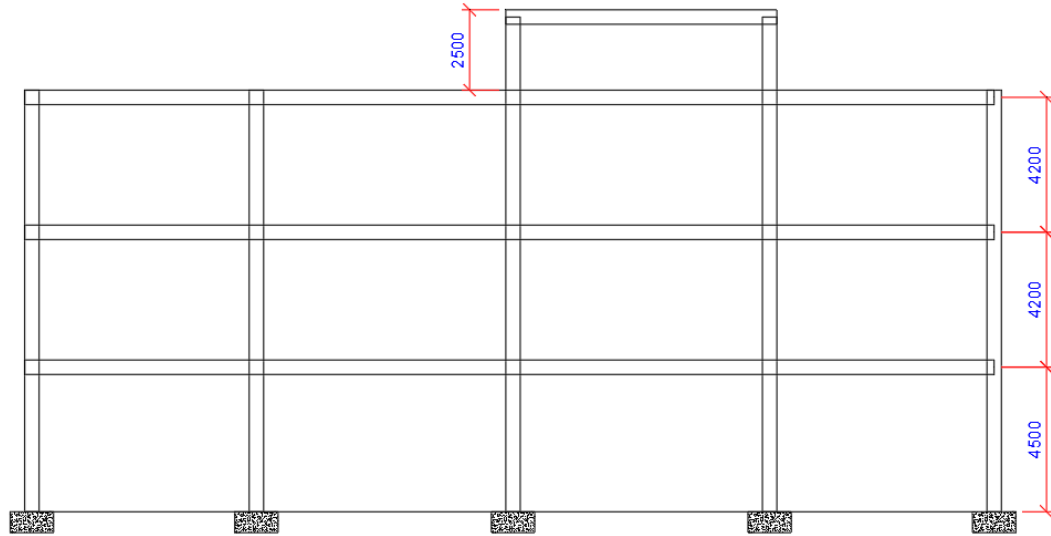
Dalam Tugas Akhir ini, struktur bangunan yang direncanakan adalah truktur beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen khusus. Bangunan berbentuk persegi yang simetri (regular building) seperti yang terlihat pada Gambar 3.2.

Adapun jenis pemodelan struktur yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Model Existing = Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (3 Lantai)
2. Model FRP = Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (3 Lantai) (Jika diperlukan)



a. View X - Y



b. View X – Z

Gambar 3.2: Denah Struktur Model.

3.2.3. Dimensi Kolom Balok

Bangunan yang direncanakan adalah struktur beraturan, Struktur Gedung direncanakan dengan dimensi penampang yang berbeda.

Ukuran balok dan kolom terdapat pada Tabel 3.1, sedangkan letak dan posisi dari masing-masing ukuran kolom dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Tabel 3.1: Komponen structural bangunan.

Model Bangunan	Ukuran Kolom (cm)	Ket	Ukuran Balok (cm)	Ket
Existing	450 x 700	K1	400 x 700	TG1
			400 x 700	G1
			300 x 600	G2
			250 x 400	BB

3.3. Analisa Struktur

3.3.1. Analisis Dinamik Struktur Linear

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

3.3.1.1. Properti Desain Struktur

Komponen struktur yang terdapat pada bangunan ini meliputi balok, kolom, dan pelat. Berikut akan direncanakan dimensi awal dari komponen-komponen struktur bangunan. Untuk semua struktur gedung direncanakan dengan dimensi penampang yang sama.

Penentuan tebal pelat lantai yang digunakan yaitu $120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$ (untuk semua tipe pelat lantai). Dalam pemodelan pelat lantai menggunakan deck dan dianggap mampu menahan gaya-gaya horizontal/gempa maupun arah vertikal. Dalam ETABS Versi 16, pada menu Define Section Properties, lalu dipilih Slab deck.

Beban gravitasi yang bekerja pada struktur bangunan diambil dari PPPURG (1987) dan SNI 1727:2020 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 PPURG 1987.

Beban Mati	Besarnya Beban
Beton Bertulang	2400 kg/m^3
Plafon dan Penggantung	18 kg/m^2
Adukan dari semen	21 kg/m^2
Pasangan Setengah Bata	240 kg/m^2
Keramik	24 kg/m^2

Tabel 3.3: Beban hidup pada lantai dan atap struktur berdasarkan SNI 1727:2020

Beban Hidup	Besarnya Beban
Beban Lantai Pertama	$4,79 \text{ kN/m}^2$
Beban Lantai Kedua	$3,83 \text{ kN/m}^2$
Atap Gedung	$0,96 \text{ kN/m}^2$

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

3.3.1.2. Faktor Reduksi Gempa

Desain bangunan direncanakan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), dimana untuk nilai faktor reduksi gempa yang berdasarkan SNI 1726:2019 dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4: Faktor reduksi gempa berdasarkan SNI 1726:2019.

Arah	Sistem Penahan Gaya Seismic	R
X	Rangka Beton Komposit Pemikul Momen Khusus	8
Y	Rangka Beton Komposit Pemikul Momen Khusus	8

3.3.1.3. Faktor Keutamaan Struktur (I)

Menurut SNI 1726:2012, sesuai Tabel 3 pemilihan nilai faktor keutamaan berdasarkan kategori resiko dengan fungsi gedung sekolah dan fasilitas pendidikan adalah kategori resiko IV, dengan hal itu maka didapat melalui Tabel 2.7 nilai faktor keutamaan (I_e) = 1,5.

3.3.1.4. Respon Spektrum Desain Gempa

3.3.1.4.1. Desain Respon Spektrum Medan (Tanah Lunak)

Berdasarkan SNI 1726:2019, respon spektrum gempa didesain pada kondisi tanah lunak yang terletak di Kota Medan, kemudian dianalisis dengan data-data $PGA = 0.297461$ g, $S_s = 0.635992$ g dan $S_1 = 0.352480$ g. Berdasarkan tahap-tahap yang telah dibahas dalam sub Bab 2.5.3 dan 2.5.4, maka akan didapatkan koefisien atau nilai-nilai yang diperlukan dalam pembuatan respon spektrum desain. Nilai-nilai tersebut yaitu:

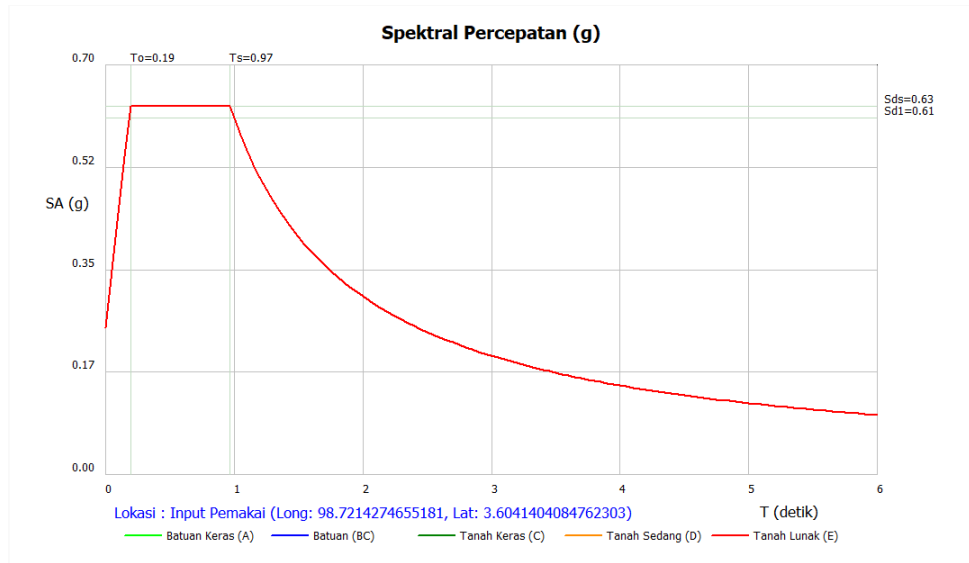
- Nilai $F_a = 1.482413$
- Nilai $F_v = 2.590081$
- $S_{ms} = 0.942803$
- $S_{m1} = 0.912951$
- $S_{DS} = 0.628535$
- $S_{D1} = 0.608634$
- $T_0 = 0.193667$
- $T_1 = 0.6086$

- Nilai S_a =

Tabel 3.5: Respons Spektrum SNI 1726:2012 Daerah, Kota Medan dengan jenis tanah Lunak.

Respons Spektrum Tanah Lunak Data yang diperoleh	
T	$S_a(g)$
0,000	0,251
0,194	0,629
0,968	0,629
1,000	0,609
1,500	0,406
2,000	0,304
2,500	0,243
3,000	0,203
3,500	0,174
4,000	0,152
5,000	0,122
6,000	0,101
7,000	0,087
8,000	0,076
9,000	0,068
10,000	0,061
11,000	0,055
12,000	0,051
13,000	0,047
14,000	0,043
15,000	0,041
16,000	0,038
17,000	0,036
18,000	0,034
19,000	0,032
20,000	0,031
21,000	0,029
22,000	0,026
23,000	0,024
24,000	0,022
25,000	0,020

Respon spektrum diplot ke dalam grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.3.

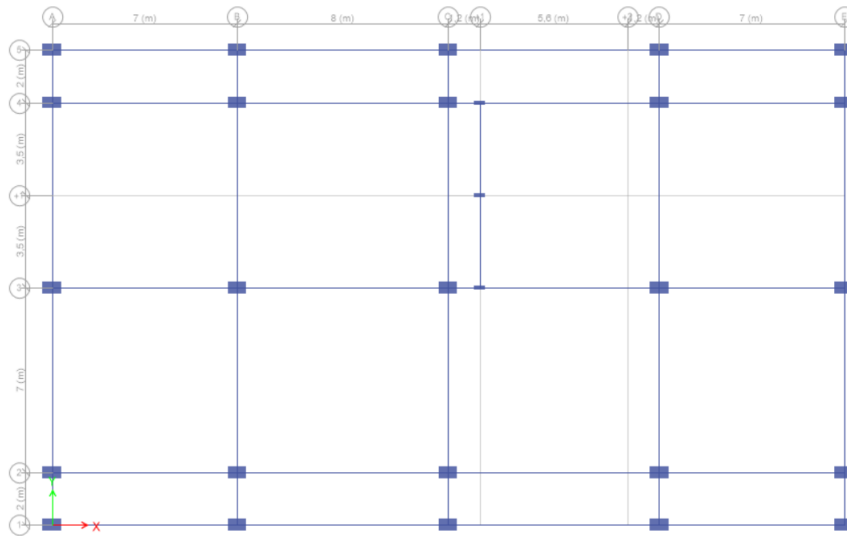


Gambar 3.3: Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Medan dengan jenis tanah lunak.

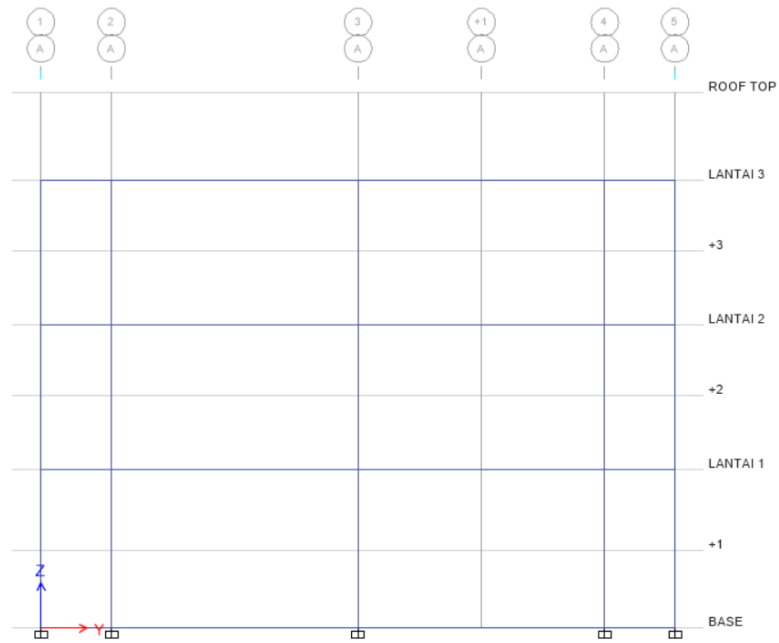
Selanjutnya nilai respon spektrum desain yang didapatkan tersebut digunakan dalam Analisis Dinamik Struktur Linear dengan Metode Respon Spektrum pada pemodelan menggunakan Program Analisa Struktur.

3.4. Model Gedung di Lapangan

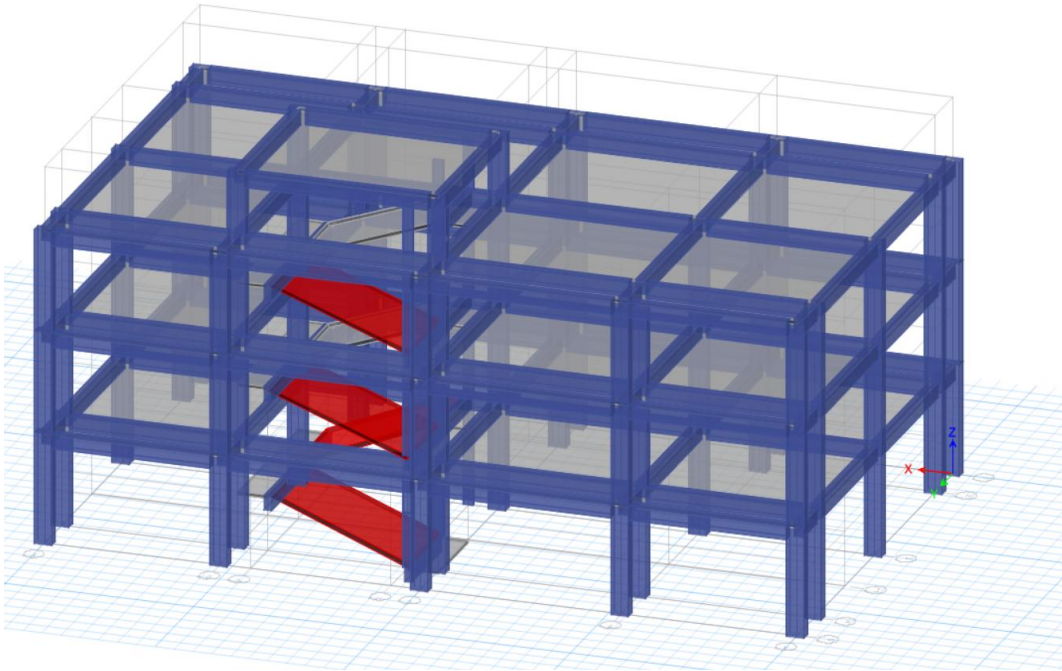
Model gedung adalah bentuk struktur menggunakan rangka beton dan komposit pemikul momen khusus. Untuk pemodelan dari struktur gedung tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4-3.6:



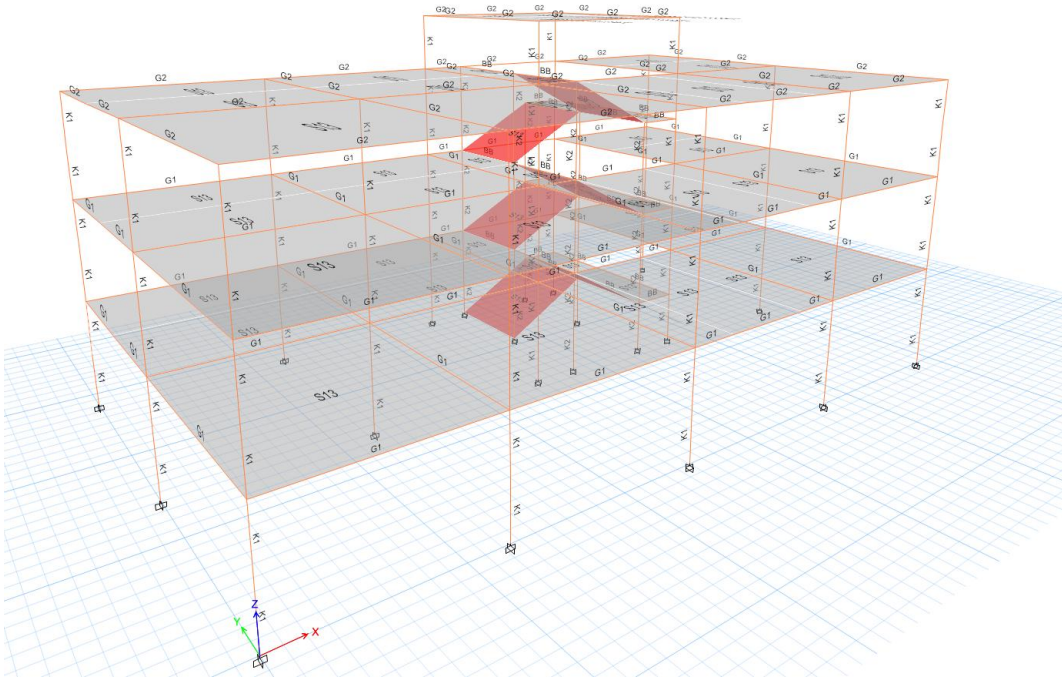
Gambar 3.4: Denah struktur beton di lapangan.



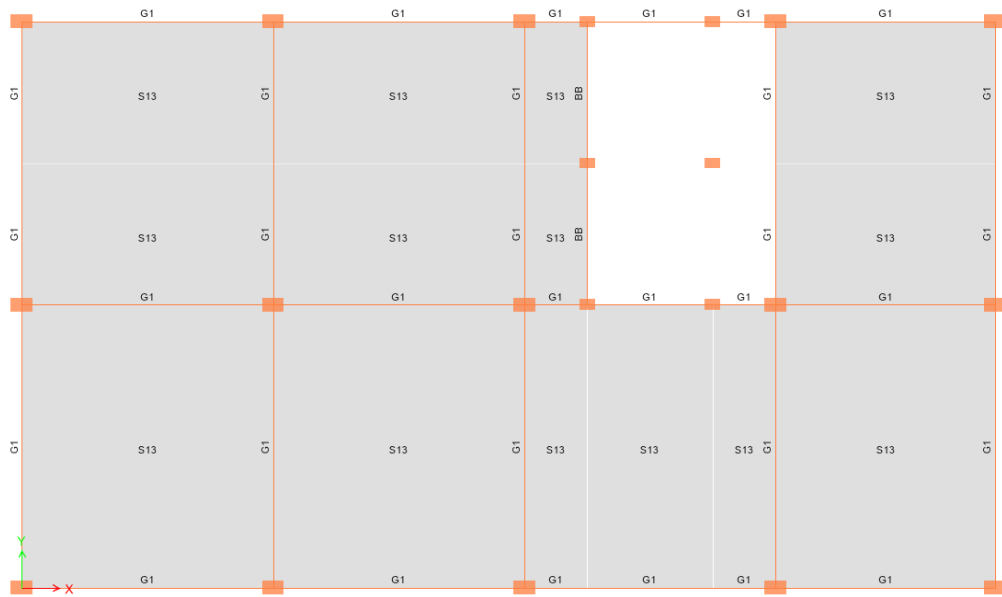
Gambar 3.5: Tampak Samping Bangunan Arah Y dan Z.



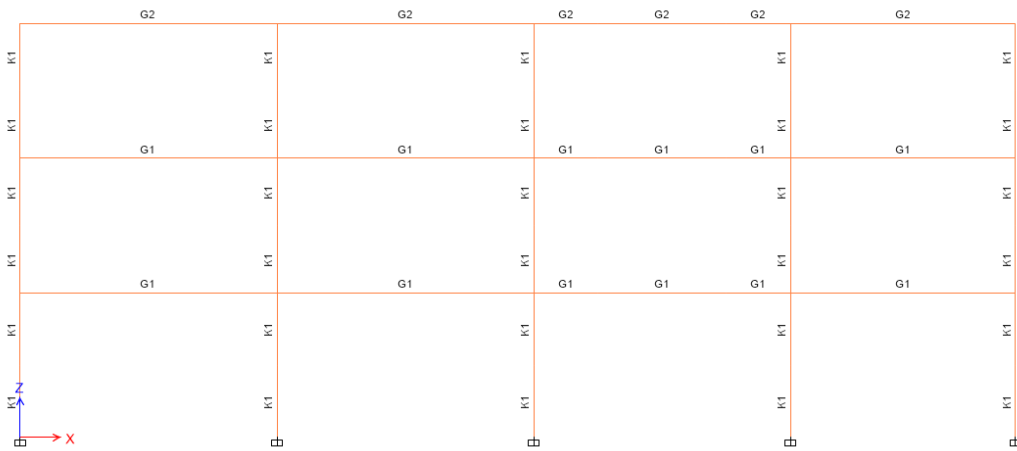
Gambar 3.6: Tampak 3D Struktur Bangunan Beton Model 1 di Lapangan.



Gambar 3.7: Tampak 3D Kolom dan Balok Gedung.



Gambar 3.8: Denah Balok.



Gambar 3.9: Denah Kolom.

LANTAI ATAP			
LANTAI 3			
LANTAI 2			
LANTAI 1			
PILECAP	K1	K2	K3

Gambar 3.10: Tabel Kolom.

3.5. Analisis Respon Spektrum

Prosedur analisis Respon Spektrum dilakukan dengan menggunakan program ETABS Versi 16. Analisis Respon Spektrum ini dilakukan dengan metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) dengan input gaya gempa seperti pada Gambar 3.3. Metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang lebih dari 15%.

Selain itu, penjumlahan ragam Responss menurut metode (Complete Quadratic Combination) CQC atau SRSS harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan Respon total harus mencapai sekurang - kurangnya 90%. Untuk memperoleh nilai perioda dan partisipasi massa (Sum UX

dan Sum UY) menggunakan program ETABS Versi 16 yaitu pada Structure Output (Modal Participating Mass Ratios). Nilai Perioda untuk Model 1 dilapangan terdapat pada Tabel 3.6.

3.6. Penambahan Fiber Reinforced Polymer (FRP)

Penambahan Fiber Reinforced Polymer (FRP) disini akan dibahas secara Hipotesis, diawali dengan membersihkan dan meratakan permukaan yang akan diberi perkuatan. Setelah permukaan dibersihkan, dilakukan persiapan untuk pencampuran matriksnya dengan menggunakan epoxy. Kemudian lembaran FRP diolesi dengan epoxy untuk mengisi rongga diantara anyaman FRP dan menghilangkan udara di dalamnya, setelah itu lembaran FRP di pasang pada penampang kemudian di olesi lagi dengan epoxy lalu dibiarkan hingga melekat dengan baik dan kering sempurna. Proses ini berlangsung selama 3 sampai 7 hari.

Dalam penyelesaian skripsi ini contoh CFRP yang digunakan berasal dari produk Sika dengan 2 tipe produk dan digunakan sesuai ketentuan untuk kebutuhan yang diperlukan. 2 tipe produk yang digunakan adalah tipe wrap 231 C yang digunakan sebagai penambahan perkuatan untuk geser dan tipe plat Carbodur S 1012 yang digunakan untuk penambahan perkuatan lentur jika memang diperlukan.

3.6.1. Karakteristik Fibre Reinforcement Polymer (FRP)

Material FRP adalah material komposit, yaitu matriks polimer yang diperkuat dengan serat atau fiber dan direkatkan ke struktur dengan epoxy resin. Serat penguat didalam FRP tidak sama dengan serat yang dipakai untuk beton serat. Matriks polimer berfungsi sebagai penyalur dari serat penguat ke struktur disekitarnya dan melindungi serat dari kerusakan akibat lingkungan ataupun mekanis. Keuntungan memakai Fibre Reinforcement Polymer (FRP), yaitu :

1. Pelaksanaan pekerjaan sangat mudah dan cepat (tidak memerlukan area pekerjaan yang luas, sehingga tidak mengganggu fungsi ruang).
2. Bahan memiliki kuat Tarik yang tinggi (~6 kali lebih ringan dari baja tulangan).
3. Bahan memiliki berat yang ringan (4 – 6 kali lebih ringan dari baja).

4. Bahan tidak berkarat.
5. Tidak memerlukan sambungan, walaupun yang mau diperkuat memiliki bentang yang Panjang.

Tabel 3.6: Perbandingan berat isi baja dan FRP

Steel	Glass FRP	Carbon FRP	Aramid FRP
7,9	1,2 to 2,1	1,5 to 1,6	1,2 to 1,5

Tabel 3.7: Perbandingan kuat tarik dan tekan bahan baja dan FRP.

Material	Density (gr/cm ³)	Unidirectional strength	
		Tensile (MPa)	Compressive (MPa)
Carbon AS-4	1,55	1482	1227
Carbon HMS	1,63	1276	1020
S-Glass TM	1,99	1751	496
E-Glass	1,99	1103	490
Aramid	1,38	1310	290
Aluminium (7075-T6)	2,76	572	
Titanium (6A1-4V)	4,42	1103	
Steel (4130)	8,0	1241 - 1379	

Tabel 3.8: Perbandingan berat dan tebal bahan baja dan FRP.

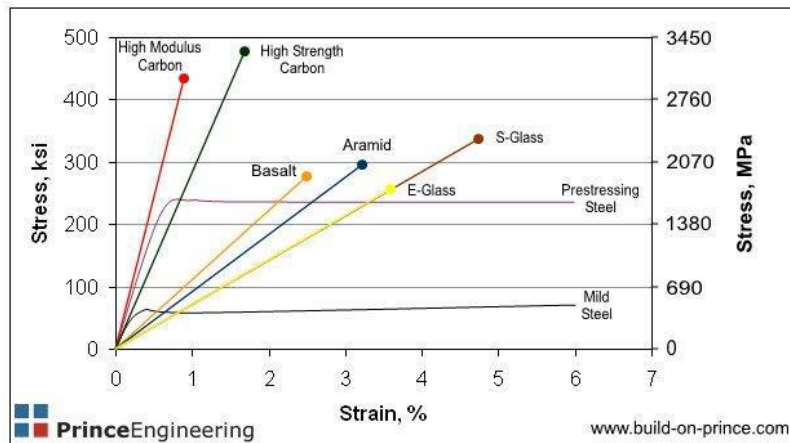
Material	Equal tensile strength		Equal tensile stiffness		Equal bending stiffness	
	Thk	weight	Thk	weight	Thk	weight
Mild steel	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Aluminium	1,8	0,3	3,0	1,1	1,5	0,5
GFRP ¹	2,4	0,07	25	5,0	3,0	0,6
GFRP ²	0,3	0,1	6,8	1,5	1,9	0,5

1 Based on random fiber orientation

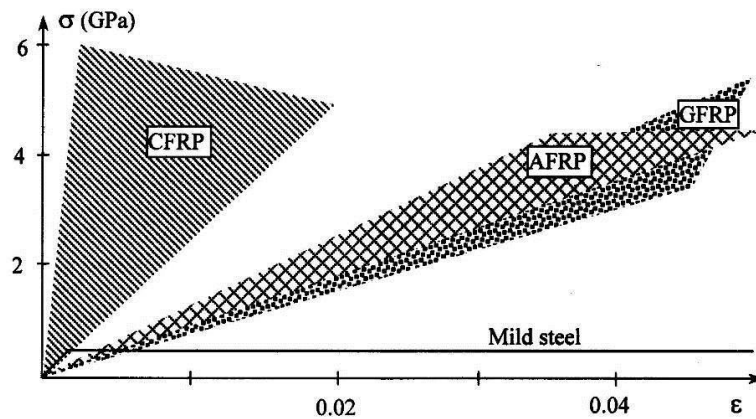
2 Based on unidirectional fiber orientation



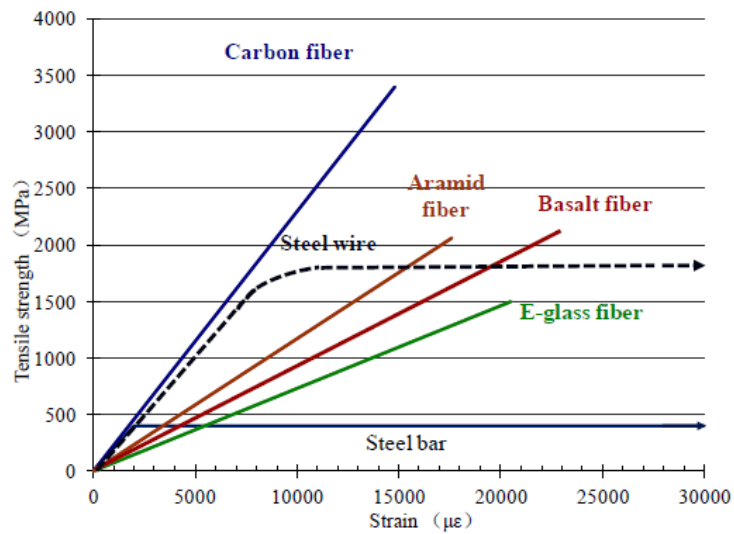
Gambar 3.11: Bahan Serat Kaca, Fiber, dan Aramid.



Gambar 3.12: Grafik Tensile Strength Bahan FRP menurut Simonelli (2005).



Gambar 3.12: Grafik Tensile Strength Bahan FRP menurut Hartono Hioe.



Gambar 3.13: Grafik Tensile Strength Bahan FRP menurut Zhishen et al, 2012.

3.6.2. Klasifikasi FRP yang digunakan Untuk Perkuatan Geser

Untuk memenuhi kebutuhan penampang pada setiap Model yang membutuhkan retrofit untuk perkuatan geser. Jika penampang memerlukan adanya penambahan tulangan eksternal untuk geser maka CFRP Wrap 231 C dapat digunakan dengan data berdasarkan SIKA Product sebagai berikut:

Tabel 3.9: Klasifikasi Data Sika Wrap 231 C.

Nama	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik	(f_{fu})*	4900	N/mm ²
M. Elastisitas	(E_f)	230.000	N/mm ²
Regangan	(ϵ_{fu})*	0,0191	Mm
Ketebalan	(t_f)	0,129	Mm
Lebar	(w_f)	500	Mm
Luas Area	(A_f)	129	mm ²
Panjang/roll	(L)	100	M

3.6.3. Klasifikasi FRP yang digunakan Untuk Perkuatan Geser

Untuk memenuhi kebutuhan penampang pada setiap Model yang membutuhkan retrofit untuk perkuatan lentur. Jika penampang memerlukan

adanya penambahan tulangan eksternal untuk lentur maka CFRP Plat Carbodur S 1012 dapat digunakan dengan data berdasarkan SIKA Product sebagai berikut:

Tabel 3.10: Klasifikasi Data Sika Plat Carbodur S 1012.

Nama	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik	(f_{fu})*	3100	N/mm ²
M. Elastisitas	(E _f)	165.000	N/mm ²
Regangan	(ϵ_{fu})*	0,018	Mm
Ketebalan	(t _f)	0,12	Mm
Lebar	(w _f)	100	Mm
Luas Area	(A _f)	120	mm ²
Panjang/roll	(L)	100	M

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Pada bab ini akan membahas beberapa nilai perbedaan hasil analisis oleh ETABS (Extended Analysis Building Software) Versi 2016 pada tiap model. Diantaranya adalah nilai simpangan, gaya-gaya dalam struktur gedung, kekakuan gedung dan tahanan gempa. Berdasarkan ketiga model yang telah direncanakan dilakukan penambahan perkuatan pada struktur Balok atau Kolom menggunakan Fiber Reinforced Polymer (FRP) bila memang diperlukan.

4.2. Analisis Struktur Gedung Kuliah Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

Pada Model 1 analisis respons spektrum ini dilakukan dengan metode kombinasi jumlah kuadrat lengkap (Complete Quadratic Combination/CQC).

4.3. Gaya Geser

Pada dasarnya nilai gaya geser pada gedung yang simetris akibat arah X maupun arah Y tetap sama. Tetapi, nilai gaya geser yang dihasilkan oleh respons spektrum program analisa struktur sangat teliti sehingga arah X dan arah Y tidak sama walaupun bangunannya simetris. Adapun bangunan yang direncanakan menggunakan struktur rangka pemikul momen khusus. Oleh karena itu, hasil perioda yang diperoleh terhadap arah X dan arah Y tidak sama.

Ketentuan ini berlaku pada setiap model gedung. Dari hasil analisis respons spektrum yang menggunakan program analisis Struktur diperoleh nilai gaya geser dasar (V) berdasarkan SNI 1726-2012 yang disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Gaya geser dasar nominal hasil analisis ragam respons spektrum.

<i>Base Reactions</i>		
<i>Output Case Text</i>	<i>FX Kgf</i>	<i>FY Kgf</i>
Gempa X	358,072	78,979
Gempa Y	78,979	333,400

Berikut perhitungan koreksi nilai akhir respons spektrum terhadap respons ragam pertama.

1. Gempa Arah X

$$V_{Ix} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Ix} = 0,0878 \times 5081$$

$$V_{Ix} = 446,12$$

2. Gempa Arah Y

$$V_{Iy} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Iy} = 0,0878 \times 5081$$

$$V_{Iy} = 446,12$$

Berdasarkan SNI 1726-2019 Kontrol faktor skala:

1. Arah X

$$V_x = 358,072 \text{ Kgf}$$

$$V_{Ix} = 446,12 \text{ Kgf}$$

$$\text{Syarat } V_{Ix} / V_x \geq 1$$

$$446,12 / 358,072 \geq 1$$

$$1,24614 \geq 1 \dots \text{OK!}$$

2. Arah Y

$$V_y = 333,400 \text{ Kgf}$$

$$V_{Iy} = 446,12 \text{ Kgf}$$

$$\text{Syarat } V_{Iy} / V_y \geq 1$$

$$446,12 / 333,400 \geq 1$$

$$1,33809 \geq 1 \dots \text{OK!}$$

4.3.1. Koreksi Faktor Redudansi

Berdasarkan sub sub bab 2.15, bahwasanya untuk struktur yang dirancang pada kategori desain seismik D, penggunaan redundansi harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi yang ditentukan pada sub subbab 2.15 dipenuhi, dimana redundansi diijinkan diambil sebesar 1,0. Salah satu kondisi yang menentukan tersebut yaitu masing-masing lantai harus menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau, maka redundansi diijinkan diambil 1,0. Apabila kondisi ini tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1,0 harus diganti dengan redundansi 1,3. Tabel 4.2-4.3 merupakan pengecekan untuk setiap gaya geser pada masing-masing lantainya terhadap nilai redundansi 1,0.

Tabel 4.2: Pengecekan story shear dengan 35% base shear terhadap redundansi 1,0 untuk Model 1 di lapangan terhadap gempa x.

Lantai	V _x (kN)	V _y (kN)	35% V _x Base Shear	35% V _y Base Shear	Kontrol	Kontrol
Roof Top	28818,77	6531,86	10086,56	2286,15	OK	OK
Lantai 3	141776,82	29529,16	49621,88	10335,20	OK	OK
Lantai 2	277989,27	60568,97	97296,24	21199,13	OK	OK
Lantai 1	352454,08	77716,87	123358,92	27200,90	OK	OK

Tabel 4.3: Pengecekan story shear dengan 35% base shear terhadap redundansi 1,0 untuk Model 1 di lapangan terhadap gempa y.

Lantai	V _x (kN)	V _y (kN)	35% V _x Base Shear	35% V _y Base Shear	Kontrol	Kontrol
Roof Top	1711,55	23934,2	599,04	8376,9	OK	OK
Lantai 3	28591,21	126300,8	10006,92	44205,2	OK	OK
Lantai 2	61448,43	254810,1	21506,95	89183,5	OK	OK
Lantai 1	78032,95	327783,5	27311,54	114724,3	OK	OK

Dari Tabel 4.2-4.3 diketahui bahwa gaya geser pada lantai 1-3 dengan redundansi 1,0 memenuhi syarat lebih kecil dari 35 persen gaya geser dasar. Sehingga nilai faktor redundansi yang digunakan pada pemodelan struktur dengan menggunakan program Analisis Struktur adalah 1.

4.3.2. Beban Kombinasi

Seluruh beban mati, beban hidup dan beban gempa tersebut diperhitungkan dengan faktor pembesaran dan kombinasi (loads combinations) yang diinput ke dalam program ETABS Ver.16 berdasarkan SNI 1726:2012. Untuk Pemodelan ini dengan menggunakan nilai $\rho = 1,3$ yang diperoleh dari desain seismik E dan nilai $SDS = 0,7023$ diperoleh dari sub bab 3.3, maka kombinasi pembebanannya dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1729-2012 dengan nilai $\rho = 1,3$ dan $SDS = 0,7023$.

Nomor	DL	SIDL	LL	L _r	R	W _x	W _y	E _x	E _y
1	1,1	1,4	1,4						
2	2,1	1,2	1,2	1,6	0,5				
	2,2	1,2	1,2	1,6		0,5			
3	3,1	1,2	1,2	1	1,6				
	3,2	1,2	1,2		1,6		0,5		
	3,3	1,2	1,2		1,6			0,5	
	3,4	1,2	1,2		1,6		0,375	0,375	
	3,5	1,2	1,2	1		1,6			
	3,6	1,2	1,2			1,6		0,5	
	3,7	1,2	1,2			1,6			0,5
	3,8	1,2	1,2			1,6	0,375	0,375	
4	4,1	1,2	1,2	1	0,5		1		
	4,2	1,2	1,2	1	0,5			1	
	4,5	1,2	1,2	1	0,5		0,75	0,75	
	4,3	1,2	1,2	1		0,5	1		
	4,4	1,2	1,2	1		0,5		1	
	4,6	1,2	1,2	1		0,5	0,75	0,75	
5	5,1	0,9	0,9				1		
	5,2	0,9	0,9					1	
	5,3	0,9	0,9				0,75	0,75	
6	6,1	1,3405	1,3405	1				1,3	0,39
	6,2	1,3405	1,3405	1				1,3	-0,39

	6,3	1,3405	1,3405	1					-1,3	0,39
	6,4	1,3405	1,3405	1					-1,3	-0,39
	6,5	1,3405	1,3405	1					0,39	1,3
	6,6	1,3405	1,3405	1					-0,39	1,3
	6,7	1,3405	1,3405	1					0,39	-1,3
	6,8	1,3405	1,3405	1					-0,39	-1,3
7	7,1	0,7595	0,7595						1,3	0,39
	7,2	0,7595	0,7595						1,3	-0,39
	7,3	0,7595	0,7595						-1,3	0,39
	7,4	0,7595	0,7595						-1,3	-0,39
	7,5	0,7595	0,7595						0,39	1,3
	7,6	0,7595	0,7595						-0,39	1,3
	7,7	0,7595	0,7595						0,39	-1,3
	7,8	0,7595	0,7595						-0,39	-1,3

4.3.3. Perbandingan Gaya Geser Gedung Tiap Lantai

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.3, gaya gempa lateral (F_i) yang timbul disemua tingkat dapat ditentukan oleh:

$$1. F_i = C_{vx} \cdot V \rightarrow C_{vx} = \frac{w_i \cdot h_i^k}{\sum w_i \cdot h_i^k}$$

- K = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut.
- Untuk struktur yang memiliki $T \leq 0,5$ detik; $k = 1$
- Untuk struktur yang memiliki $T \geq 2,5$ detik; $k = 2$

Untuk struktur yang memiliki $0,5 < T < 2,5$; k adalah hasil interpolasi berikut cara mendapatkan nilai k.

$$T_x = 0,360$$

$$T_y = 0,419$$

$$K_x = 1 + (2-1) / (2,5-0,5) (0,360 - 0,5) = 0,93$$

$$K_y = 1 + (2-1) / (2,5-0,5) (0,419 - 0,5) = 0,96$$

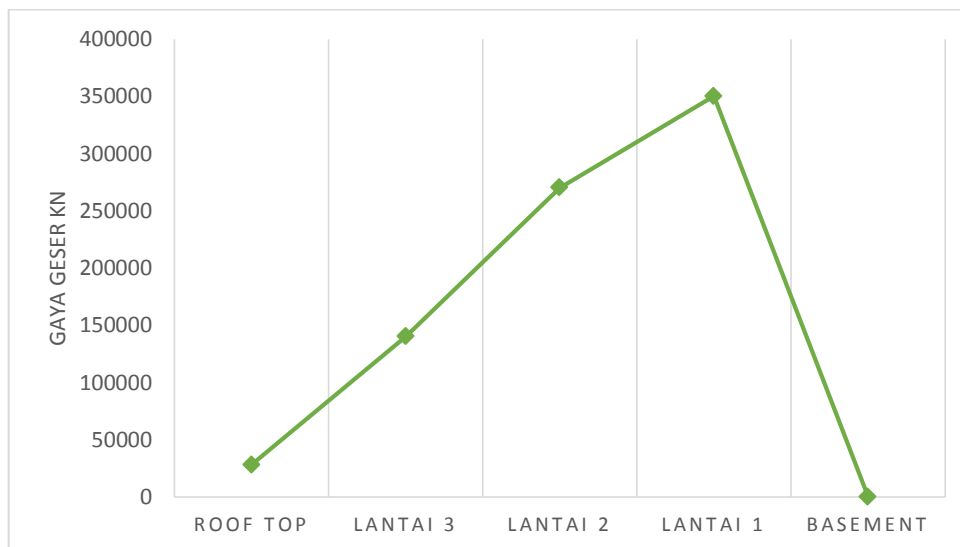
Setelah dilakukan perhitungan, didapatlah nilai dari distribusi gaya geser horizontal arah x berdasarkan metode analisis statik ekuivalen.

4.3.4. Gaya Geser Analisis Respons Spektrum

Gaya geser lantai merupakan distribusi dari gaya geser dasar yang dibagi pada setiap lantai untuk masing-masing arah gempa. Nilai gaya geser lantai yang didapat dari pemodelan struktur dengan menggunakan program Analisis Struktur dapat dilihat pada Tabel 4.5-4.6.

Tabel 4.5: Gaya geser hasil output analisis respons spektrum gempa x.

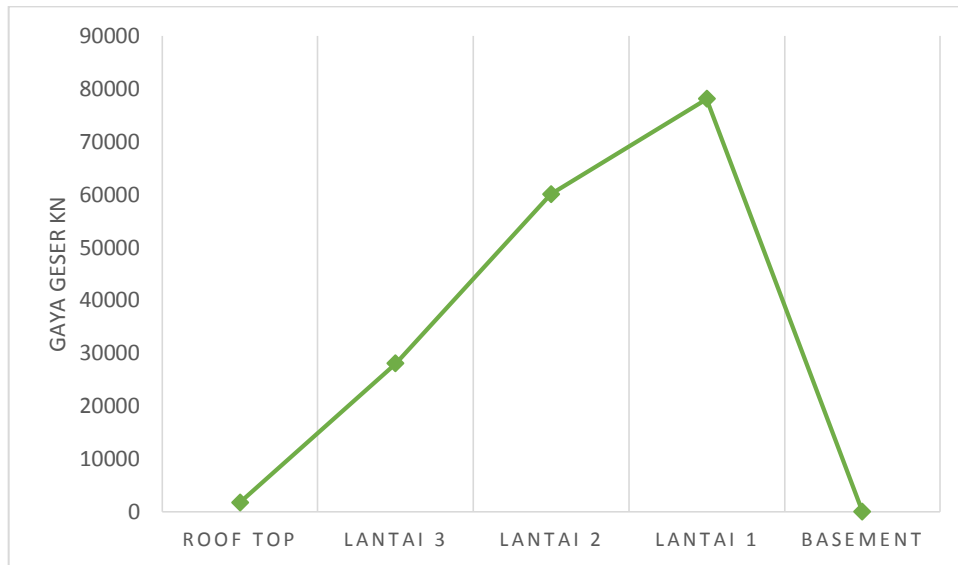
<i>TABLE: Story Response Seismic X</i>				
Story	Elevation M	Location	X-Dir kN	Y-Dir kN
Roof Top	15,4	Top	28818,77	23934,2
		Bottom	28818,77	23934,2
Lantai 3	12,9	Top	141776,82	126300,8
		Bottom	141776,82	126300,8
Lantai 2	8,7	Top	277989,27	254810,1
		Bottom	277989,27	254810,1
Lantai 1	4,5	Top	352454,08	327783,5
		Bottom	352454,08	327783,5
Basement	0	Top	0	0
		Bottom	0	0



Gambar 4.1: Diagram gaya geser respons spektrum sumbu x.

Tabel 4.6: Gaya geser hasil output analisis respons spektrum gempa y.

<i>TABLE: Story Responce Seismic Y</i>				
Story	Elevation M	Location	X-Dir kN	Y-Dir kN
Roof Top	15,4	Top	1711,5585	23934,2
		Bottom	1711,5585	23934,2
Lantai 3	12,9	Top	28591,2106	126300,8
		Bottom	28591,2106	126300,8
Lantai 2	8,7	Top	61448,4372	254810,1
		Bottom	61448,4372	254810,1
Lantai 1	4,5	Top	78032,9575	327783,5
		Bottom	78032,9575	327783,5
Basement	0	Top	0	0
		Bottom	0	0



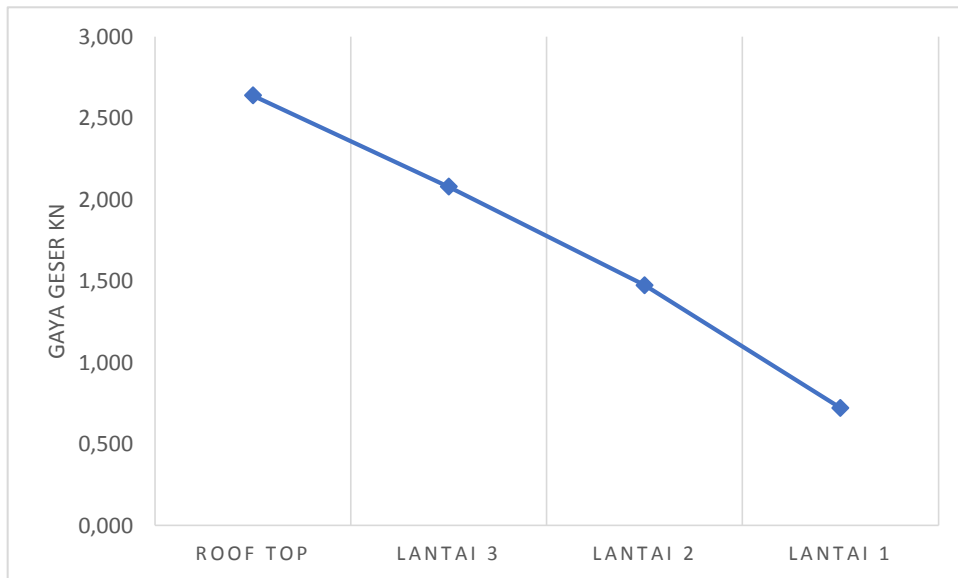
Gambar 4.2: Diagram gaya geser respons spektrum sumbu y.

4.3.5. Nilai Simpangan

Simpangan antar lantai merupakan selisih dari nilai defleksi gedung antara lantai *i* dengan lantai di bawahnya. Berdasarkan peraturan SNI 1726:2019, control simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin seperti yang terdapat pada Tabel 2.15 yang dikalikan dengan nilai faktor redundansi. Tabel 4.7-4.8 merupakan hasil nilai simpangan antar lantai.

Tabel 4.7: Nilai simpangan gedung Model 1 di lapangan akibat gempa *x*, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726-2019.

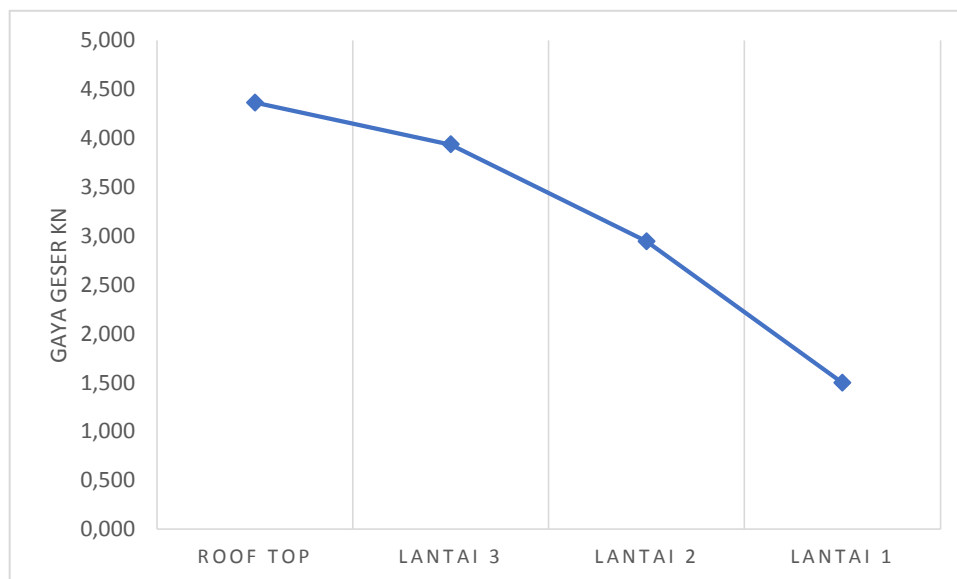
Story	Displacement		Elastic Drift		<i>h</i> (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
4	2,638	1,044	0,560	0,072	2500	3,082	0,397	38,462	OK
3	2,077	0,972	0,604	0,248	4200	3,320	1,362	64,615	OK
2	1,473	0,724	0,753	0,359	4200	4,140	1,973	64,615	OK
1	0,721	0,365	0,721	0,365	4500	3,964	2,008	69,231	OK



Gambar 4.3: Diagram nilai simpangan lantai sumbu *x*.

Tabel 4.8: Nilai simpangan gedung Model 1 di lapangan akibat gempa y, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726-2019.

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
4	0,264	4,360	-0,931	0,428	2500	-5,122	2,354	38,462	OK
3	1,195	3,932	0,310	0,990	4200	1,704	5,447	64,615	OK
2	0,886	2,941	0,470	1,445	4200	2,587	7,950	64,615	OK
1	0,415	1,496	0,415	1,496	4500	2,284	8,228	69,231	OK



Gambar 4.4: Diagram nilai simpangan lantai sumbu y.

Pada Tabel 4.8-4.8 di atas dapat dilihat besarnya simpangan yang terjadi akibat gempa arah x maupun y. Besar simpangan arah sumbu x dan y berbeda, hal ini diakibatkan oleh sistem penahan gaya lateral yang terpasang hanya pada arah tertentu. Arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur sub sistem dan system struktur gedung secara keseluruhan. Pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas 30%.

4.3.6. Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2019 efek P-delta harus diperhitungkan untuk struktur gedung yang memikul beban gempa. Akan tetapi, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai stability ratio lebih kecil dari 0,1. Kontrol pengaruh P-delta untuk arah x dan y tertera pada Tabel 4.10 dan 4.11.

Tabel 4.9: Kontrol P-delta pada arah x di Lapangan.

Lantai	Tinggi (mm)	Story Drift (mm)	Gaya Geser Seismik, V _x (Kgf)	Beban Vertikal Total (Kgf)	Beban Vertikal Kumulatif (Kgf)	Stability Ratio (θ _x)	Cek X
Roof Top	15400	38,462	28818,77	2354,57	2354,57	0,000056	OK
Lantai 3	12900	64,615	141776,82	13357,43	15712	0,000129	OK
Lantai 2	8700	64,615	277989,27	18512,8	34224,79	0,000135	OK
Lantai 1	4500	69,231	352454,08	18613,65	52838,45	0,000222	OK

Tabel 4.10: Kontrol P-delta pada arah y di Lapangan.

Lantai	Tinggi (mm)	Story Drift (mm)	Gaya Geser Seismik, V _y (Kgf)	Beban Vertikal Total (Kgf)	Beban Vertikal Kumulatif (Kgf)	Stability Ratio (θ _y)	Cek X
Roof Top	15400	38,462	28818,77	2354,57	2354,57	0,000056	OK
Lantai 3	12900	64,615	141776,82	13357,43	15712	0,000129	OK
Lantai 2	8700	64,615	277989,27	18512,8	34224,79	0,000135	OK
Lantai 1	4500	69,231	352454,08	18613,65	52838,45	0,000222	OK

4.4. Cek Penampang Kolom Gedung UINSU

Berdasarkan hasil dari analisis dari software ETABS Versi 16 ada 40 Kolom dan 4 Balok pada Gedung UINSU yang terindikasi memerlukan retrofit untuk penambahan kekuatan geser nya mulai dari lantai 1,2, dan 3

4.4.1. Cek Penampang Kolom Lantai 1

Setelah di Periksa lebih lanjut pada Gedung UINSU tepatnya di lantai 1 Kolom yang berjumlah 16 mengalami kegagalan akibat gaya geser dengan data sebagai berikut:

Tabel 4.11: Perbandingan Vu dan Vn pada Struktur Kolom lantai 1.

Kolom Lantai 1	Vu (Kgf)	Vn (Kgf)	Keterangan
K1 – C1	20869,86	24425,94	Perlu Diperkuat
K1 – C2	16321,32	15328,86	Perlu Diperkuat
K1 – C3	15442,07	13570,36	Perlu Diperkuat
K1 – C4	36761,6	56209,42	Perlu Diperkuat
K1 – C5	31672,64	46031,50	Perlu Diperkuat
K1 – C6	29381,23	41448,68	Perlu Diperkuat
K1 – C7	36741,39	56169,00	Perlu Diperkuat
K1 – C8	21466,54	25619,30	Perlu Diperkuat
K1 – C9	20091,84	22869,90	Perlu Diperkuat
K1 – C10	36839,14	56364,50	Perlu Diperkuat
K1 – C11	21494,23	25674,68	Perlu Diperkuat
K1 – C12	24663,12	32012,46	Perlu Diperkuat
K1 – C13	16984,85	16655,92	Perlu Diperkuat
K1 – C14	14462,1	11610,42	Perlu Diperkuat
K1 – C15	14367,57	11421,36	Perlu Diperkuat
K2 – C16	181,25	-16951,27	Tidak Perlu Diperkuat
K2 – C17	7811,61	-1690,55	Tidak Perlu Diperkuat
K2 – C18	8607,01	-99,75	Tidak Perlu Diperkuat
K2 – C39	10353,33	3392,88	Perlu Diperkuat
K2 – C40	1452,62	-14408,53	Tidak Perlu Diperkuat
K2 – C41	15480,31	13646,84	Tidak Perlu Diperkuat

4.4.2. Penambahan CFRP untuk Kolom lantai 1

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1.1. kapasitas geser harus lebih besar dari gaya geser yang terjadi, jika tidak terpenuhi maka dapat dilakukan retrofit menurut ACI 440 (American Concrete Institute) untuk memenuhi kapasitas penampang dan mengetahui nilai dari properti CFRP. Kolom K1 pada Gedung UINSU lantai 1 membutuhkan retrofit untuk kebutuhan kekuatan geser maka digunakan CFRP Wrap 231 C.

Berikut klasifikasi CFRP tipe wrap 231 C yang berfungsi sebagai penambah kekuatan geser pada struktur Kolom K1 pada Gedung UINSU lantai 1.

$$\begin{aligned} \text{Kuat tarik } (f_{fu})^* &= 4900 \text{ N/mm}^2 \\ \text{M. Elastisitas } (E_f) &= 230.000 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Regangan } (\epsilon_{fu})^* &= 1,91\% / 100\% = 0,0191 \\ \text{Ketebalan } (t_f) &= 0,129 \\ \text{Lebar } (w_f) &= 500 \text{ mm} \\ \text{Luas Penampang} &= 129 \text{ mm}^2 \\ \text{Panjang/roll} &= 100 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung Properties CFRP (carbon fiber reinforced polymer) tipe Wrap 231 C

$$\begin{aligned} \text{Tegangan tarik CFRP } (f_{fu}) &= CE \times (f_{fu})^* = 0,95 \times 4900 = 4655 \text{ Mpa} \\ \text{Regangan tarik CFRP } (\epsilon_{fu}) &= CE \times (\epsilon_{fu})^* = 0,95 \times 0,0191 = 0,0181 \text{ Mpa} \\ \text{Panjang lekatan aktif CFRP } (L_e) &= \frac{23300}{(w_f \cdot t_f \cdot E_f)^{0,58}} \\ &= \frac{23300}{(500 \cdot 0,129 \cdot 230000)^{0,58}} = 1,614 \\ \text{Faktor Kuat tekan Beton } (k_1) &= \frac{f_{c'}^2}{27} = \frac{21,4^2}{27} = 0,79 \\ \text{Faktor Pemasangan FRP } (k_2) &= \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} = \frac{420 - 1,614}{420} = 0,996 \\ \text{Koefisien Reduksi Lekatan FRP } (K_v) &= \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot L_e}{11900 \cdot \epsilon_{fu}} = \frac{0,79 \cdot 0,996 \cdot 1,614}{11900 \cdot 0,0181} = 0,000588 \\ \text{Regangan Tarik efektif FRP Kolom } (\epsilon_{fe}) &= 0,004 \leq 0,75\epsilon_{fu} = 0,0143 \\ &= \text{Maka digunakan } 0,004 \\ \text{Tegangan Tarik efektif FRP } (f_{fe}) &= \epsilon_{fe} \cdot E_f = 0,004 \times 230.000 = 920 \\ \text{Menghitung kapasitas geser FRP } (V_f)_{reqd} &= \frac{\Delta V_u}{\phi(\Psi_f)} = \frac{227,689}{0,85(0,95)} = 281,968 \end{aligned}$$

$$\text{Area CFRP untuk lekatan (Afv) reqd} = \frac{Vf \text{ reqd.Sf}}{ef_e \cdot Ef (\sin\alpha + \cos\alpha) df} = \frac{281,968 \cdot 500}{0,004 \cdot 230.000 (1)420} = 0,365$$

$$\text{Jumlah lapisan dan jarak lekatan } n = \frac{Vf \text{ reqd.Sf}}{2 (tf)Wf} = \frac{0,365 \cdot 500}{2 (0,129) 500} = 1,414$$

Maka untuk memenuhi kebutuhan Kolom K1 terhadap geser dapat menggunakan 2 lapis ($n = 2$) CFRP secara terus-menerus sepanjang ketinggian Kolom.

4.4.3. Cek Penampang Kolom Lantai 2

Setelah di Periksa lebih lanjut pada Gedung UINSU tepatnya di lantai 2 Kolom yang berjumlah 19 mengalami kegagalan akibat gaya geser dengan data sebagai berikut:

Tabel 4.12: Perbandingan Vu dan Vn pada Struktur Kolom lantai 2.

Kolom Lantai 1	Vu (Kgf)	Vn (Kgf)	Keterangan
K – C1	20158,7	23003,62	Perlu Diperkuat
K1 – C2	18804,17	20294,56	Perlu Diperkuat
K1 – C3	16589,84	15865,90	Perlu Diperkuat
K1 – C4	32142,48	46971,18	Perlu Diperkuat
K1 – C5	29546,3	41778,82	Perlu Diperkuat
K1 – C6	28060,7	38807,62	Perlu Diperkuat
K1 – C7	35822,14	54330,50	Perlu Diperkuat
K1 – C8	23386,33	29458,88	Perlu Diperkuat
K1 – C9	22984,88	28655,98	Perlu Diperkuat
K1 – C10	33634,64	49955,50	Perlu Diperkuat
K1 – C11	26528,67	35743,56	Perlu Diperkuat
K1 – C12	24323,03	31332,28	Perlu Diperkuat
K1 – C13	14390,91	11468,04	Perlu Diperkuat
K1 – C14	15730,5	14147,22	Perlu Diperkuat
K1 – C15	14184,45	11055,12	Perlu Diperkuat
K2 – C16	166,37	-16981,03	Tidak Perlu Diperkuat
K2 – C17	9538,89	1764,00	Perlu Diperkuat
K2 – C18	10785,58	4257,38	Perlu Diperkuat
K2 – C39	14544,74	11775,70	Perlu Diperkuat
K2 – C40	710,8	-15892,17	Tidak Perlu Diperkuat
K2 – C41	14224,15	11134,52	Perlu Diperkuat

4.4.4. Penambahan CFRP untuk Kolom lantai 2

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1.1. kapasitas geser harus lebih besar dari gaya geser yang terjadi, jika tidak terpenuhi maka dapat dilakukan retrofit menurut ACI 440 (American Concrete Institute) untuk memenuhi kapasitas penampang dan mengetahui nilai dari properti CFRP. Kolom K1 pada Gedung UINSU lantai 2 membutuhkan retrofit untuk kebutuhan kekuatan geser maka digunakan CFRP Wrap 231 C.

Berikut klasifikasi CFRP tipe wrap 231 C yang berfungsi sebagai penambah kekuatan geser pada struktur Kolom K1 pada Gedung UINSU lantai 2.

$$\begin{aligned} \text{Kuat tarik } (f_{fu})^* &= 4900 \text{ N/mm}^2 \\ \text{M. Elastisitas } (E_f) &= 230.000 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Regangan } (\epsilon_{fu})^* &= 1,91\% / 100\% = 0,0191 \\ \text{Ketebalan } (t_f) &= 0,129 \\ \text{Lebar } (w_f) &= 500 \text{ mm} \\ \text{Luas Penampang} &= 129 \text{ mm}^2 \\ \text{Panjang/roll} &= 100 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung Properties CFRP (carbon fiber reinforced polymer) tipe Wrap 231 C

$$\begin{aligned} \text{Tegangan tarik CFRP } (f_{fu}) &= CE \times (f_{fu})^* = 0,95 \times 4900 = 4655 \text{ Mpa} \\ \text{Regangan tarik CFRP } (\epsilon_{fu}) &= CE \times (\epsilon_{fu})^* = 0,95 \times 0,0191 = 0,0181 \text{ Mpa} \\ \text{Panjang lekatan aktif CFRP } (L_e) &= \frac{23300}{(w_f \cdot t_f \cdot E_f)^{0,58}} \\ &= \frac{23300}{(500 \cdot 0,129 \cdot 230000)^{0,58}} = 1,614 \\ \text{Faktor Kuat tekan Beton } (k_1) &= \frac{f_c'}{27} = \frac{21,4}{27} = 0,79 \\ \text{Faktor Pemasangan FRP } (k_2) &= \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} = \frac{420 - 1,614}{420} = 0,996 \\ \text{Koefisien Reduksi Lekatan FRP } (K_v) &= \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot L_e}{11900 \cdot \epsilon_{fu}} = \frac{0,79 \cdot 0,996 \cdot 1,614}{11900 \cdot 0,0181} = 0,000588 \\ \text{Regangan Tarik efektif FRP Kolom } (\epsilon_{fe}) &= 0,004 \leq 0,75 \epsilon_{fu} = 0,0143 \\ &= \text{Maka digunakan } 0,004 \\ \text{Tegangan Tarik efektif FRP } (f_{fe}) &= \epsilon_{fe} \cdot E_f = 0,004 \times 230.000 = 920 \\ \text{Menghitung kapasitas geser FRP } (V_f)_{reqd} &= \frac{\Delta V_u}{\phi(\psi_f)} = \frac{227,689}{0,85(0,95)} = 281,968 \end{aligned}$$

$$\text{Area CFRP untuk lekatan (Afv) reqd} = \frac{Vf reqd.Sf}{\epsilon f_e \cdot E_f (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f} = \frac{281,968 \cdot 500}{0,004 \cdot 230.000 (1)420}$$

$$= 0,365$$

$$\text{Jumlah lapisan dan jarak lekatan } n = \frac{Vf reqd.Sf}{2 (t_f)W_f} = \frac{0,365 \cdot 500}{2 (0,129) 500} = 1,414$$

Maka untuk memenuhi kebutuhan Kolom K1 terhadap geser dapat menggunakan 2 lapis ($n = 2$) CFRP secara terus-menerus sepanjang ketinggian Kolom.

4.4.5. Cek Penampang Kolom Lantai 3

Setelah di Periksa lebih lanjut pada Gedung UINSU tepatnya di lantai 3 Kolom yang berjumlah x mengalami kegagalan akibat gaya geser dengan data sebagai berikut:

Tabel 4.13: Perbandingan Vu dan Vn pada Struktur Kolom lantai 3

Kolom Lantai 1	Vu (Kgf)	Vn (Kgf)	Keterangan
K – C1	34301,53	51289,28	Perlu Diperkuat
K1 – C2	33946	50578,22	Perlu Diperkuat
K1 – C3	13327,73	9341,68	Perlu Diperkuat
K1 – C4	32431,95	47550,12	Perlu Diperkuat
K1 – C5	31041,16	44768,54	Perlu Diperkuat
K1 – C6	32300,79	47287,80	Perlu Diperkuat
K1 – C7	32908,54	48503,30	Perlu Diperkuat
K1 – C8	23049,29	28784,80	Perlu Diperkuat
K1 – C9	14259,66	11205,54	Perlu Diperkuat
K1 – C10	32346,33	47378,88	Perlu Diperkuat
K1 – C11	19652,13	21990,48	Perlu Diperkuat
K1 – C12	17191,48	17069,18	Perlu Diperkuat
K1 – C13	20059,17	22804,56	Perlu Diperkuat
K1 – C14	19693,65	22073,52	Perlu Diperkuat
K1 – C15	19299,71	21285,64	Perlu Diperkuat
K2 – C16	109,47	-17094,83	Tidak Perlu Diperkuat
K2 – C17	13594,86	9875,94	Perlu Diperkuat
K2 – C18	13247,24	9180,70	Perlu Diperkuat
K2 – C39	14632,37	11950,96	Perlu Diperkuat
K2 – C40	15500,82	13687,86	Perlu Diperkuat
K2 – C41	34301,53	51289,28	Perlu Diperkuat

4.4.6. Penambahan CFRP untuk Kolom lantai 3

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1.1. kapasitas geser harus lebih besar dari gaya geser yang terjadi, jika tidak terpenuhi maka dapat dilakukan retrofit menurut ACI 440 (American Concrete Institute) untuk memenuhi kapasitas penampang dan mengetahui nilai dari properti CFRP. Kolom K1 pada Gedung UINSU lantai 3 membutuhkan retrofit untuk kebutuhan kekuatan geser maka digunakan CFRP Wrap 231 C.

Berikut klasifikasi CFRP tipe wrap 231 C yang berfungsi sebagai penambah kekuatan geser pada struktur Kolom K1 pada Gedung UINSU lantai 3.

$$\begin{aligned} \text{Kuat tarik } (ffu)^* &= 4900 \text{ N/mm}^2 \\ \text{M. Elastisitas } (Ef) &= 230.000 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Regangan } (\epsilon_{fu})^* &= 1,91\% / 100\% = 0,0191 \\ \text{Ketebalan } (tf) &= 0,129 \\ \text{Lebar } (wf) &= 500 \text{ mm} \\ \text{Luas Penampang} &= 129 \text{ mm}^2 \\ \text{Panjang/roll} &= 100 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung Properties CFRP (carbon fiber reinforced polymer) tipe Wrap 231 C

$$\begin{aligned} \text{Tegangan tarik CFRP } (ffu) &= CE \times (ffu)^* = 0,95 \times 4900 = 4655 \text{ Mpa} \\ \text{Regangan tarik CFRP } (\epsilon_{fu}) &= CE \times (\epsilon_{fu})^* = 0,95 \times 0,0191 = 0,0181 \text{ Mpa} \\ \text{Panjang lekatan aktif CFRP } (Le) &= \frac{23300}{(wf \cdot tf \cdot Ef)^{0,58}} \\ &= \frac{23300}{(500 \cdot 0,129 \cdot 230000)^{0,58}} = 1,614 \\ \text{Faktor Kuat tekan Beton } (k1) &= \frac{f_c'}{27} = \frac{21,4}{27} = 0,79 \\ \text{Faktor Pemasangan FRP } (k2) &= \frac{d_{fv} - Le}{d_{fv}} = \frac{420 - 1,614}{420} = 0,996 \\ \text{Koefisien Reduksi Lekatan FRP } (K_v) &= \frac{K1 \cdot K2 \cdot Le}{11900 \cdot \epsilon_{fu}} = \frac{0,79 \cdot 0,996 \cdot 1,614}{11900 \cdot 0,0181} = 0,000588 \\ \text{Regangan Tarik efektif FRP Kolom } (\epsilon_{fe}) &= 0,004 \leq 0,75 \epsilon_{fu} = 0,0143 \\ &= \text{Maka digunakan } 0,004 \\ \text{Tegangan Tarik efektif FRP } (ffe) &= \epsilon_{fe} \cdot Ef = 0,004 \times 230.000 = 920 \\ \text{Menghitung kapasitas geser FRP } (V_f)_{reqd} &= \frac{\Delta V_u}{\phi(\psi_f)} = \frac{227,689}{0,85(0,95)} = 281,968 \end{aligned}$$

$$\text{Area CFRP untuk lekatan (Afv) reqd} = \frac{Vf reqd.Sf}{\varepsilon_{fe} . E_f (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f} = \frac{281,968 . 500}{0,004 . 230.000 (1)420}$$

$$= 0,365$$

$$\text{Jumlah lapisan dan jarak lekatan n} = \frac{Vf reqd.Sf}{2 (t_f)W_f} = \frac{0,365 . 500}{2 (0,129) 500} = 1,414$$

Maka untuk memenuhi kebutuhan Kolom K1 terhadap geser dapat menggunakan 2 lapis (n = 2) CFRP secara terus-menerus sepanjang ketinggian Kolom.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Struktur bangunan dengan kategori resiko IV didapati memiliki kategori desain seismic tertinggi yaitu KDS D pada situs Tanah Keras (Sc) terjadi pada daerah yang berada dalam peta zona gempa Ss senilai 0,3 sampai dengan 0,4; KDS D pada Situs tanah sedang (SD) terjadi pada daerah yang berada dalam peta zona gempa Ss senilai 0,05 sampai dengan 0,4; KDS D pada situs tanah lunak (SE) terjadi pada daerah yang berada dalam peta zona gempa Ss Senilai 0,05 sampai dengan 0,4;

2. Berdasarkan analisis dan pembahasan mengenai evaluasi untuk retrofit pada gedung kuliah UINSU di kota Medan dengan menggunakan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Berdasarkan hasil dan Analisis linier elastis metode respon spektrum nilai simpangan antar tingkat masih dalam batas simpangan antar tingkat izin, hal ini terjadi karena respon berbanding lurus dengan beban yang diberikan.

Berdasarkan hasil dan Analisis pada struktur kolom pada model ditemukan kegagalan untuk tulangan geser akibat beban dan gaya yang bekerja maka sebab itu dilakukan retrofit pada struktur dan kolom dengan menggunakan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) untuk perkuatan geser yang diambil dari produk Sika dengan tipe Wrap 231 C yaitu:

- Refetrofit Kolom K1 pada lantai 1 sebanyak 15 Kolom dan menggunakan 2 lapis CFRP untuk perkuatan tulangan geser.
- Refetrofit Kolom K2 pada lantai 1 sebanyak 1 Kolom dan menggunakan 2 lapis CFRP untuk perkuatan tulangan geser.
- Refetrofit Kolom K1 pada lantai 2 sebanyak 15 Kolom dan menggunakan 2 lapis CFRP untuk perkuatan tulangan geser.
- Refetrofit Kolom K2 pada lantai 2 sebanyak 4 Kolom dan menggunakan 2 lapis CFRP untuk perkuatan tulangan geser.

- Refetrofit Kolom K1 pada lantai 3 sebanyak 15 Kolom dan menggunakan 2 lapis CFRP untuk perkuatan tulangan geser.
- Refetrofit Kolom K2 pada lantai 3 sebanyak 5 Kolom dan menggunakan 2 lapis CFRP untuk perkuatan tulangan geser.

Jumlah struktur dan kolom yang membutuhkan retrofit cukup banyak dari tiap-tiap model hal ini menunjukkan bahwa kapasitas struktur dalam memikul beban lebih kecil dari pada gaya yang terjadi. Retrofit dilakukan dengan CFRP dimana struktur kolom tidak perlu di hancurkan untuk memperbaiki kegagalan struktur dalam memikul beban cukup dengan dilakukannya penambahan sesuai kebutuhan perkuatan dengan material yang diperlukan.

5.2. Saran

1. Dalam Tugas Akhir ini, komponen gedung seperti tangga, penulangan pelat, dimensi balok kolom yang ekonomis diabaikan. Disarankan untuk penganalisaan selanjutnya komponen tersebut direncanakan agar data yang dihasilkan lebih akurat dan sesuai data kondisi yang ada dilapangan.
2. Dalam Tugas Akhir ini, penambahan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) yang ekonomis diabaikan karena lebih mengutamakan cara analisis dan penerapan pada struktur yang memerlukan retrofit.

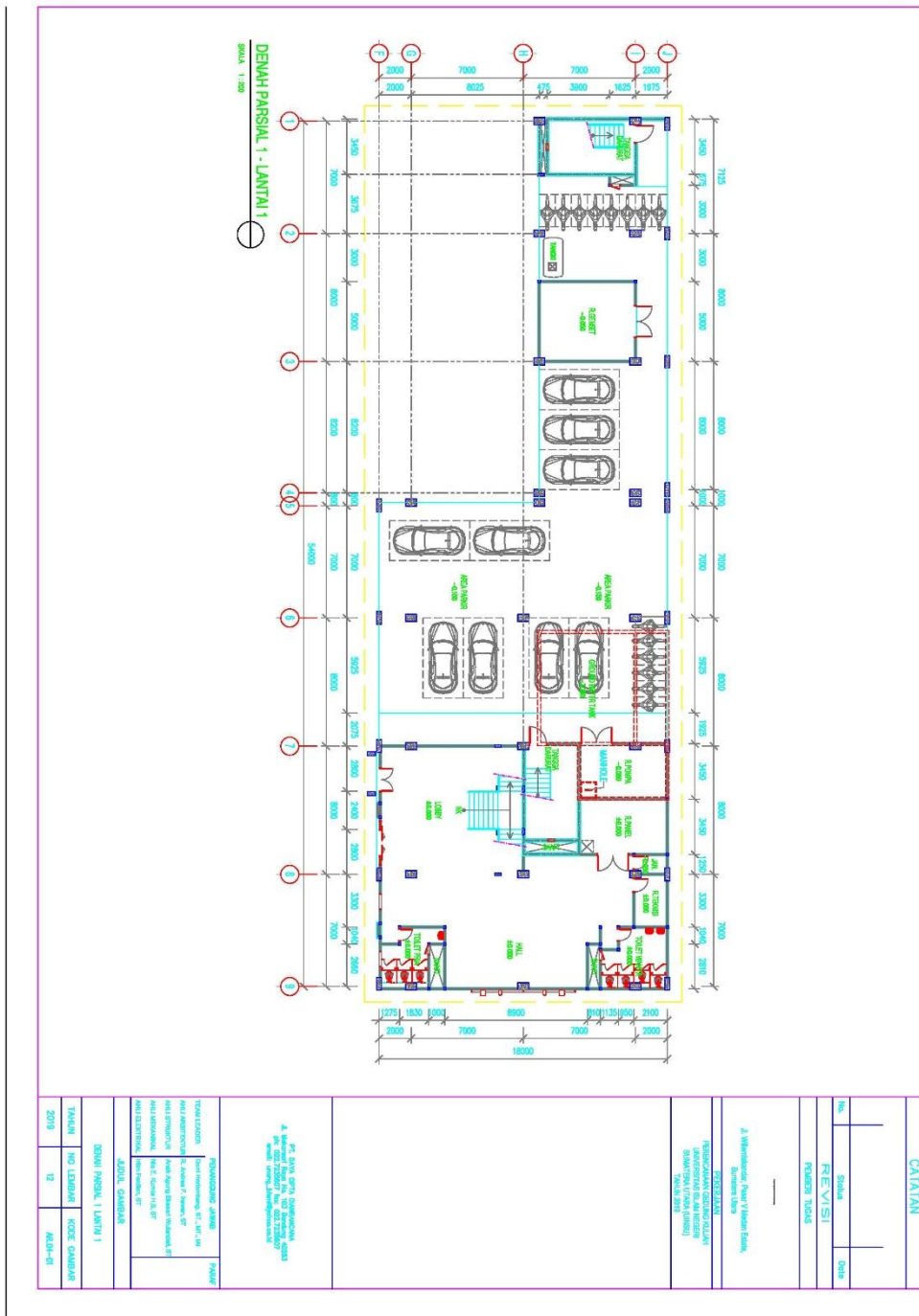
DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (2013) *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2013*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (2013) *Tata Cara Perhitungan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727:2013*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (2012) *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (1983) *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Budiono, B dan Supriatna, L (2011) *Pengaruh Frekuensi Gempa Terhadap Respons Bangunan Bertingkat*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Chandler, A. M dan Lam, N (2001) *Centre For Earthquake Engineering Research (CEER)*. Department of Civil Engineering, University of Hongkong.
- Djamaluddin R (2016) *Analisi Hubungan Balok dan Kolom Beton Bertulang*. Jakarta : Universitas Binus.
- Faisal, A. (2014) *Catatan Kuliah M.K.Vibrasi dan Teori Gempa*. Medan: UMSU.
- Haselton, C. dkk. (2008) *Beam-Column Element Model Calibrated For Predicting Flexural Response Leading To Global Collapse of RC Frame Buildings*. Berkeley: University of California.
- Kati, R. R. (2016) *Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan Geser Menggunakan Lembaran CFRP*. Makasar: Fakultas Teknik Hasanuddin.
- Khalifa. Dkk (1998) *Contribution of Externally Bonded FRP to Shear Capacity of RC Flexural Members*. Alexandria University 1998.
- Krawinkler and Seneviratna (1998) *Inelastic Torsion of Multistory Buildings Under Earthquake Excitations*. Greece: University of Patras.
- Martin, Alberto M (2013). *Introduction of Fiber Reinforced Polymer : Polymers and Composite Concepts, Properties and Processes*, Intech 2013.
- Muhammad, Mifta H dan Bagus Jaya S (2014). *Analisa Pola Bidang Sesar Pada Zona Subduksi di Wilayah Sumatera Barat, jurusan fisika, institut Sepuluh November, Surabaya*
- Winata, Dicky Hadi (2019). *Evaluasi dan Retrofit menggunakan Fiber Reinforced Polymer (FRP) Pada Struktur Bangunan Ruko Terhadap Respons Spektrum Gempa di Kota Medan*

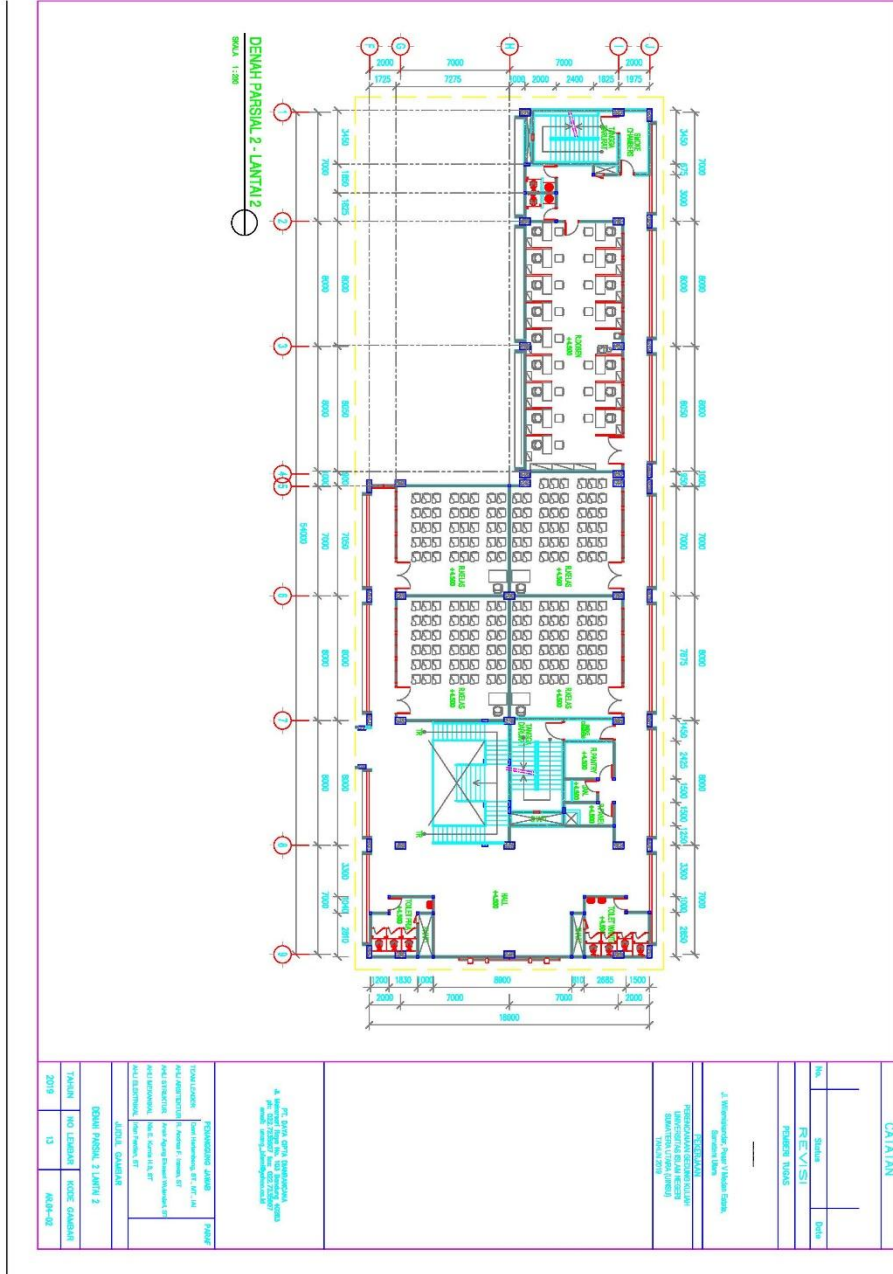
LAMPIRAN

DOKUMEN DETAIL ENGINEERING DRAWING GEDUNG KULIAH
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUMATERA UTARA

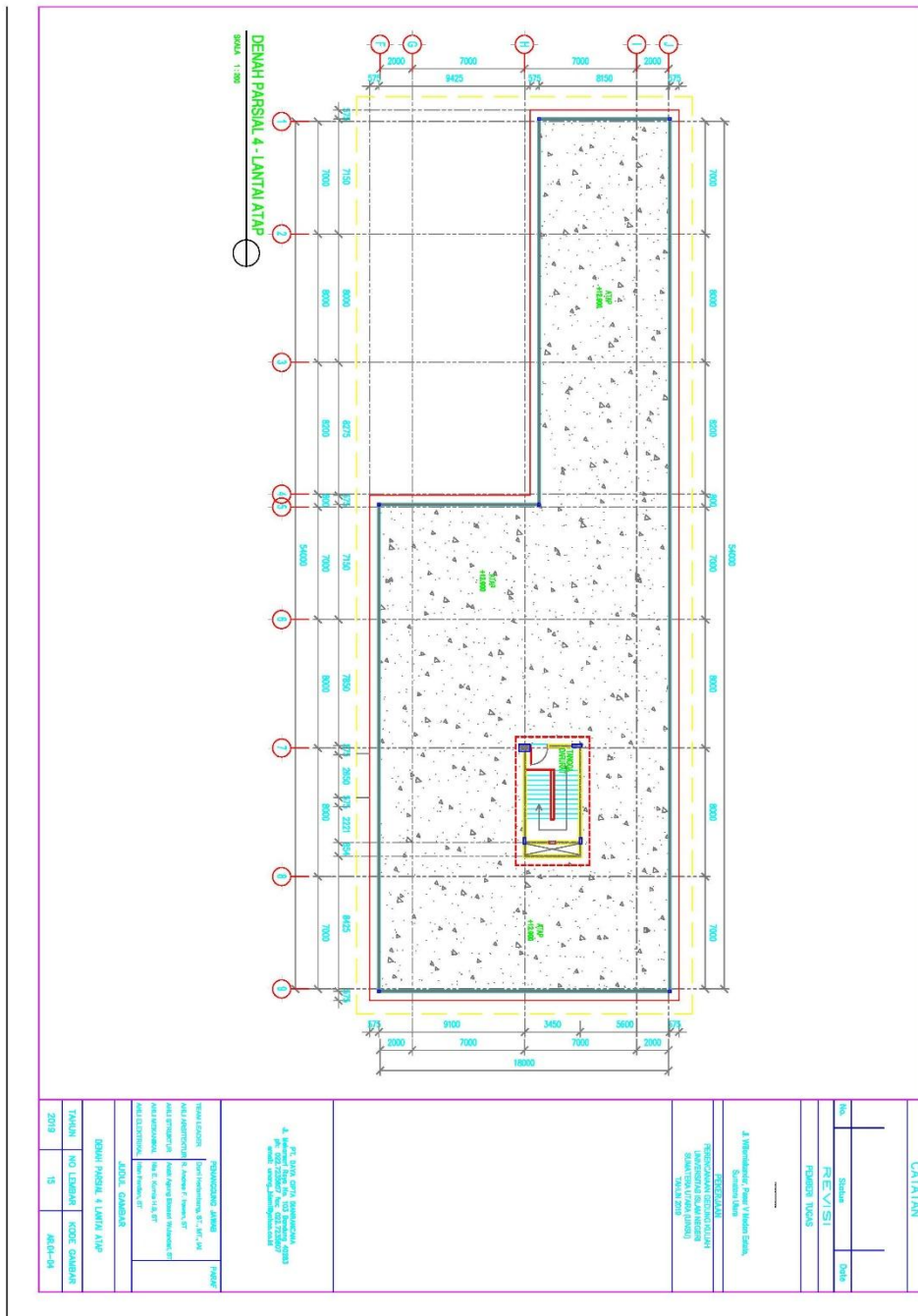
Gambar L1: Denah Parsial Lantai 1



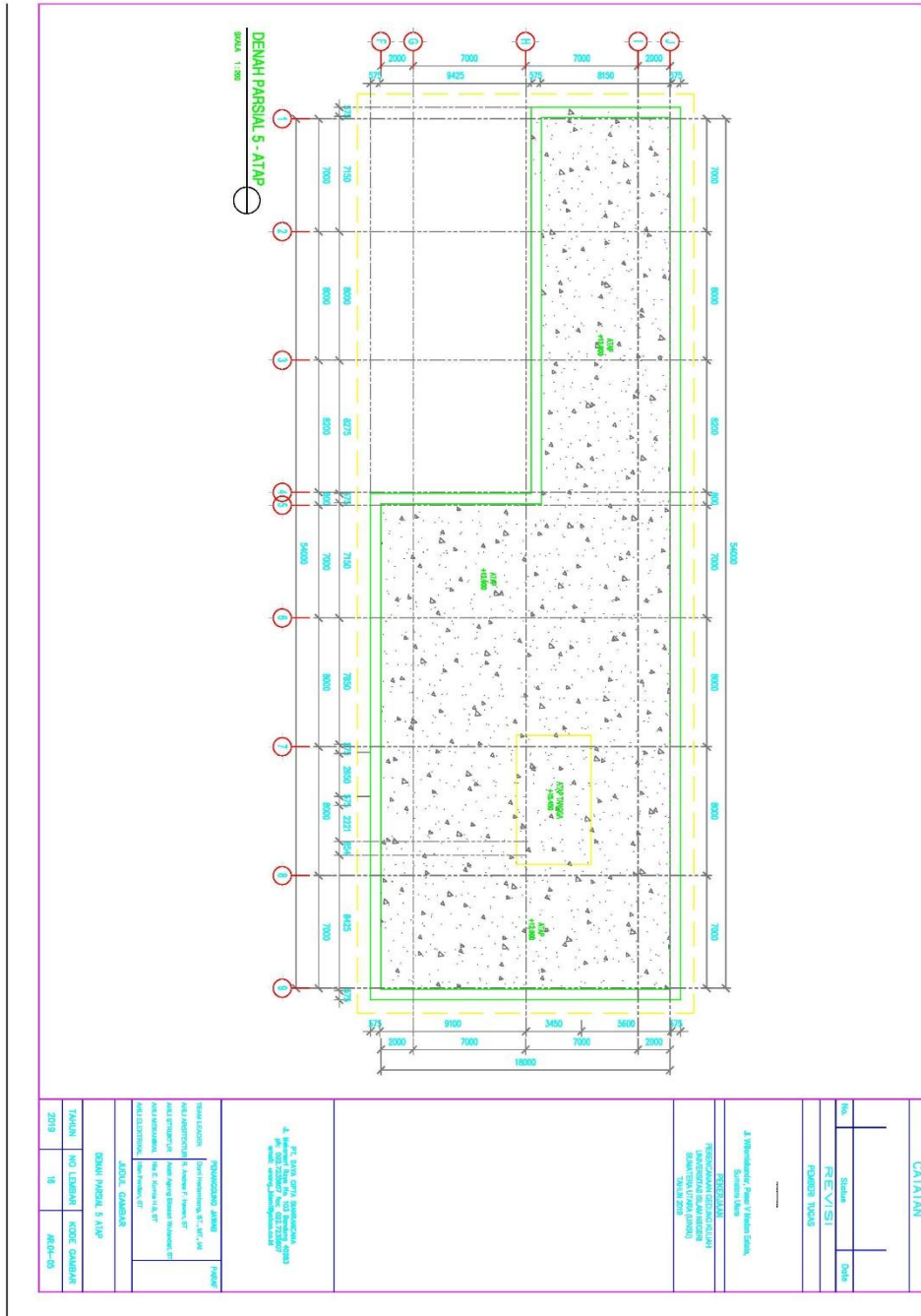
Gambar L2: Denah Parsial Lantai 2



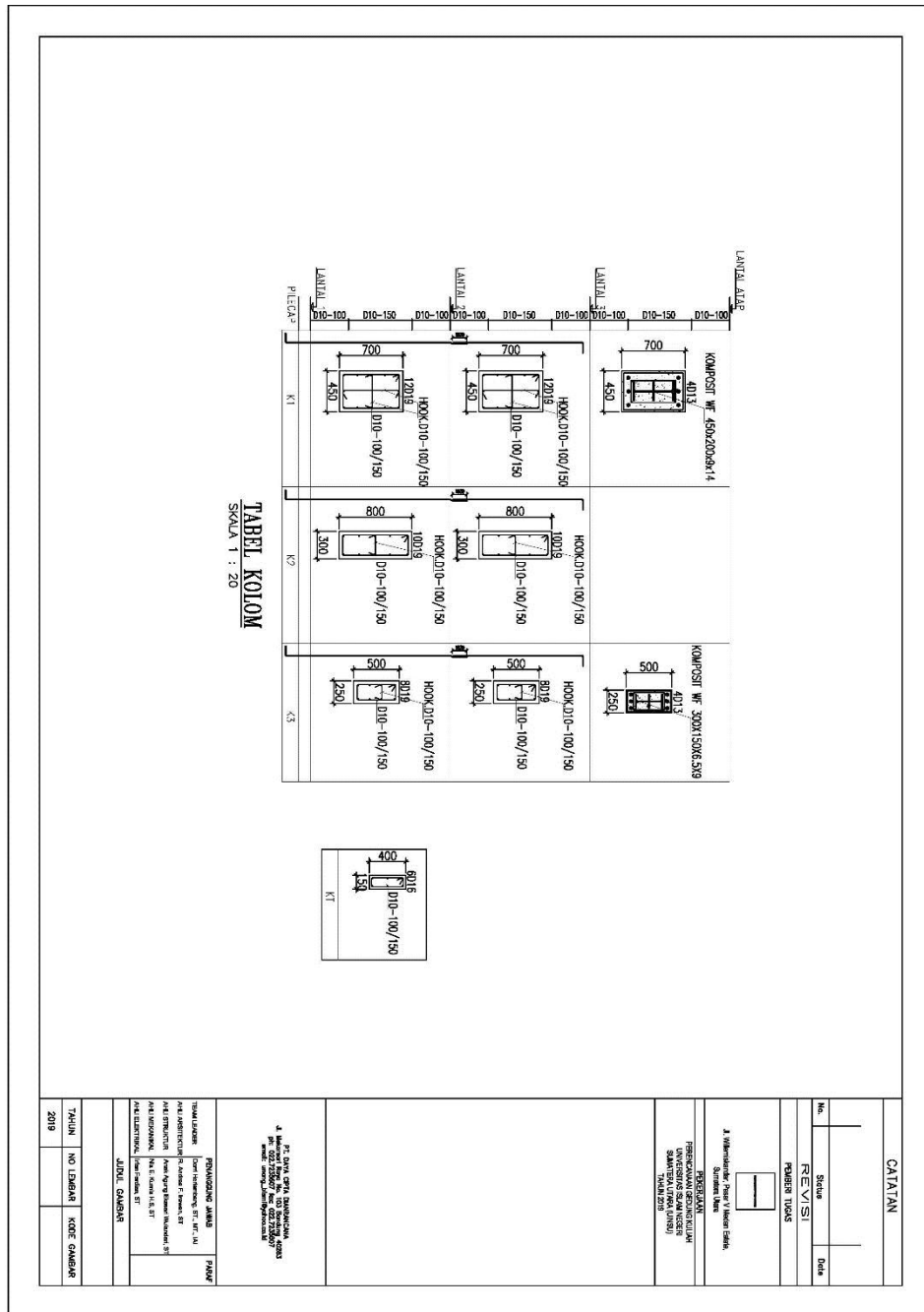
Gambar L4: Denah Parsial Lantai Atap



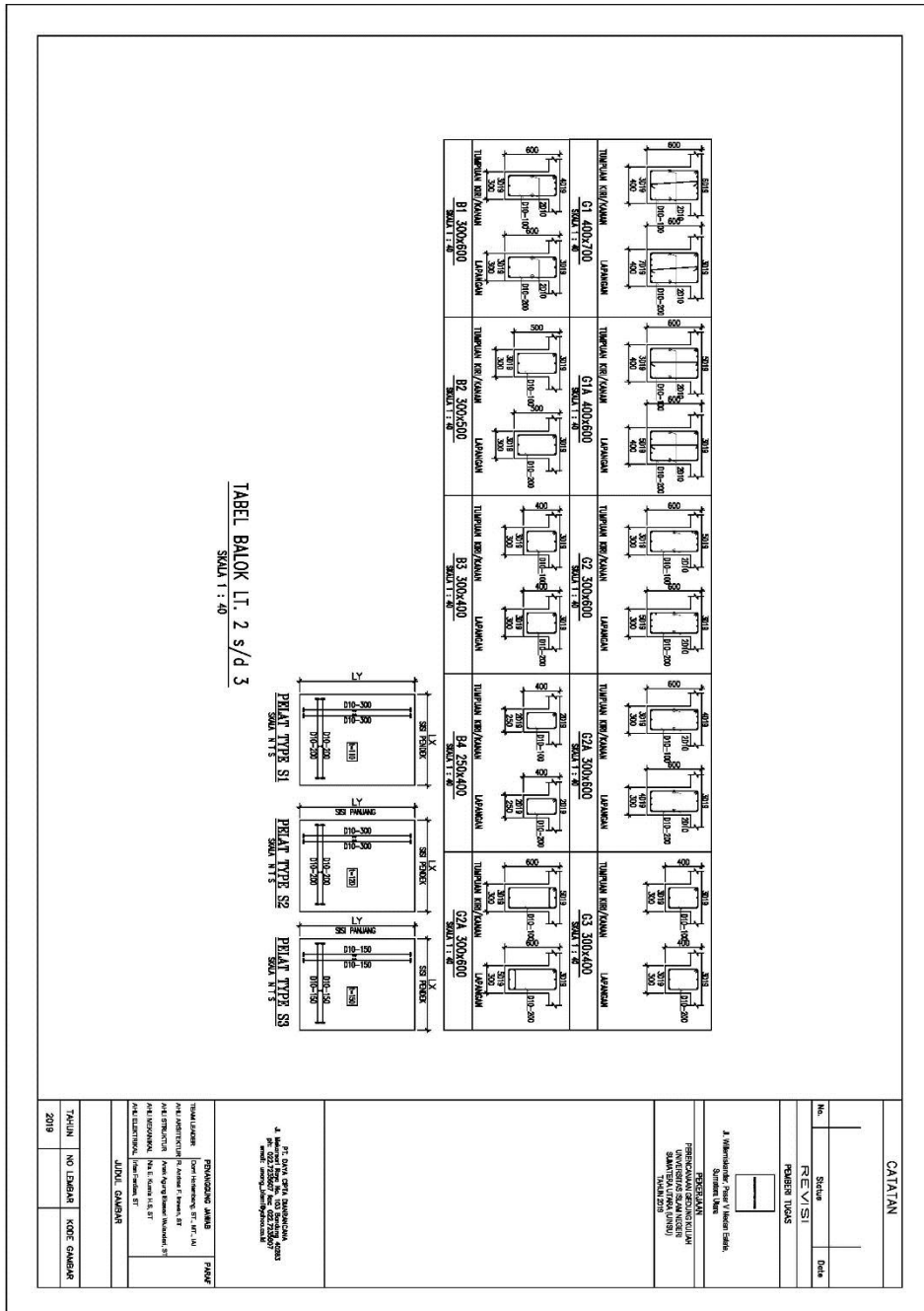
Gambar L5: Denah Parsial Atap



Gambar L6: Tabel Kolom



Gambar L7: Tabel Balok



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Muhammad Nur Fadli
Panggilan : Fadli
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 21 Oktober 1997
Jenis Kelamin : Laki – Laki
Alamat : Jalan Raya Medan Tenggara No. 231
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Suriono
Ibu : Nurmiati Sitorus
No. Hp : +6281533315170
E-mail : noerfadli13@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1507210243
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Muchtar Basri No. 3 Medan 202328

No.	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SD Negeri 064028	2009
2	SMP	SMP Negeri 6 Medan	2012
3	SMA	SMK Negeri 2 Medan	2015
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2015 sampai selesai.		