

**TUGAS AKHIR**

**STUDI KURVA KERAPUHAN PADA BANGUNAN MASJID DARI  
STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN VARIASI WILAYAH GEMPA**



**Disusun oleh :**

**Faiik Ilmi**

**20170110131**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

**2021**

**TUGAS AKHIR**

**STUDI KURVA KERAPUHAN PADA BANGUNAN MASJID DARI  
STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN VARIASI WILAYAH GEMPA**

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik di  
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah  
Yogyakarta.



**Faiik Ilmi**

**20170110131**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

**2021**

## HALAMAN PERYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Faiik Ilmi  
NIM : 20170110131  
Judul : Studi Kurva Kerapuhan pada Bangunan Masjid dari Struktur beton Bertulang dengan Variasi Wilayah Gempa

Menyatakan yang sebenarnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya saya sendiri. Apabila terdapat karya orang lain yang saya kutip, maka saya akan mencantumkan sumber secara jelas. Jika dikemudian hari ditemukan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak mana pun.

Yogyakarta, 05 Agustus 2021

Yang membuat pernyataan



Faiik Ilmi

## HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah robbila'alamin. Tugas akhir ini dipersembahkan kepada orang-orang yang penulis cintai dan sangat penulis banggakan yaitu Mama (Ibu Ani Nurdiani beliau adalah sosok wanita hebat dan paling berjasa bagi penulis. Mama adalah seseorang yang mencintai serta mengayomi anak-anaknya dalam kondisi serta keadaan apapun beliau juga yang menjadi spirit bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Kemudian kepada Papa (Bapak Sopadli) yang merupakan sosok pemimpin dan cerminan yang penulis banggakan nasihat-nasihatnya selalu membakar jiwa. Tugas Akhir ini juga dipersembahkan untuk orang-orang yang penulis sayangi, yaitu kedua saudara penulis, yaitu Muhammad Hanif dan Aura Shofarani. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi masyarakat, bangsa, negara, serta agama.

## PRAKATA

*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan Yang Mahakuasa atas segala sesuatu di langit dan bumi. Sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabat beliau.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Tugas akhir ini merupakan penelitian tentang Studi Kurva Kerapuhan Pada Bangunan Masjid dari Struktur beton Bertulang dengan Variasi Wilayah Gempa, analisis menggunakan *time history* dengan variasi gempa rencana kota Sabang, kota Kalianda, kota Mataram, kota Kendari, dan kota Gorontalo yang dibantu dengan menggunakan *software* STERA 3D.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini penyusun mendapat bimbingan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada yang berikut ini.

- a. Bapak Puji Harsanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- b. Ibu Ir. Fadillawaty S, M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir,
- c. Ibu Fanny Monika, S.T., M. Eng., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
- d. Bapak Hakas Prayuda, S.T., M.Eng., yang telah membimbing dalam penyusunan tugas akhir ini.
- e. Desti Lailatul M., Darda Bari Farizqi, dan Mundzirul Haq, yang telah membantu dan memberikan semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- f. Teman-teman mahasiswa Prodi Teknik Sipil kelas C angkatan 2017 Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, yang telah memberikan kesan yang sempurna selama masa perkuliahan.
- g. Orang tua, saudara, Akatsuki *Squad* dan Moso *Squad* yang selalu memberikan dukungan dan membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
- h. Semua pihak yang terlibat pada penyusunan Tugas Akhir ini.

Alhamdulillah, setelah segala kemampuan yang diiringi dengan doa, akhirnya tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik atas ridho Allah SWT. Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu kritik dan saran sangat diperlukan untuk perbaikan laporan berikutnya.

*Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

Yogyakarta, 05 Agustus 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	<b>xix</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xx</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxi</b>
<b>BAB I</b> .....	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Lingkup Penelitian .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II</b> .....	<b>4</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b> .....	<b>4</b>
2.1. Tinjauan Pustaka .....	4
2.1.1. Penelitian Terdahulu Tentang Kekakuan Struktur .....	4
2.1.2. Penelitian Terdahulu Tentang Pengaruh Gempa Terhadap Perpindahan ....	7
2.1.3. Penelitian Terdahulu Tentang Kerapuhan Seismik.....	11

2.1.4 Penelitian terdahulu dan sekarang.....	15
2.2. Landasan Teori.....	19
2.2.1.Sistem Struktur Bangunan.....	19
2.2.2.Kekakuan Struktur .....	21
2.2.3.Time History .....	22
2.2.5.Analisis Pushover.....	22
2.2.6.Metodologi HAZUS.....	23
2.2.7.Kurva Kerapuhan Seismik .....	23
2.2.8.Software STERA 3D.....	26
<b>BAB III.....</b>	<b>28</b>
<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1 Materi Penelitian .....	28
3.2 Peralatan Penelitian.....	30
3.3 Data Penelitian .....	30
3.3.1 Data Struktur Bangunan.....	30
3.3.2 Spesifikasi Material.....	31
3.3.3 Desain Bangunan .....	32
3.3.4 Perhitungan Pembebanan.....	34
3.3.4 Data Gempa.....	35
3.4 Langkah-langkah Pemodelan STERA 3D .....	42
<b>BAB IV.....</b>	<b>48</b>
<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>48</b>
4.1 Hasil Analisa Kekakuan.....	48
4.2 Hasil Perpindahan .....	50
4.3 Hasil Analisa Kurva Kapasitas .....	54
4.4 <i>Performance Point</i> .....	54
4.5 Hasil Analisa Kurva Kerapuhan Seismik.....	58



<b>BAB V.....</b>	<b>61</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran.....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>65</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu dan sekarang.....	16
Tabel 2. 2 Penelitian terdahulu dan sekarang (lanjutan).....	17
Tabel 2. 3 Penelitian terdahulu dan sekarang (lanjutan).....	18
Tabel 2. 4 Batas Kerusakan Struktur.....	25
Tabel 3. 1 Data model struktur.....	30
Tabel 3. 2 Data dimensi struktur.....	31
Tabel 3. 3 Data dimensi serta jumlah kebutuhan tulangan pada balok.....	31
Tabel 3. 4 Data dimensi serta jumlah kebutuhan tulangan pada plat lantai.....	31
Tabel 4. 1 Hasil analisis kekakuan struktur masjid.....	50
Tabel 4. 2 Perpindahan maksimum pada bangunan masjid bentuk H.....	53
Tabel 4. 3 <i>Performance point</i> .....	58
Tabel 4. 4 Nilai $S_{d,ds}$ dan $\beta_{ds}$ untuk masing-masing <i>damage state</i> .....	59
Tabel 4. 5 Hasil analisis nilai probabilitas masing-masing daerah gempa arah X.....	65
Tabel 4. 6 Hasil analisis nilai probabilitas masing-masing daerah gempa arah Y.....	65

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perpindahan lantai akibat gempa pada struktur 15 lantai (Arvindreddy dan Fernandes, 2015).....	9
Gambar 2. 2 Perpindahan lantai menggunakan metode respon spektrum pada struktur 15 lantai (Arvindreddy dan Fernandes 2015).....	10
Gambar 2. 3 Perbandingan perpindahan dan gaya dasar terhadap Gedung 15 lantai menggunakan analisis <i>pushover</i> (Arvindreddy dan Fernandes, 2015) .....	10
Gambar 2. 4 Perbandingan periode waktu dan gaya dasar terhadap bangunan 15 lantai dengan analisis time history (Arvindreddy dan Fernandes, 2015).....	10
Gambar 2. 5 Kurva Kerapuhan arah X (Rifki, dkk, 2019).....	12
Gambar 2. 6 Kurva Kerapuhan arah Y (Rifki, dkk, 2019).....	12
Gambar 2. 7 Kurva kerapuhan struktur tipe Pombalino untuk beban seragam arah X dan Y (Simeos, dkk., 2015).....	14
Gambar 2. 8 Kurva kerapuhan struktur tipe Pombalino untuk beban <i>psuode-triangular</i> arah X dan Y (Simeos, dkk., 2015).....	14
Gambar 2. 9 Kurva kerapuhan struktur tipe Gaioleiro untuk beban seragam arah X dan Y (Simeos, dkk., 2015) .....	14
Gambar 2. 10 Kurva kerapuhan struktur tipe Gaioleiro untur beban <i>pseudo-triangular</i> arah X dan Y (Simeos, dkk., 2015).....	15
Gambar 2. 11 Kurva kerapuhan struktur tipe Placa untuk beban seragam arah X dan Y (Simeos, dkk., 2015) .....	15
Gambar 2. 12 Kurva kerapuhan struktur tipe Placa untuk beban <i>pseudo-triangular</i> arah X dan Y (Simeos, dkk., 2015).....	15
Gambar 2. 13 Kurva kerentanan metode HAZUS (Hazuz Earthquake Model Technical Manual, 2020) .....	23
Gambar 2. 14 Kurva spektrum kapasitas dan <i>demand spectrum</i> (HAZUS MR5).....	25
Gambar 3. 1 Alur penelitian.....	28
Gambar 3. 2 Alur penelitian (Lanjutan).....	29

Gambar 3. 3 Model 3D bangunan masjid .....	32
Gambar 3. 4 Model 3D bangunan masjid lantai dasar .....	32
Gambar 3. 5 Model 3D bangunan masjid lantai 1 .....	33
Gambar 3. 6 Denah bangunan masjid lantai dasar .....	33
Gambar 3. 7 Denah bangunan masjid lantai 1 .....	34
Gambar 3. 8 <i>Time history</i> modifikasi Gorontalo arah X.....	36
Gambar 3. 9 <i>Time history</i> modifikasi Gorontalo arah Y.....	36
Gambar 3. 10 <i>Time history</i> modifikasi Gorontalo arah Z.....	36
Gambar 3. 11 <i>Time history</i> modifikasi Kalianda arah X .....	37
Gambar 3. 12 <i>Time history</i> modifikasi Kalianda arah Y .....	37
Gambar 3. 13 <i>Time history</i> modifikasi Kalianda arah Z.....	38
Gambar 3. 14 <i>Time history</i> modifikasi Mataram arah X .....	38
Gambar 3. 15 <i>Time history</i> modifikasi Mataram arah Y .....	39
Gambar 3. 16 <i>Time history</i> modifikasi Mataram arah Z.....	39
Gambar 3. 17 <i>Time history</i> modifikasi Kendari arah X.....	40
Gambar 3. 18 <i>Time history</i> modifikasi Kendari arah Y .....	40
Gambar 3. 19 <i>Time history</i> modifikasi Kendari arah Z .....	41
Gambar 3. 20 <i>Time history</i> modifikasi Sabang arah X.....	41
Gambar 3. 21 <i>Time history</i> modifikasi Sabang arah Y .....	42
Gambar 3. 22 <i>Time history</i> modifikasi Sabang arah Z .....	42
Gambar 3. 23 Alur prosedur penggunaan aplikasi STERA 3D .....	43
Gambar 3. 24 Langkah membuka software STERA 3D.....	43
Gambar 3. 25 Tampilan awal pada STERA 3D.....	44
Gambar 3. 26 Menu “Member(M)” pada STERA 3D .....	44
Gambar 3. 27 Tampilan menu “Floor/Span(S)” .....	45
Gambar 3. 28 Tampilan menu “Column(C)” .....	45
Gambar 3. 29 Tampilan menu “Beam(B)” .....	46
Gambar 3. 30 Pemodelan dengan tampilan secara aktual.....	46
Gambar 3. 31 Tampilan hasil analisis telah berhasil pada STERA 3D .....	47
Gambar 3. 32 Tampilan menu untuk <i>input data Time History</i> pada STERA 3D.....	47

Gambar 4. 1 Kekakuan arah X dan Y dengan gempa rencana kota Sabang.....	48
Gambar 4. 2 Kekakuan arah X dan Y dengan gempa rencana kota Kalianda .....	49
Gambar 4. 3 Kekakuan arah X dan Y dengan gempa rencana kota Mataram .....	49
Gambar 4. 4 Kekakuan arah X dan Y dengan gempa rencana kota Mataram .....	49
Gambar 4. 5 Kekakuan arah X dan Y dengan gempa rencana kota Kendari.....	50
Gambar 4. 6 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana kota Sabang .....	51
Gambar 4. 7 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana kota Kalianda .....	51
Gambar 4. 8 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana kota Mataram .....	52
Gambar 4. 9 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana kota Gorontalo .....	52
Gambar 4. 10 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana kota Kendari.....	53
Gambar 4. 11 Kurva kapasitas arah X dan Y .....	54
Gambar 4. 12 <i>Performance point</i> arah X pada gempa kota Sabang .....	55
Gambar 4. 13 <i>Performance point</i> arah Y pada gempa kota Sabang .....	55
Gambar 4. 14 <i>Performance point</i> arah X pada gempa kota Kalianda .....	55
Gambar 4. 15 <i>Performance point</i> arah Y pada gempa kota Kalianda .....	56
Gambar 4. 16 <i>Performance point</i> arah X pada gempa kota Mataram .....	56
Gambar 4. 17 <i>Performance point</i> arah Y pada gempa kota Mataram .....	56
Gambar 4. 18 <i>Performance point</i> arah X pada gempa kota Gorontalo.....	57
Gambar 4. 19 <i>Performance point</i> arah Y pada gempa kota Gorontalo.....	57
Gambar 4. 20 <i>Performance point</i> arah X pada gempa kota Kendari .....	57
Gambar 4. 21 <i>Performance point</i> arah Y pada gempa kota Kendari .....	58
Gambar 4. 22 Kurva kerapuhan arah X untuk gempa rencana kota Sabang.....	60
Gambar 4. 23 Kurva kerapuhan arah Y untuk gempa rencana kota Sabang.....	60
Gambar 4. 24 Kurva kerapuhan arah X untuk gempa rencana kota Kalianda.....	61
Gambar 4. 25 Kurva kerapuhan arah Y untuk gempa rencana kota Kalianda.....	61

Gambar 4. 26 Kurva kerapuhan arah X untuk gempap rencana kota Mataram .....	62
Gambar 4. 27 Kurva kerapuhan arah Y untuk gempap rencana kota Mataram .....	62
Gambar 4. 28 Kurva kerapuhan arah X untuk gempap rencana kota Gorontalo .....	63
Gambar 4. 29 Kurva kerapuhan arah Y untuk gempap rencana kota Gorontalo .....	63
Gambar 4. 30 Kurva kerapuhan arah X untuk gempap rencana kota Kendari .....	64
Gambar 4. 31 Kurva kerapuhan arah Y untuk gempap rencana kota Kendari .....	64

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Hasil analisis kekakuan .....	65
Lampiran 1. 2 Hasil analisis kurva kerapuhan .....	65
Lampiran 1. 3 Hasil <i>Pushover</i> .....	68
Lampiran 1. 4 Hasil analisa probabilitas tingkat kerusakan struktur .....	68

## DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

$K_e$	= Kekakuan Elastis (kN/mm)
$P_{peak}$	= beban saat $0,4 P_{peak}$
$\Delta P_{peak}$	= Simpangan sat beban $0,4 P_{peak}$
$C_s$	= Koefisien respon seismik
$P_{yield}$	= Beban pada kondisi leleh (kN)
$A_0$	= Percepatan muka tahan (g)
$I$	= Faktor keutamaan
$R$	= Faktor reduksi gempa representative
$V_1$	= Gaya geser dasar nominal
$V_t$	= Gaya geser maksimum
$T_e$	= Waktu getar alami efektif
$C_0$	= Koefisien faktor bentuk
$T_s$	= Waktu getar karakteristik
$S_a$	= <i>Spectral Acceleration</i> (g)
$S_d$	= <i>Spectral Displacement</i> (cm)
$V_y$	= Gaya geser dasar pada saat leleh
$C_3$	= Koefisien pembesaran lateral akibat adanya efek P-delta
$\alpha$	= Rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastik efektif
$G$	= Percepatan gravitasi = $9,81 \text{ m/det}^2$ .
$C_m$	= Faktor massa efektif
$V$	= Geser Dasar
$W$	= Berat
$\Delta_{roof}$	= Perpindahan lantai
$A_y$	= <i>Spectral Acceleration</i> pada titik <i>yielding</i>
$D_y$	= <i>Spectral Displacement</i> pada titik <i>yielding</i>
$A_u$	= <i>Spectral Acceleration</i> pada titik ultimit
$D_u$	= <i>Spectral Displacement</i> pada titik ultimit



## DAFTAR SINGKATAN

STERA	: <i>Structural Earthquake Response Analysis 3D</i>
ATC 40	: <i>Applied Technologi Council 40</i>
SAP2000	: <i>structure Analysis Program 2000</i>
ETABS	: <i>Extended Three Dimensional Analysis of Building System</i>
SNI	: Standar nasional Indonesia
CEUS	: <i>Central and Eastern United States</i>
BSN	: Badan Standarisasi Nasional
FEMA 440	: <i>Federal Emergency Management Agency 440</i>
HAZUS	: <i>Hazards United States</i>

## DAFTAR ISTILAH

1. *Pushover*  
*Pushover* merupakan metode yang digunakan untuk mencari kapasitas kekuatan terhadap beban yang diberikan pada struktur.
2. *Time History*  
*Time history* merupakan metode yang digunakan untuk menentukan Riwayat waktu respon dinamik pada suatu struktur.
3. *Performance Point*  
*Performance point* merupakan titik kinerja atau kekuatan struktur saat menopang beban gempa yang diberikan.
4. *Capacity Curve*  
*Capacity curve* merupakan kurva yang terbentuk dari perbandingan antara beban lateral static yang diberikan kepada struktur dan perpindahan yang terjadi pada struktur.
5. *Yielding*  
*Yielding* merupakan keadaan struktur mulai terjadi deformasi akibat beban yang diberikan.
6. Kurva Kerapuhan  
Kurva kerapuhan merupakan kurva yang didapatkan dari kekuatan struktur yang dapat dijadikan acuan yang digunakan untuk menganalisis probabilitas kegagalan struktur akibat gempa.