

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KURVA KERAPUHAN PADA BANGUNAN MASJID DARI
STRUKTUR BETON BERTULANG MENGGUNAKAN APLIKASI
STERA 3D**

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



Darda Bari Farizqi

20170110126

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

2021

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini.

Nama : Darda Bari Farizqi

NIM : 20170110126

Judul : Analisis Kurva Kerapuhan pada Bangunan Masjid dari Struktur Beton Bertulang Menggunakan Aplikasi STERA 3D

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, 12 Februari 2021

Yang membuat pernyataan

A 10,000 Rupiah postage stamp is shown, featuring the Garuda Pancasila emblem and the text 'SEPULUH RIBU RUPIAH' and 'METERAI TEMPEL'. The stamp number '844D5AJX288727663' is visible. A handwritten signature in black ink is written over the stamp.

Darda Bari Farizqi

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini penulis persembahkan kepada:

Allah Subhanahu Wa Ta'ala

Tuhan yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang yang telah memberikan nikmat kesehatan, kesempatan serta kesabaran untuk menyelesaikan tugas akhir ini

Nabi Muhammad SAW

Nabi penutup para Nabi yang telah menyempurnakan agama Islam dan menuntun pada jalan yang diridhai Allah SWT

Kedua Orang Tua

Ayahanda Anjar Sri Suprasetyo dan Ibunda Mawarti yang selalu sabar dengan segala tingkah laku penulis yang mungkin menyakiti kedua hati beliau, tetapi tidak pernah lelah dalam mendoakan penulis untuk menjadi orang lebih baik serta bermanfaat bagi orang lain. Terima kasih atas segala usaha, dukungan, doa, kasih sayang, dan pelajaran hidup yang telah diberikan selama ini

Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Ibu Ir. Fadillawaty S, M.T., dan Bapak Hakas Prayuda, S.T., M.Eng., yang selalu memberikan nasihat dan ilmu kepada mahasiswanya, terima kasih atas bimbingannya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan

Teman-teman, Saudara, dan Terkasih

Terimakasih kepada teman dekat, Naufal dan Dila, serta Viana yang telah berbagi cerita, canda, tawa, suka maupun duka. Selalu memberikan dukungan dan doa. Sukses selalu buat semua.

PRAKATA

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT. Tuhan yang maha kuasa atas segala sesuatu di langit dan bumi. Sholawat dan salam selalu dicurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabat beliau.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Tugas akhir ini merupakan penelitian tentang Analisis Kurva Kerapuhan pada Bangunan Masjid dari Struktur Beton Bertulang Menggunakan Aplikasi STERA 3D, analisis menggunakan *time history* gempa rencana Kota Sabang, Kota Kalianda, Kota Mataram, Kota Kendari, dan Kota Gorontalo, analisis menggunakan *software* STERA 3D.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini penyusun mendapat bimbingan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga dapat diselesaikan dengan baik, untuk 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. Bapak Ir. As'at Pujianto. M.T., IPM, selaku Dosen Penguji yang telah memberikan perbaikan dan masukan pada naskah Tugas Akhir.
- d. Bapak Hakas Prayuda, S.T., M.Eng., yang telah membimbing dalam penyusunan tugas akhir ini.
- e. Desti Lailatul M., Faiik Ilmi, dan Mundzirul Haq, yang telah membantu dan memberikan semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- f. Teman-teman mahasiswa Teknik Sipil kelas C angkatan 2017 yang telah memberikan semangat selama masa perkuliahan.
- g. Orang tua, saudara, dan Vian 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, 12 Februari 2021

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and strokes, positioned above the name.

Darda Bari Farizqi

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERYATAAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG.....	xv
DAFTAR SINGKATAN.....	xvi
DAFTAR ISTILAH	xvii
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.1.1 Penelitian Terdahulu Tentang Kekakuan Struktur	5
2.1.2 Penelitian Terdahulu Tentang Perpindahan	8
2.1.3 Penelitian Terdahulu Tentang Kerapuhan Seismik	12
2.1.4 Penelitian terdahulu dan sekarang	18
2.2 Landasan Teori	20
2.2.1 Sistem Struktur Bangunan	20
2.2.2 Kekakuan.....	22

2.2.3	Time History	23
2.2.4	Analisis Statik Nonlinear (<i>Pushover</i>)	23
2.2.5	Metodologi HAZUS.....	24
2.2.6	Kurva Kerapuhan Seismik.....	25
2.2.7	Software STERA 3D	28
BAB III.....		29
METODE PENELITIAN		29
3.1	Materi Penelitian	29
3.2	Peralatan Penelitian	31
3.3	Data Penelitian	31
3.4	Data Struktur Bangunan	32
3.5	Spesifikasi Material	32
3.6	Desain Bangunan.....	33
3.7	Perhitungan Pembebanan	34
3.8	Data Gempa.....	34
3.9	Langkah-langkah pemodelan <i>STERA 3D</i>	40
BAB IV		44
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		44
4.1	Hasil Analisa Kekakuan	44
4.2	Hasil Analisa Perpindahan	45
4.3	Hasil Analisa Kurva Kapasitas.....	48
4.4	Performance Point	49
4.5	Hasil Analisa Kurva Kerapuhan Seismik.....	53
BAB V.....		61
KESIMPULAN DAN SARAN		61
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA.....		xix
LAMPIRAN.....		xxi

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang.....	18
Tabel 2.2 Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang (Lanjutan)	19
Tabel 2.3 Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang (Lanjutan)	20
Tabel 3.1 Data model struktur.....	32
Tabel 3.2 Data dimensi serta kebutuhan tulangan pada kolom.....	32
Tabel 3.3 Data dimensi serta jumlah kebutuhan tulangan pada balok.....	32
Tabel 3.4 Data dimensi serta jumlah kebutuhan tulangan pada plat lantai.....	33
Tabel 3.5 Berat struktur.....	34
Tabel 4. 1 Nilai $S_{d,ds}$ dan β_{ds} untuk masing-masing <i>damage state</i>	54
Tabel 4. 2 Hasil analisis nilai probabilitas masing-masing daerah gempa arah X	60
Tabel 4. 3 Hasil analisis nilai probabilitas masing-masing daerah gempa arah Y	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pemodelan struktur tanpa dinding pengisi (Efrida, 2018).....	6
Gambar 2.2	Hubungan <i>base shear</i> dan <i>top storey displacement</i> pada struktur 3 lantai (Louzai dkk., 2014).....	6
Gambar 2.3	Hubungan <i>base shear</i> dan <i>top storey displacement</i> pada struktur 6 lantai (Louzai dkk., 2014).....	7
Gambar 2.4	Hubungan <i>base shear</i> dan <i>top storey displacement</i> pada struktur 9 lantai (Louzai dkk., 2014).....	7
Gambar 2.5	Perpindahan akibat beban gempa pada struktur 15 lantai (Arvindreddy dan Fernandes, 2015).....	10
Gambar 2.6	Perpindahan pada struktur 15 lantai dengan metode respon spektrum (Arvindreddy dan Fernandes, 2015).....	10
Gambar 2.7	Hubungan perpindahan dan gaya geser dasar dengan metode <i>pushover analysis</i> (Arvindreddy dan Fernandes, 2015).....	10
Gambar 2.8	Hubungan waktu dan gaya geser dasar (Arvindreddy dan Fernandes, 2015).....	11
Gambar 2.9	Hasil simpangan antar lantai menggunakan metode drift spektra dan metode time history pada getaran gempa kocaeli.....	12
Gambar 2.10	Kurva kerapuhan arah X (Rifki dkk., 2019).....	13
Gambar 2.11	Kurva kerapuhan arah Y (Rifki dkk., 2019).....	13
Gambar 2.12	Kurva kerapuhan model bangunan 1 (Vazukar dkk., 2016).....	14
Gambar 2.13	Kurva kerapuhan model bangunan 2 (Vazukar dkk., 2016).....	14
Gambar 2.14	Kurva kerapuhan model bangunan 3 (Vazukar dkk., 2016).....	15
Gambar 2.15	Kurva kerapuhan tipe Pombalino untuk beban seragam arah X dan arah Y (Simeos dkk., 2015).....	16
Gambar 2.16	Kurva kerapuhan tipe Pombalino untuk beban <i>pseudo-triangular</i> arah X dan arah Y (Simeos dkk., 2015).....	16
Gambar 2.17	Kurva kerapuhan tipe Gaioleiro untuk beban seragam arah X dan arah Y (Simeos dkk., 2015).....	17
Gambar 2.18	Kurva kerapuhan tipe Gaioleiro untuk beban <i>pseudo-triangular</i> arah X dan arah Y (Simeos dkk., 2015).....	17
Gambar 2.19	Kurva kerapuhan tipe Placa untuk beban seragam arah X dan arah Y (Simeos dkk., 2015).....	17
Gambar 2.20	Kurva kerapuhan tipe Placa untuk beban <i>pseudo-triangular</i> arah X dan arah Y (Simeos dkk., 2015).....	18
Gambar 2.21	Kurva kapasitas (<i>Applied Technology Council</i> , 1996).....	24
Gambar 2.22	Kurva kerentanan metode HAZUS (<i>Hazus Earthquake Model Technical Manual</i> , 2020).....	24
Gambar 2.23	Kurva spektrum kapasitas dan <i>demand spectrum</i> (<i>Hazus Earthquake Model Technical Manual</i> , 2020).....	26
Gambar 3. 1	<i>Flowchart</i> penelitian.....	30
Gambar 3. 2.	Alur penelitian (Lanjutan).....	31

Gambar 3.3 Model 3D bangunan masjid	33
Gambar 3.4 Model 3D denah lantai dasar.....	33
Gambar 3.5 Model 3D denah lantai 1	34
Gambar 3.6 <i>Time history</i> modifikasi Gorontalo arah X.....	35
Gambar 3.7 <i>Time history</i> modifikasi Gorontalo arah Y.....	35
Gambar 3.8 <i>Time history</i> modifikasi Gorontalo arah Z	36
Gambar 3.9 <i>Time history</i> modifikasi Kalianda arah X	36
Gambar 3.10 <i>Time history</i> modifikasi Kalianda arah Y	36
Gambar 3.11 <i>Time history</i> modifikasi Kalianda arah Z.....	37
Gambar 3.12 <i>Time history</i> modifikasi Mataram arah X	37
Gambar 3.13 <i>Time history</i> modifikasi Mataram arah Y	37
Gambar 3.14 <i>Time history</i> modifikasi Mataram arah Z.....	38
Gambar 3.15 <i>Time history</i> modifikasi Kendari arah X.....	38
Gambar 3.16 <i>Time history</i> modifikasi Kendari arah Y	38
Gambar 3.17 <i>Time history</i> modifikasi Kendari arah Z	39
Gambar 3.18 <i>Time history</i> modifikasi Sabang arah X.....	39
Gambar 3.19 <i>Time history</i> modifikasi Sabang arah Y	39
Gambar 3.20 <i>Time history</i> modifikasi Sabang arah Z	40
Gambar 3.21 Alur analisis STERA 3D.....	40
Gambar 3.22 Tampilan awal STERA 3D	41
Gambar 3.23 Menu “Member(M)” pada STERA 3D.....	41
Gambar 3.24 Tampilan pemodelan secara aktual	42
Gambar 3.25 Tampilan analisis selesai.....	42
Gambar 3.26 Tampilan <i>response setting</i>	43
Gambar 4.1 Nilai kekakuan arah X dan arah Y setiap lantai pada Gempa Sabang	44
Gambar 4.2 Nilai kekakuan arah X dan arah Y setiap lantai pada Gempa Kalianda	44
Gambar 4.3 Nilai kekakuan arah X dan arah Y setiap lantai pada Gempa Mataram	45
Gambar 4.4 Nilai kekakuan arah X dan arah Y setiap lantai pada Gempa Gorontalo	45
Gambar 4.5 Nilai kekakuan arah X dan arah Y setiap lantai pada Gempa Kendari	45
Gambar 4.6 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana Kota Sabang.....	46
Gambar 4.7 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana Kota Kalianda	46
Gambar 4.8 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana Kota Mataram	47
Gambar 4.9 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana Kota Gorontalo	47

Gambar 4.10 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana Kota Kendari	48
Gambar 4.11 Hubungan <i>spectral displacement</i> dan <i>spectral acceleration</i> pada bangunan masjid arah X dan Y	48
Gambar 4.12 <i>Performance point</i> pada gempa dari wilayah Kota Sabang arah X	49
Gambar 4.13 <i>Performance point</i> pada gempa dari wilayah Kota Sabang arah Y	49
Gambar 4.14 <i>Performance point</i> pada gempa dari wilayah Kalianda arah X	50
Gambar 4.15 <i>Performance point</i> pada gempa dari wilayah Kalianda arah Y	50
Gambar 4.16 <i>Performance point</i> pada gempa dari wilayah Mataram arah X	51
Gambar 4.17 <i>Performance point</i> pada gempa dari wilayah Mataram arah Y	51
Gambar 4.18 <i>Performance point</i> pada gempa dari wilayah Gorontalo arah X.....	52
Gambar 4.19 <i>Performance point</i> pada gempa dari wilayah Gorontalo arah Y.....	52
Gambar 4.20 <i>Performance point</i> pada gempa dari wilayah Kendari arah X.....	53
Gambar 4.21 <i>Performance point</i> pada gempa dari wilayah Kendari arah Y	53
Gambar 4.22 Nilai probabilitas masing-masing tingkat kerusakan arah X untuk gempa rencana daerah kota Sabang	55
Gambar 4.23 Nilai probabilitas masing-masing tingkat kerusakan arah Y untuk gempa rencana daerah kota Sabang	55
Gambar 4.24 Nilai probabilitas masing-masing tingkat kerusakan arah X untuk gempa rencana daerah kota Kalianda.....	56
Gambar 4.25 Nilai probabilitas masing-masing tingkat kerusakan arah Y untuk gempa rencana daerah kota Kalianda.....	56
Gambar 4.26 Nilai probabilitas masing-masing tingkat kerusakan arah X untuk gempa rencana daerah kota Mataram.....	57
Gambar 4.27 Nilai probabilitas masing-masing tingkat kerusakan arah Y untuk gempa rencana daerah kota Mataram.....	57
Gambar 4.28 Nilai probabilitas masing-masing tingkat kerusakan arah X untuk gempa rencana daerah kota Gorontalo	58
Gambar 4.29 Nilai probabilitas masing-masing tingkat kerusakan arah X untuk gempa rencana daerah kota Kendari	59
Gambar 4.30 Nilai probabilitas masing-masing tingkat kerusakan arah X untuk gempa rencana daerah kota Kendari	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Denah Bangunan Masjid	xxi
Lampiran 1.2 Hasil analisis <i>performance point</i>	xxiii
Lampiran 1.3 Hasil analisis perpindahan lateral	xxiii
Lampiran 1.4 Hasil analisis kurva kerapuhan	xxiv

DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

K_e	= Kekakuan Elastis (kN/mm)
P_{peak}	= beban saat 0,4 P_{peak}
ΔP_{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_l	= 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
α	= Rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastik efektif
G	= Percepatan gravitasi = 9,81 m/det ² .
C_m	= Faktor massa efektif
V	= Geser Dasar
W	= Berat
Δ_{roof}	= Perpindahan lantai
A_y	= <i>Spectral Acceleration</i> pada titik <i>yielding</i>
D_y	= Spectral Displacement pada titik <i>yielding</i>
A_u	= <i>Spectral Acceleration</i> pada titik ultimit
D_u	= Spectral Displacement pada titik ultimit

DAFTAR SINGKATAN

STERA	: <i>Structural Earthquake Response Analysis 3D</i>
ATC 40	: <i>Applied Technology 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) Beton
Beton tersusun atas campuran dari agregat kasar, agregat halus, semen dan air.
- 2) Kolom
Struktur bangunan bentuk vertikal yang menahan beban dari balok.
- 3) Balok
Struktur bangunan horizontal atau melintang yang berfungsi untuk mendistribusikan gaya ke kolom.
- 4) *Time History*
Data gempa yang pernah terjadi pada suatu wilayah.
- 5) Kekakuan
Sudut kemiringan pada struktur bangunan.
- 6) Perpindahan
Suatu simpangan yang pengukurannya berdasarkan pada lantai paling bawah.
- 7) *Capacity Curve*
Beban lateral statik yang bekerja pada struktur bangunan dan ditingkatkan secara perlahan menuju batasan terpilih
- 8) *Performance Point*
Performance point merupakan titik kinerja atau kekuatan struktur saat menopang beban gempa yang diberikan.
- 9) *Capacity Curve*
Capacity curve atau kurva kapasitas merupakan kurva yang terbentuk dari perbandingan antara beban lateral static yang diberikan kepada struktur dan perpindahan yang terjadi pada struktur.
- 10) *Yielding point*
Yielding point atau titik leleh merupakan keadaan struktur mulai terjadi deformasi akibat beban yang diberikan.
- 11) Kurva Kerapuhan
Kurva kerapuhan merupakan kurva yang didapatkan dari kekuatan struktur yang dapat dijadikan acuan yang digunakan untuk menganalisis probabilitas kegagalan struktur akibat gempa.