

TUGAS AKHIR

ANALISIS KURVA KERAPUHAN PADA BANGUNAN MASJID TERHADAP BEBAN SEISMIK MENGGUNAKAN *SOFTWARE* STERA 3D

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



Muhammad Mundzirul Haq

20170110113

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

2021

HALAMAN PERYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Mundzirul Haq
NIM : 20170110113
Judul : Analisis Kurva Kerapuhan pada Bangunan Masjid
Terhadap Beban Seismik Menggunakan *Software*
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, 05 Agustus 2021

Yang membuat pernyataan



Muhammad Mundzirul Haq

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah robbila'alamin segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan kekuatan berupa tenaga dan pikiran untuk segala usaha dalam menyelesaikan Tugas Akhir yang telah dikerjakan oleh saya dan rekan saya (Darda, Desti dan Faiik) hingga selesai.

Terimakasih kepada Fanny Monika, S.T., M.Eng dan Hakas Prayuda, S.T., M.Eng yang telah memberikan bimbingan menulis dan dengan sabar membantu hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Terimakasih kepada Ibu (Rosmala Widijastuti) yang telah menjadi sosok yang sangat berjasa untuk penulis dan senantiasa memberikan dukungan yang tak pernah putus dan kepada Bapak (Saherdi) yang telah menjadi sosok yang senantiasa menyemangati dan memberi mobilisasi kepada penulis agar menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Terimakasih kepada kawan sepermainan Desti, Faiik, Ivan, Aldo, Darda, Ry dan teman teman lainnya yang telah menemani penulis hingga akhir pendidikan sarjana ini.

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 Analisis Struktur Bangunan Masjid Terhadap Kurva Kerapuhan Seismik dengan Layout Horizontal Berbentuk Persegi Panjang Menggunakan *Software Stera 3D*.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini penyusun mendapat bimbingan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga dapat terselesaikan 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. Ibu Fanny Monika, S.T., M. Eng., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
- d. Bapak Hakas Prayuda, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
- e. Desti Lailatul Mufida Pattiiha, Darda Bari Farizky, Faiik Ilmi yang telah membantu dan memberikan semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- f. Rekan sepermainan yang telah menemani dan memberikan kebersamaan selama menempuh pendidikan.
- g. Elsan Patima Putri yang telah sabar menemani dalam penulisan laporan dari awal hingga selesai.
- 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 meyakini 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

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, cursive letters that are difficult to decipher but appear to start with 'J' and 'S'.

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|--------------|
| TUGAS AKHIR | i |
| LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iv |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | v |
| PRAKATA | vi |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR GAMBAR..... | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG..... | xvii |
| DAFTAR SINGKATAN..... | xviii |
| DAFTAR ISTILAH | xix |
| ABSTRAK | xx |
| ABSTRACT | xxi |
| 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..... | 4 |
| BAB II | 5 |
| TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | 5 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka | 5 |
| 2.1.1 Penelitian Tentang Kekakuan Bangunan Bertingkat | 5 |
| 2.1.2 Penelitian Tentang Pengaruh Gempa Terhadap Perpindahan | 11 |
| 2.1.3 Penelitian terdahulu Tentang Kerapuhan Seismik | 13 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.1.4 | Penelitian terdahulu dan sekarang..... | 19 |
| 2.2 | Landasan Teori..... | 23 |
| 2.2.1 | Sistem Struktur Bangunan | 23 |
| 2.2.2 | Kekakuan Struktur | 25 |
| 2.2.3 | <i>Time history</i> | 26 |
| 2.2.4 | Analisis <i>Pushover</i> | 26 |
| 2.2.5 | Metodologi HAZUS..... | 27 |
| 2.2.6 | Kurva Kerapuhan Seismik | 28 |
| 2.2.7 | <i>Software STERA 3D</i> | 31 |
| BAB III | | 33 |
| METODE PENELITIAN | | 33 |
| 3.1 | Materi Penelitian | 33 |
| 3.2 | Peralatan Penelitian | 34 |
| 3.3 | Data Penelitian | 35 |
| 3.3.1 | Data Struktur Bangunan..... | 35 |
| 3.3.2 | Spesifikasi Material..... | 35 |
| 3.3.3 | Desain Bangunan | 36 |
| 3.3.4 | Data Gempa..... | 40 |
| 3.4 | Langkah-Langkah Permodelan <i>STERA 3D</i> | 47 |
| BAB IV | | 53 |
| HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN | | 53 |
| 4.1 | Hasil Analisis Kekakuan | 53 |
| 4.2 | Hasil Analisis Perpindahan..... | 56 |
| 4.3 | Hasil Analisis Kurva Kapasitas | 60 |
| 4.4 | Titik Performa | 61 |
| 4.5 | Hasil Analisis Kurva Kerapuhan Seismik | 66 |
| BAB V | | 77 |
| KESIMPULAN DAN SARAN | | 77 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 77 |
| 5.2 | Saran..... | 77 |

| | |
|-----------------------------|-------------|
| DAFTAR PUSTAKA | xxii |
| LAMPIRAN..... | 78 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu dan sekarang..... | 19 |
| Tabel 2. 2 Penelitian terdahulu dan sekarang (Lanjutan)..... | 20 |
| Tabel 2. 3 Penelitian terdahulu dan sekarang (Lanjutan)..... | 21 |
| Tabel 2. 4 Penelitian terdahulu dan sekarang (Lanjutan)..... | 22 |
| Tabel 3. 1 Data model struktur..... | 35 |
| Tabel 3. 2 Data dimensi struktur | 36 |
| Tabel 3. 3 Dimensi dan kebutuhan tulangan plat | 36 |
| Tabel 4. 1 Dimensi dan kebutuhan tulangan plat | 57 |
| Tabel 4. 2 Nilai $S_{d,ds}$ dan β_{ds} untuk masing-masing damage state | 67 |
| Tabel 4. 3 Nilai probabilitas kerusakan struktur bangunan masjid tingkat slight..... | 68 |
| Tabel 4. 4 Nilai probabilitas kerusakan struktur bangunan masjid tingkat moderate. | 68 |
| Tabel 4. 5 Nilai probabilitas kerusakan struktur bangunan masjid tingkat moderate (lanjutan) | 69 |
| Tabel 4. 6 Nilai probabilitas kerusakan struktur bangunan masjid tingkat extensive. | 69 |
| Tabel 4. 7 Nilai probabilitas kerusakan struktur bangunan masjid tingkat extensive (lanjutan) | 70 |
| Tabel 4. 8 Nilai probabilitas kerusakan struktur bangunan masjid tingkat complete. | 70 |
| Tabel 4. 9 Hasil analisis nilai probabilitas masing-masing daerah gempa arah X..... | 76 |
| Tabel 4. 10 Hasil analisis nilai probabilitas masing-masing daerah gempa arah Y.... | 76 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Kurva hubungan perpindahan atap dan gaya geser dasar dari struktur 3 lantai (Louzai, dkk, 2014)..... | 7 |
| Gambar 2. 2 Kurva hubungan perpindahan atap dan gaya geser dasar dari struktur 6 lantai (Louzai, dkk, 2014)..... | 7 |
| Gambar 2. 3 Kurva hubungan perpindahan atap dan gaya geser dasar dari struktur 9 lantai (Louzai, dkk, 2014)..... | 8 |
| Gambar 2. 4 Perbandingan kurva kapasitas arah X (Fachriza dan Jamal, 2018)..... | 9 |
| Gambar 2. 5 Perbandingan kurva kapasitas arah Y (Fachriza dan Jamal, 2018)..... | 9 |
| Gambar 2. 6 Pemodelan struktur tanpa dinding pengisi pada lantai dasar (Efrida, 2018)..... | 10 |
| Gambar 2. 7 Kurva hubungan perpindahan lantai terhadap nomor lantai menggunakan metode spektrum respons (Arvindreddy dan Fernandes 2015)..... | 13 |
| Gambar 2. 8 Kurva hubungan perpindahan lantai terhadap nomor lantai menggunakan metode spektrum respons (Arvindreddy dan Fernandes 2015)..... | 13 |
| Gambar 2. 9 Kurva kerapuhan model bangunan 1 (Vazukar, dkk, 2016) | 14 |
| Gambar 2. 10 Kurva kerapuhan model bangunan 2 (Vazukar, dkk, 2016) | 14 |
| Gambar 2. 11 Kurva kerapuhan model bangunan 3 (Vazukar, dkk, 2016) | 15 |
| Gambar 2. 12 Kurva Kerapuhan arah X dan Y (Rifki, dkk, 2019)..... | 16 |
| Gambar 2. 13 Kurva Kerapuhan arah X dan Y (Rifki, dkk, 2019)..... | 16 |
| Gambar 2. 14 Kurva kerapuhan tipe Pombalino untuk beban seragam arah X dan arah Y (Simeos, dkk., 2015) | 17 |
| Gambar 2. 15 Kurva kerapuhan tipe Pombalino untuk beban pseudo-triangular arah X dan arah Y (Simeos, dkk., 2015)..... | 18 |
| Gambar 2. 16 Kurva kerapuhan tipe Gaioleiro untuk beban seragam arah X dan arah Y (Simeos, dkk., 2015) | 18 |
| Gambar 2. 17 Kurva kerapuhan tipe Gaioleiro untuk beban pseudo-triangular arah X dan arah Y (Simeos, dkk., 2015)..... | 18 |

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 18 Kurva kerapuhan tipe Placa untuk beban seragam arah X dan arah Y (Simeos, dkk., 2015) | 19 |
| Gambar 2. 19 Kurva kerapuhan tipe Placa untuk beban pseudo-triangular arah X dan arah Y (Simeos, dkk., 2015)..... | 19 |
| Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian | 33 |
| Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian (Lanjutan)..... | 34 |
| Gambar 3. 3 Model 3 dimensi lantai dasar masjid | 37 |
| Gambar 3. 4 Model 3 dimensi lantai satu masjid | 37 |
| Gambar 3. 5 Model 3 dimensi lantai dasar dan lantai satu masjid | 38 |
| Gambar 3. 6 Model 3 dimensi keseluruhan bangunan masjid | 38 |
| Gambar 3. 7 Denah lantai dasar | 39 |
| Gambar 3. 8 Denah lantai 1 | 39 |
| Gambar 3. 9 Time history modifikasi Gorontalo arah X | 41 |
| Gambar 3. 10 Time history modifikasi Gorontalo arah Y | 41 |
| Gambar 3. 11 Time history modifikasi Gorontalo arah Z | 41 |
| Gambar 3. 12 Time history modifikasi Kalianda arah X | 42 |
| Gambar 3. 13 Time history modifikasi Kalianda arah Y | 42 |
| Gambar 3. 14 Time history modifikasi Kalianda arah Z | 43 |
| Gambar 3. 15 Time history modifikasi Kendari arah X | 43 |
| Gambar 3. 16 Time history modifikasi Kendari arah Y | 44 |
| Gambar 3. 17 Time history modifikasi Kendari arah Z | 44 |
| Gambar 3. 18 Time history modifikasi Mataram arah X | 45 |
| Gambar 3. 19 Time history modifikasi Mataram arah Y | 45 |
| Gambar 3. 20 Time history modifikasi Mataram arah Z | 46 |
| Gambar 3. 21 Time history modifikasi Sabang X | 46 |
| Gambar 3. 22 Time history modifikasi Sabang Y | 47 |
| Gambar 3. 23 Time history modifikasi Sabang Z | 47 |
| Gambar 3. 24 Alur prosedur penggunaan aplikasi STERA 3D | 48 |
| Gambar 3. 25 Langkah awal membuka software STERA 3D | 48 |
| Gambar 3. 26 Tampilan awal software STERA 3D | 49 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3. 27 Menu “Member(M)” pada STERA 3D | 49 |
| Gambar 3. 28 Tampilan menu “Floor/Span(S)” | 50 |
| Gambar 3. 29 Tampilan menu “Beam(B)” | 51 |
| Gambar 3. 30 Tampilan menu “Column(C)” | 51 |
| Gambar 3. 31 Tampilan hasil analisis telah berhasil pada STERA 3D | 52 |
| Gambar 3. 32 Tampilan response setting | 52 |
| Gambar 4. 1 Kekakuan arah X dan arah Y tiap lantai dengan pembebanan gempa rencana Kota Sabang | 54 |
| Gambar 4. 2 Kekakuan arah X dan arah Y tiap lantai dengan pembebanan gempa rencana Kota Kalianda..... | 54 |
| Gambar 4. 3 Kekakuan arah X dan arah Y tiap lantai dengan pembebanan gempa rencana Kota Mataram..... | 55 |
| Gambar 4. 4 Kekakuan arah X dan arah Y tiap lantai dengan pembebanan gempa rencana Kota Gorontalo..... | 55 |
| Gambar 4. 5 Kekakuan arah X dan arah Y tiap lantai dengan pembebanan gempa rencana Kota Kendari | 56 |
| Gambar 4. 6 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana Kota Sabang | 58 |
| Gambar 4. 7 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana Kota Kalianda..... | 58 |
| Gambar 4. 8 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana Kota Mataram..... | 59 |
| Gambar 4. 9 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana Kota Gorontalo | 59 |
| Gambar 4. 10 Hubungan perpindahan dan waktu getar pada gempa rencana Kota Kendari | 60 |
| Gambar 4. 11 Kurva kapasitas bangunan masjid arah X | 61 |
| Gambar 4. 12 Kurva kapasitas bangunan masjid arah Y | 61 |
| Gambar 4. 13 Performance point pada gempa dari wilayah Sabang arah X..... | 62 |
| Gambar 4. 14 Performance point pada gempa dari wilayah Sabang arah Y..... | 62 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4. 15 Performance point pada gempa dari wilayah Kalianda arah X..... | 63 |
| Gambar 4. 16 Performance point pada gempa dari wilayah Kalianda arah Y | 63 |
| Gambar 4. 17 Performance point pada gempa dari wilayah Mataram arah X..... | 64 |
| Gambar 4. 18 Performance point pada gempa dari wilayah Mataram arah Y | 64 |
| Gambar 4. 19 Performance point pada gempa dari wilayah Gorontalo arah X | 65 |
| Gambar 4. 20 Performance point pada gempa dari wilayah Gorontalo arah Y | 65 |
| Gambar 4. 21 Performance point pada gempa dari wilayah Kendari arah X | 66 |
| Gambar 4. 22 Performance point pada gempa dari wilayah Kendari arah Y | 66 |
| Gambar 4. 23 Kurva kerapuhan arah X untuk gempa rencana Daerah Kota Sabang . | 71 |
| Gambar 4. 24 Kurva kerapuhan arah Y untuk gempa rencana Daerah Kota Sabang . | 71 |
| Gambar 4. 25 Kurva kerapuhan arah X untuk gempa rencana Daerah Kota Kalianda | 72 |
| Gambar 4. 26 Kurva kerapuhan arah Y untuk gempa rencana Daerah Kota Kalianda | 72 |
| Gambar 4. 27 Kurva kerapuhan arah X untuk gempa rencana Daerah Kota Mataram | 73 |
| Gambar 4. 28 Kurva kerapuhan arah Y untuk gempa rencana Daerah Kota Mataram | 73 |
| Gambar 4. 29 Kurva kerapuhan arah X untuk gempa rencana Daerah Kota Gorontalo | 74 |
| Gambar 4. 30 Kurva kerapuhan arah Y untuk gempa rencana Daerah Kota Gorontalo | 74 |
| Gambar 4. 31 Kurva kerapuhan arah X untuk gempa rencana Daerah Kota Kendari | 75 |
| Gambar 4. 32 Kurva kerapuhan arah Y untuk gempa rencana Daerah Kota Kendari | 75 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|-----------|
| Lampiran 1 Hasil Anaisis Kekakuan | 78 |
| Lampiran 2 Hasil analisis kurva kerapuhan | 78 |
| Lampiran 3 Hasil Analisa Metode <i>Pushover</i> | 81 |

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) |
| S_a | = <i>Spectral Acceleration</i> (g) |
| S_d | = <i>Spectral Displacement</i> (cm) |
| 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 3D | : <i>Structural Earthquake Response Analysis 3D</i> |
| ATC 40 | : <i>Applied Technologi Council 40</i> |
| SAP2000 | : structure Analysis Program 2000 |
| 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 adalah merupakan metode yang digunakan dalam menganalisis kapasitas struktur dengan asumsi struktur mengalami gaya dorong pada lantai tertinggi dengan percepatan hingga mencapai batas ultimit.
2. *Time History*
Time history adalah merupakan metode yang digunakan dalam menentukan Riwayat waktu respon dinamik pada suatu struktur.
3. *Performance Point*
Performance Point adalah merupakan kinerja atau kekuatan struktur saat menopang beban gempa yang diberikan.
4. *Capacity Curve*
Capacity Curve adalah merupakan kurva yang terbentuk dari perbandingan antara beban lateral statik yang diberikan kepada struktur dan perpindahan yang terjadi pada struktur.
5. *Yielding*
Yielding adalah merupakan keadaan struktur mulai terjadi deformasi akibat beban yang diberikan.
6. Kurva Kerapuhan
Kurva kerapuhan adalah merupakan kurva yang didapatkan dari kekuatan struktur yang dapat dijadikan acuan yang digunakan untuk menganalisis probabilitas kegagalan struktur akibat gempa.