

EVALUASI KEKUATAN SAMBUNGAN PADA BANGUNAN UTAMA MASJID AGUNG KRATON SURAKARTA

Rima Wahyu Susilo¹ dan Ali Awaludin² dan Inggar Septhia Irawati³

¹Magister Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No 2, Yogyakarta

Email: rima.wahyu.susilo@ugm.ac.id

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No 2, Yogyakarta

Email: ali@tsipil.ugm.ac.id

³Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No 2, Yogyakarta

Email: inggar_sephtia@ugm.ac.id

ABSTRACT

Masjid Agung Kraton Surakarta is located in the city of Surakarta, Central Java Province and is a National Cultural Heritage building. The mosque was built during the reign of Pakubuwana II in 1745 AD with a total area of 19,180 m². The main building of the mosque measures 34.2 meters x 33.5 meters. The mosque is supported by 4 main pillars (Soko Guru) and 12 additional pillars (Soko Rawa) made of wood. Indonesia is located at the confluence of three major world plates that cause the Pacific earthquake line and the Asian earthquake line. This causes the probability of large earthquake waves, and the frequency of occurrence is quite frequent in Indonesia. According to SNI 1726-2019, houses of worship have a risk category 4, where the building must maintain the function of the building structure during an earthquake. One of the regulations for evaluating a building is SNI 1726-2019. In this study, a tenant mortise joint with a maximum moment of 7.2 kNm and a rotation of 0.124 rad was modelled on the main structure of the Surakarta Grand Kraton Mosque with SAP2000 software. The loading combination is based on SNI 1726 2019 with earthquake loads obtained from the rsa cipta karya site. Based on the structural analysis that has been carried out, the results show that the maximum moment that occurs in the connection is 0.5373 kNm which is located at joint 89 elements 161 and obtained a maximum deformation of 6.442 mm.

Keywords: joint, wood, linear analysis

ABSTRACT

Masjid Agung Kraton Surakarta terletak di kota Surakarta Provinsi Jawa Tengah termasuk dalam jenis bangunan Cagar Budaya Nasional. Masjid ini dibangun pada masa pemerintahan Pakubuwana II pada tahun 1745 M dengan luas keseluruhan 19.180 m². Bangunan utama masjid berukuran 34,2 meter x 33,5 meter. Masjid ini ditopang oleh 4 tiang utama (Soko Guru) dan 12 tiang tambahan (Soko Rawa) yang bermaterial kayu. Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng besar dunia yang menyebabkan terjadinya jalur gempa Pasifik dan jalur gempa Asia. Hal ini menyebabkan probabilitas terjadinya gelombang gempa besar dan frekuensi terjadinya cukup sering di Indonesia. Menurut SNI 1726-2019, rumah ibadah memiliki kategori risiko 4 dimana gedung harus mempertahankan fungsi struktur bangunan saat terjadinya gempa bumi. Salah satu peraturan untuk mengevaluasi suatu bangunan adalah SNI 1726-2019. Pada penelitian ini dimodelkan sambungan *mortise tenont* dengan moment maksimum sebesar 7,2 kNm dan rotasi sebesar 0,124 rad pada struktur utama Masjid Agung Kraton Surakarta dengan software SAP2000. Kombinasi pembebanan dilakukan berdasarkan SNI 1726 2019 dengan beban gempa didapat dari situs rsa cipta karya. Berdasarkan analisis struktur yang telah dilakukan, diperoleh hasil bahwa moment maksimum yang terjadi pada sambungan adalah sebesar 0,5373 kNm dimana terletak pada joint 89 element 161 dan didapatkan deformasi maksimum sebesar 6,442 mm.

Kata kunci : sambungan, kayu, linier analisis

1. PENDAHULUAN

Masjid Agung Kraton Surakarta terletak di kota Surakarta Provinsi Jawa Tengah termasuk dalam jenis bangunan Cagar Budaya Nasional. Masjid ini terletak di sekitar Alun-alun Utara Kraton Surakarta. Masjid ini mulai dibangun pada masa pemerintahan Pakubuwana II pada tahun 1745 M. Pembangunan masjid dilanjutkan pada masa pemerintahan Pakubuwana III yang dimulai pada tahun 1757 M dan selesai dibangun pada tahun 1768 M. Luas keseluruhan kompleks Masjid Agung Kraton Surakarta adalah 19.180 m². Bangunan utama masjid berukuran 34,2 meter x 33,5 meter. Masjid ini ditopang oleh 4 tiang utama (Soko Guru) dan 12 tiang tambahan (Soko Rawa).

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng besar dunia yang menyebabkan terjadinya jalur gempa Pasifik dan jalur gempa Asia. Pergerakan lempengan dapat merambat ke permukaan bumi. Hal ini menyebabkan probabilitas terjadinya gelombang gempa besar dan frekuensi terjadinya cukup sering di Indonesia. Dampak negatif yang sering muncul akibat terjadinya gempa antara lain kerusakan bangunan gedung dan infrastruktur.

Pada SNI 1726-2019, rumah ibadah memiliki kategori risiko 4 dimana gedung harus mempertahankan fungsi struktur bangunan saat terjadinya gempa bumi. Berdasarkan latar belakang diatas, maka penulisan ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan utama Masjid Agung Kraton Surakarta dengan memodelkan sambungan kayu.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan

Likos E. dkk (2012) melakukan penelitian dengan judul *Effect Of Tenon Geometry, Grain Orientation, And Shoulder On Bending Moment Capacity And Moment Rotation Characteristics Of Mortise And Tenon Joints* pada penelitian ini diuji tiga sambungan tenon, yaitu diamond tenon, rectangular tenon dan circle tenon. Didapatkan kapasitas momen sambungan mortise tenon dengan sepenuhnya dimasukan ke dalam kayu lebih besar 54% dibandingkan sambungan mortise tenon yang tidak dimasukan sepenuhnya. Sambungan mortise tenon dengan bentuk diamond tenon mempunyai kapasitas momen yang lebih besar dari pada sambungan dengan bentuk rectangular tenon dan round tenon.

(Handayani, 2018) melakukan analisis pushover untuk mengevaluasi gedung beton bertulang biasa tujuh lantai dengan system portal ber dinding geser di Berek, Sleman, Yogyakarta. Fungsi Gedung ini adalah asrama dan untuk kegiatan pendidikan sehingga mempunyai kategori resiko IV. Pada penelitian ini didapat indeks kerentanan tertinggi pengujian getaran mikro terletak pada arah Y(U-S) pada tingkat 2 sedangkan nilai percepatan maksimum pada fondasi yang dapat diterima struktur gedung saat gagal geser balok pertama hasil analisis *pushover* yaitu sebesar 0,112 g dan 0,110 g. Berdasarkan syarat percepatan gempa rencana pada fondasi (PGA_M) SNI 1726;2012, gedung ini tidak memenuhi syarat gaya gempa rencana.

(Handarni, 2020) melakukan evaluasi kinerja seismic pada struktur gedung pusat studi lingkungan hidup (PSLH) UGM berdasarkan ASCE 41-17. Gaya geser balok ultimit yang digunakan dalam analisis berdasarkan gaya geser terbesar dari arah sumbu 2 dan kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan *forced controlled*. Sedangkan komponen kolom struktural termasuk dalam system pemikul lateral utama yang dikategorikan sebagai komponen primer, nilai ultimit gaya geser dan gaya aksial kolom berdasarkan kombinasi pembebanan force-controlled. Pemeriksaan drift ratio (rasio simpangan) pada level kinerja *Immediate Occupancy* maksimum 1 % dan Life Safety Maksimum 2%, berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan setiap level memenuhi Batasan simpangan. Berdasarkan demand dan kapasitas yang telah dianalisis terdapat *deficiency* atau tidak memenuhi berdasarkan kriteria penerimaan (*acceptance criteria*) yang disyaratkan ASCE 41-16.

Manthani dan Fauzan (2019) melakukan analisis struktur bangunan adat Sumatera Barat terhadap ketahanan gempa berdasarkan SNI 1726;2012. Pemodelan dilakukan dengan material kayu johan dengan modulus elastisitas 11.000 Mpa. Spektrum gempa berdasarkan peta gempa Indonesia 2010, lokasi berada di Kabupaten Solok, Sumatera Barat. Didapatkan hasil lendutan maksimum pada atap sebesar 1,08 cm, momen nominal balok bawah melintang sebesar 6,08 kNm, gaya geser balok sebesar 15,62 kN.

Awaludin dkk. (2016) melakukan studi eksperimen dan pemodelan tentang pemanfaatan kayu sengon untuk struktur atap pelana tiga sendi. Benda uji berupa struktur rangka kayu dengan Panjang 8 meter dan tinggi 5 meter dengan sambungan 8 baut berdiameter 9,45 mm dan tebal pelat gusset 3,8mm. non primastik kayu LVL mempunyai kadar air 12,8% dan berat jenis kering udara 0,38. Pemodelan finite element dilakukan dengan program Abaqus v.11 dengan modulus elastisitas kayu sebesar 200 GPa, kekuatan luluh sebesar 400 MPa, kuat tarik sebesar 500 MPa dan rasio Poisson sebesar 0,3. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa model sambungan dengan jumlah atau diameter baut yang lebih besar menunjukkan kekakuan rotasi yang lebih tinggi. Disimpulkan bahwa struktur rangka atap dengan

rigid beam-column joint mempunyai kapasitas menahan beban 20% lebih baik dari pada struktur *semi-rigid beam-column joint*.

Asesmen Struktur Bangunan Utama Masjid Agung Kraton Surakarta

Struktur utama Masjid Agung Kraton Surakarta terbuat dari kayu jati, kecuali pada elemen kolom tepi yang terbuat dari batu bata. Properti material pada struktur utama masjid ini adalah sebagai berikut, Modulus elastisitas 12000 MPa, Kuat tekan sejajar serat 50 MPa, Kuat Tarik tegak lurus serat 30 MPa, Kuat lentur 113 MPa, Kuat Geser 4 MPa, Berat Jenis 700 kg/m³.

Seismic Hazard

Seismic hazard atau besaran gaya gempa mengacu pada SNI 1726-2019 prosedur perhitungan beban gempa rencana pada penelitian ini berdasarkan klasifikasi situs, parameter percepatan batuan dasar, penentuan koefisien situs dan parameter respon spektra percepatan gempa.

3. METODE PENELITIAN

Studi Literatur

Pada penelitian ini dilakukan studi literatur sebagai Langkah awal guna memperdalam dan menunjang topik yang akan dibahas dalam penelitian ini. Literatur yang dikumpulkan digunakan untuk mempelajari konsep dari topik penelitian, memperdalam tentang perencanaan struktur gedung, peraturan sebagai acuan dalam merencanakan dan evaluasi struktur gedung serta referensi dari penelitian sebelumnya yang menunjang topik penelitian.

Pembebanan

- Beban atap
Atap sirap dengan tebal 10 mm , kaso ukuran 5/7 dan reng ukuran 3/4 dengan berat jenis kayu ulin 1,04 g/cm³.
- Beban hidup atap
Beban hidup atap dimodelkan dengan beban titik seberat 100kg pada setiap titik kolom.
- Beban gempa
Data dikumpulkan untuk menunjang penelitian terhadap evaluasi kegempaan seperti as built bangunan, data teknis bangunan, mutu bangunan dan data percepatan tanah maksimum (PGA) dan parameter respon spektra desain (S_s dan S₁) dari situs puskim.go.id

Data Teknis Bangunan

Struktur bangunan utama Masjid Agung Kraton Surakarta terdiri dari satu lantai. Pemodelan dilakukan dengan program SAP2000. Berikut adalah data teknis bangunan yang digunakan dalam penelitian tesis ini :

Fungsi bangunan : masjid

Tahun perencanaan : 1763

Lokasi : Surakarta

Jumlah lantai : 1 lantai

Sistem struktur : struktur kayu

Jenis tanah : tanah sedang

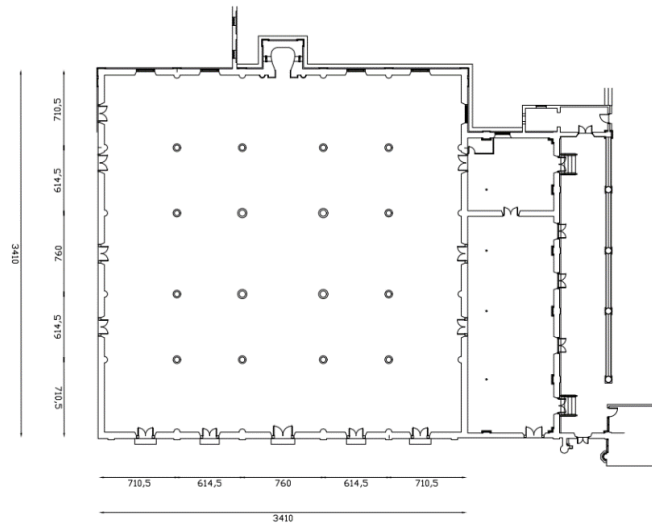
Mutu material kolom dan balok :

- Modulus elastisitas = 12000 MPa
- Kuat tekan sejajar serat = 50 MPa
- Kuat Tarik tegak lurus serat = 30 MPa
- Kuat lentur = 113 Mpa
- Kuat geser = 4 MPa
- Berat jenis = 700 Kg/m³

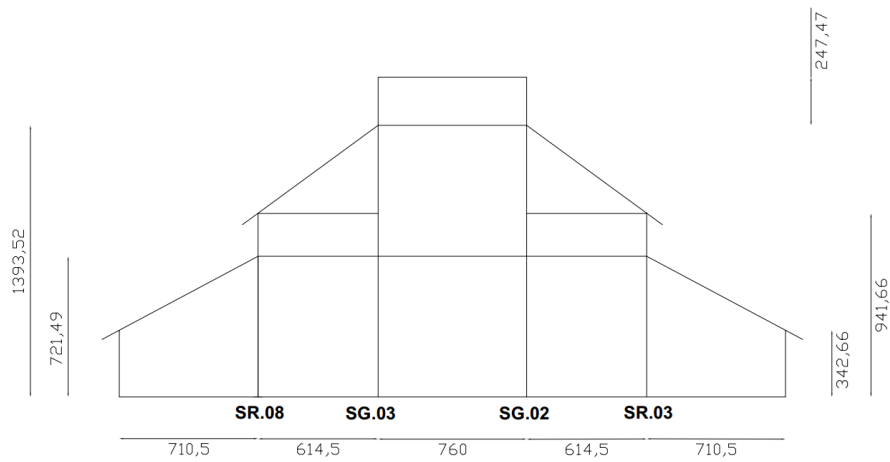
Tabel 1 Dimensi kolom dan balok

| Elemen | D1 (cm) | H (cm) | B (cm) |
|--------------------|---------|--------|--------|
| Soko Guru | 60 | - | - |
| Soko Rowo | 49 | - | - |
| Kolom tepi | 60 | - | - |
| Tumpang sari bawah | - | 30 | 22 |
| Tumpang sari atas | - | 20 | 26 |
| Pengeret bawah | - | 31 | 23,5 |

| | | | |
|--|---|------|----|
| Pengeret atas | - | 32 | 32 |
| Sunduk kili bandang bawah | - | 35 | 20 |
| Sunduk kili bandang atas | - | 35 | 20 |
| Kuda-kuda (balok) | - | 23,5 | 20 |
| Kuda kuda | - | 14 | 11 |
| Balok ring (diatas kolom tepi) /mirplat | - | 21 | 22 |
| Gording | - | 16 | 11 |
| Mirplat sokorowo | - | 23,5 | 35 |



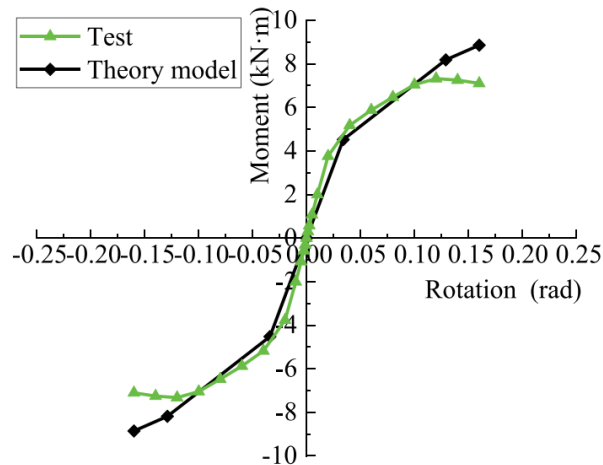
Gambar 1 Denah Struktur Bangunan Utama Masjid Agung Surakarta



Gambar 2 Potongan Sebelah Barat Masjid Agung Surakarta

Sambungan

Pada sambungan kolom dan balok utama dimodelan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Zhang B, dkk dengan judul *Rotational Performace of Traditional Straight Mortise-Tenon Joint with Gap* dengan grafik moment rotasi seperti pada gambar 3.1 dan spesifikasi sambungan seperti pada tabel 3.1.



Gambar 3 Grafik Momen Rotasi pada Sambungan
 Sumber : Zhang B, dkk (2022). Rotational Performance of Traditional Straight Mortise-Tenon Joints with Gap: Theoretical Model and Numerical Analyses

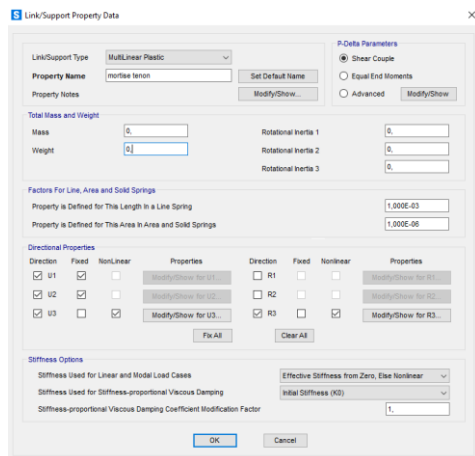
Tab 2 Momen Rotasi pada Sambungan

| Rotasi (Rad) | Moment (Kn.m) |
|--------------|---------------|
| -0,124 | -7,2 |
| -0,04 | -5 |
| -0,025 | -4 |
| 0 | 0 |
| 0,025 | 4 |
| 0,04 | 5 |
| 0,124 | 7,2 |

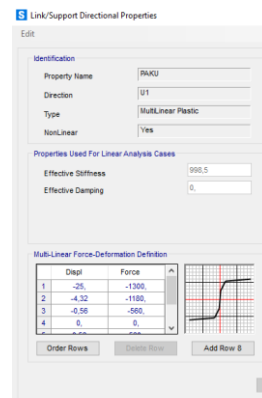
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Struktur Gedung

Pada analisis dilakukan pemodelan link dengan memodelkan sambungan antara kolom balok dengan mortise tenon.

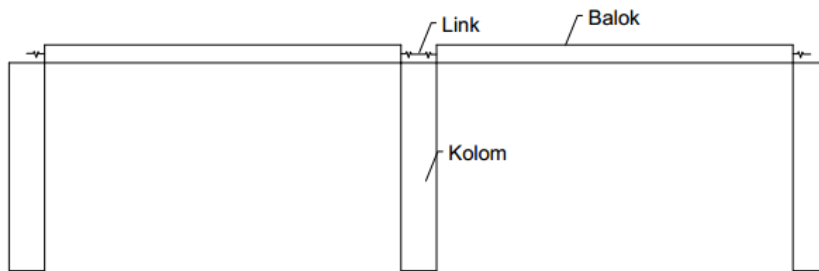


Gambar 3 Link Properti



Gambar 4 Link/Support Directional Property

Pada kolom balok struktur utama Masjid Agung Kraton Surakarta dilakukan pemodelan sebagai berikut



Gambar 5 Pemodelan pada kolom dan balok
 Setelah pemodelan struktur selesai dilakukan input pembebanan sebagai berikut.

Beban atap

Beban berat sendiri dan beban mati atap berupa sirap dengan tebal 10 mm , kaso ukuran 5/7 dan reng ukuran 3/4 dengan berat jenis kayu ulin 1,04 g/cm³ yang dimodelkan sebagai beban titik pada tiap kolom. Sehingga beban perkolom terekap pada Tabel 3 sampai 5.

Tabel 3 Rekapitulasi pembebanan atap pada kolom soko guru

| No | Beban atap kolom soko guru (kg/m ²) |
|----|---|
| 1 | 1481,493 |
| 2 | 1481,493 |

Tabel 4 Rekapitulasi pembebanan atap pada kolom soko rowo

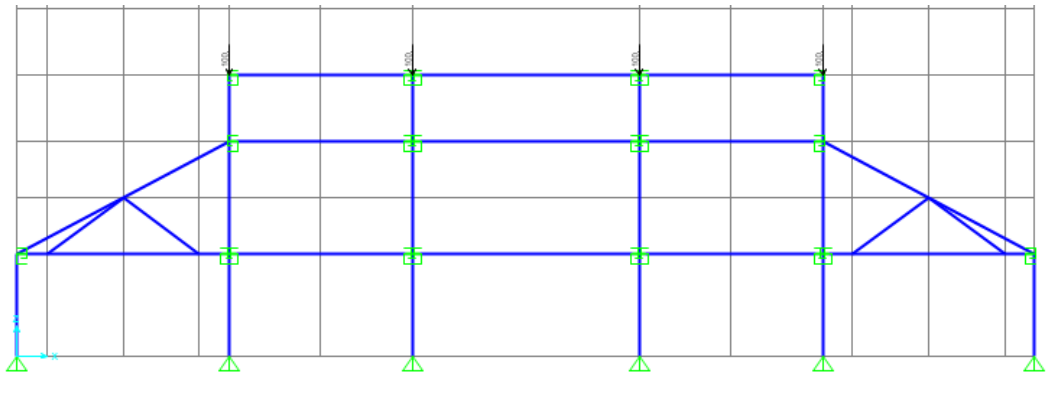
| No | Beban atap kolom soko rowo (kg/m ²) |
|----|---|
| 1 | 1837,747 |
| 2 | 1961,133 |
| 3 | 1961,133 |
| 4 | 1837,747 |

Tabel 5 Rekapitulasi pembebanan atap pada kolom tepi

| No | beban atap kolom tepi (kg/m ²) |
|----|--|
| 1 | 510,7593 |
| 2 | 961 |
| 3 | 1007,133 |
| 4 | 1007,133 |
| 5 | 961 |
| 6 | 510,7593 |

Beban hidup atap

Beban hidup atap dimodelkan dengan beban titik seberat 100kg pada setiap titik kolom seperti pada 6



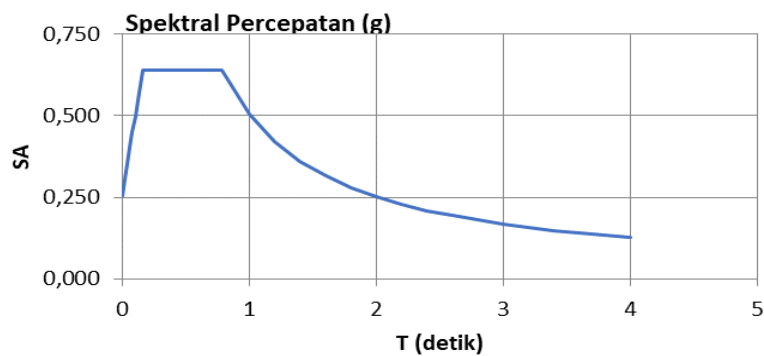
Gambar 6 Input beban hidup atap

Perhitungan Gaya Gempa

Parameter gaya gempa didapat dari SNI 1726-2019 dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 6 Beban gempa

| Parameter | Nilai |
|--|------------------|
| Fungsi bangunan | Tempat ibadah |
| Kategori resiko | IV |
| Faktor keutamaan gempa I_e | 1,5 |
| Kelas situs | D (tanah sedang) |
| percepatan respon spektra periode pendek, S_s (MCEr) | 0,8171 |
| percepatan respon spektra periode pendek, S_1 (MCEr) | 0,3962 |
| Koefisien situs periode pendek, F_a | 1,17316 |
| Koefisien situs periode 1 detik, F_v | 1,9038 |
| S_{XS} | 0,959 |
| S_{X1} | 0,754 |
| S_{DS} | 0,639 |
| S_{D1} | 0,503 |
| T_s | 0,787 |
| T_0 | 0,157 |
| S_{a0} | 0,256 |



Gambar 7 Respon spektrum gempa

Kombinasi Beban

Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726- 2019 yaitu

- 1,4 D
- 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr atau S atau R)

- c. $1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atar } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
- d. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atar } R)$
- e. $0,9 D + 1 W$
- f. $1,2 D + Ex + 0,3Ey + L + 0,2 S$
- g. $0,9 D - Ex + 0,3Ey$
- h. $D + 0,7 Ex + 0,7 Ey$
- i. $D + 0,525 Ex + 0,525 Ey + 0,75 L$
- j. $0,6 D - 0,7Ex + 0,7 Ey$

Hasil Evaluasi

Periode yang didapat dari analisis dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 7 Periode waktu getar

| Periode | Waktu (detik) |
|---------|---------------|
| 1 | 0,711 |
| 2 | 0,509 |
| 3 | 0,467 |
| 4 | 0,464 |
| 5 | 0,461 |
| 6 | 0,370 |
| 7 | 0,343 |
| 8 | 0,269 |
| 9 | 0,253 |
| 10 | 0,243 |
| 11 | 0,236 |
| 12 | 0,223 |

Kekuatan sambungan

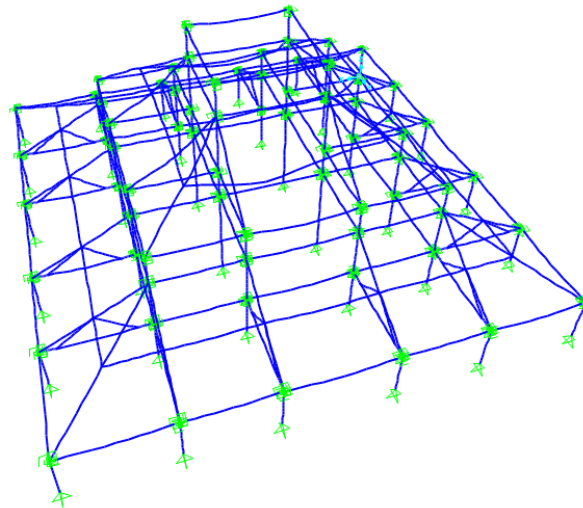
Pada analisis ini didapatkan moment maksimum pada M3 sebesar 0,5373 kNm yang terjadi pada joint 89 (element 161) dan didapatkan deformasi maksimum sebesar 6,44 mm yang terjadi pada element 161 dengan kombinasi pembebanan $0,9 D + 0,3 Ex + Ey$. Momen maksimum arah x didapat sebesar 17078,76 kNm, momen maksimum arah y didapat sebesar 43482,6 kNm dan momen maksimum arah z didapat sebesar 7554,88 kNm. Hasil output maksimum dapat dilihat pada tabel 4.3 dan 4.4.

Tabel 8 hasil output maksimum pada joint

| LinkElem | Joint | OutputCase | M3 (kNm) | R3 (radians) |
|----------|-------|---------------|----------|--------------|
| 161 | 89 | 0,9D+0,3EX+EY | 0,5373 | 0,00161 |

Tabel 9 hasil output maksimum moment

| MX (kNm) | MY (kNm) | MZ (kNm) |
|----------|----------|----------|
| 17078,76 | 43482,6 | 7554,88 |



Gambar 8 Deformasi akibat beban

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa pada pemodelan sambungan dengan didapatkan momen maksimum pada m3 sebesar 0,5373 Knm sedangkan kapasitas sambungan sebesar 7,2 kNm, sehingga sambungan masih mampu untuk menahan beban yang diinput.

DAFTAR PUSTAKA

- Awaludin, A. dan Astuti, P. (2016). "Study on Utilization of LVL Sengon (*Paraserianthes falcataria*) for Three-Hinged Gable Frame Structures". *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, vol. 6, no. 3. Yogyakarta.
- Awaludin, A. dan Saputro, D.N. (2016). "Bolt Spacing and End Distance of Bolted Connection of Laminated Veneer Lumber (LVL) Sengon". *Civil Engineering Dimension*, Vol. 19, No. 1, March 2017, 1-6.
- Bhandary, Sharthak. (2020). "Numerical Performance Evaluation of the Wooden Frame Structures with Adhesive Applied Connection Under Wind and Seismic Loading". Western Michigan University. Michigan, Amerika Serikat.
- Djono, Utomo, T.P., dan Subiyantoro, S. 2012. *Jurnal Nilai Kearifan Lokal Rumah Tradisional Jawa*. Volume 24. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Handayani, N.K. (2018). Analisis Pushover Struktur Gedung Asrama mahasiswa Kinanti UGM. Tesis, Jurusan Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Handarni, A. W. (2020). *Performance Based Seismic Evaluation Struktur Gedung Pusat Studi Lingkungan Hidup (PSLH) UGM Menurut ASCE 41-17*. Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Haryanto, Y. dan Soedibyo, G.H. (2015). Evaluasi Kinerja Struktur Akibat Pengaruh Gempa (Studi Kasus Gedung D dan Gedung E Fakultas Teknik Universitas Jenderal Soedirman). Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 1. Bali.
- Huang, H., Guo, T., Li, P. dan Sun, Z.W. (2016). "Experimental Study on the Seismic Behavior of Traditional Chuan-Dou Style Wood Frame". World Conference on Timber Engineering; 22-25.
- Iqbali, A. M. (2021). Karakteristik Kerusakan Kayu Jati (*Tectona grandis*) Elemen Soko Guru Ruang Utama Masjid Ageng Karaton Surakarta Hadiningrat. Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada.
- Ladisa, L. (2013). Perilaku Lentur Kayu Sagu Laminasi. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Li, S. C., Chen, L.K., Jiang, L. Z. dan Li. J. Q. (2019). "Experimental Investigation on the Seismic Behavior of the Semi-Rigid One-Way Straight Behavior of the Semi Rigid One-Way Straight Mortise-Tenon Joint of a Historical Timber Building". *International Journal of Architectural Heritage*, PACS(optional, as per journal): 75.40.-s; 71.20.LP.
- Likos, E., Haviarova, E., Eckelma, C. A., Erdil, Y. Z., dan Ozcifci, A. (2012). "Effect Of Tenon Geometry, Grain Orientation, And Shoulder On Bending Moment Capacity And Moment Rotation Characteristics Of Mortise And Tenon". *Wood and Fiber Science*, 44(4), 2012, pp 462-469. The Society of Wood Science dan Technology.

- Manthani, K. dan Fauzan, M. (2019). Desain dan Analisis Struktur Bangunan Adat Sumatera Barat Terhadap Ketahanan Gempa. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan* Vol. 04 N0. 01 April 2019.
- Masbudi, M. (2015). Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Gedung dengan Analisis Pushover. *E-Jurnal Matrik Teknik Sipil*, 40, 1056-1064.
- Ogawa, K., Sasaki, Y. dan Yamasaki, M. (2016). “*Theoretical Estimation of the Mechanical Performance of Traditional Mortise-tenon Joint Involving a Gap*”. *The Japan Wood Research Society: J Wood Sci* (2016) 62:242–250.
- Pranata, Y.A. (2006). Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan pushover Analysis (sesuai dengan ATC-40), FEMA 356 dan FEMA 440). *Jurnal Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Maranatha*, 3(1), 41-52.
- Sha, B., Wang, H. dan Li, A. (2019). “*The Influence of the Damage of Mortise-Tenon Joint on the Cyclic Performance of the Traditional Chinese Timber Frame*”. Lisensi MDPI, Basel, Switzerland.
- SNI 1727:2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1726:2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Zhang, B., Xie, Q., Hu, Junfang., Zhang L., dan Wu, Y. (2022). “*Rotational Performance of Traditional Straight Mortise-Tenon Joints with Gap: Theoretical Model and Numerical Analyses*. *School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology*”. China