

Analisis Numeris Kerentanan Bangunan Rumah Sederhana Batu Bata Terhadap Gempa

Numerical Analysis of Simple Brick Houses Loads Under Earthquakes

Melati Sukma Astie Baroo, Taufiq Ilham Maulana

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Rumah tinggal merupakan kebutuhan primer setiap orang, dimana rumah tinggal ini bangunan paling dominan di Indonesia terutama dinding dengan bahan batu bata merah. Dalam merancang suatu bangunan, kekuatan dinding batu bata merah sering tidak diperhitungkan. Hal ini menyebabkan terjadinya keretakan atau keruntuhan pada dinding batu bata jika terjadi gempa. Gempa bumi adalah salah satu fenomena alam yang terjadi di wilayah Indonesia yang dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan bahkan menelan banyak korban. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai perpindahan dan tegangan suatu bangunan rumah sederhana menggunakan bantuan perangkat lunak *FreeCAD* untuk membuat model tiga dimensi dan *LISA-FEA* akan memberikan hasil analisis numeris (metode elemen hingga). Bangunan rumah sederhana yang digunakan pada penelitian ini adalah perumahan di Padang Sidempuan tipe 21, 36, 45, dan 50 yang akan diketahui nilai perpindahan, tegangan, serta distribusi tegangan berdasarkan kejadian gempa arah X dan arah Y. Hasil penelitian ini menunjukkan perpindahan pada semua tipe rumah aman jika terjadi gempa, sedangkan tegangan ada beberapa yang tidak aman yaitu tipe 36 dengan arah Y sisi C mempunyai nilai sebesar 7,44 MPa, sedangkan pada rumah tipe 45 arah X sisi B sebesar 4,81 MPa dan arah Y sisi D sebesar 19,3 MPa, serta pada rumah tipe 50 dengan arah X maupun Y dengan sisi A, B, C, dan D dengan nilai berturut-turut sebesar 4,44 MPa, 4,86 MPa, 4,99 MPa dan 8,95 MPa. Hasil ini dapat dimanfaatkan untuk penelitian selanjutnya.

Kata-kata kunci : gempa, dinding batu bata, *displacement*, tegangan.

Abstract. Residential homes are the main needs of every individual, where these houses are Indonesia's most dominant building, particularly the walls with red brick products. The strength of a red brick wall is often not taken into consideration when designing a building. In the case of an earthquakes, this creates cracks or collapses on brick walls. Earthquakes are one of the natural phenomena that occurs in Indonesia's land, which can harm houses and even cause many deaths. This study aims to determine the displacement and stress values of a simple house building using *FreeCAD* software to create a three-dimensional model and the result of numerical analysis (finite element method) will be provided by *LISA-FEA*. The simple house building used in this research is housing in Padang Sidempuan type 21, 36, 45, and 50 will understand the importance of displacement, voltage, and stress distribution on earthquake direction X and direction Y. The results of this study indicate that in all types the houses is safe in the event of an earthquake, while the voltage is somewhat unsafe, type 36 eith direction Y side C has a value of 7.44 MPa, while in type 45 the direction X side B is 4.81 MPa and direction Y side D is 19.3 MPa, as well as tupe 50 houses with direction X dan Y with sides A, B, C, and D with 4.44 MPa, 4.86 MPa, 4.99 MPa, and 8.95 MPa, respectively. It is possible to use these outcomes fot the further studies.

Keywords : earthquake, brick wall, displacement, stress.

1. Pendahuluan

Bangunan adalah suatu struktur buatan didirikan secara permanen. Berdasarkan data manusia yang terdiri dari atap dan dinding yang yang diambil, didapatkan bahwa backlog

menurut perspektif memiliki (perspektif BPS) pada tahun 2014 sebanyak 13 juta unit rumah (Direktorat Jenderal Anggaran Kementerian Keuangan, 2015). Tingginya *backlog* perumahan terjadi karena kenaikan harga rumah yang lebih tinggi daripada angka inflasi. Pada tahun 2015, Presiden Joko Widodo membuat program sejuta rumah untuk masyarakat berpenghasilan rendah (MBR) setiap tahunnya. Adapun tipe rumah yang tersedia yaitu tipe 27, 36, dan 38. Perumahan di Indonesia yang sering digunakan yaitu tipe 21, 36, 45, 54, 60. Indarto dkk. (2016) menyebutkan bahwa bangunan gedung dengan pasangan dinding bata banyak sekali dijumpai di kota-kota besar di Indonesia. Pada umumnya bangunan jenis ini banyak digunakan sebagai bangunan rumah tinggal, bangunan perkantoran, dan bangunan ruko. Pembuatan batu bata yaitu penggalian bahan mentah, pengolahan bahan, pembentukan, pengeringan, pembakaran, pendinginan dan pemilihan (seleksi). Struktur bangunan gedung dengan pasangan dinding bata mempunyai kekakuan struktur yang besar. Semakin besar kekakuan dari bangunan, maka akan semakin besar beban gempa yang akan bekerja. Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik (Adeswastoto dkk., 2017). SNI 1726:2012 merupakan peraturan tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

Afriandini dan Saputro (2018) melakukan penelitian pada gedung beton bertulang 7 lantai pada 6 ibukota provinsi di Pulau Jawa yang berpotensi gempa seperti kota Jakarta, Banten, Bandung, Semarang, Yogyakarta, dan Surabaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gaya geser dasar dan simpangan antar lantai yang termuat antara peraturan SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012. Metode yang digunakan adalah statik ekuivalen dan dibantu dengan *software* SAP2000. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai gaya geser seismik dan simpangan antar lantai lebih besar menurut SNI 1726:2012 dibandingkan SNI 03-1726-2002. Penelitian Zebua (2018) menganalisis rumah tinggal 4 lantai di Kota Gunungsitoli Kepulauan Nias. Pada penelitian ini dibantu

dengan *software* ETABS guna melakukan analisis beban gempa. Data yang didapat dari *software* tersebut adalah gaya aksial, geser dan momen. Hasil dari penelitian ini adalah simpangan antar lantai memenuhi syarat SNI 1726:2012. Raharja dkk. (2017) melakukan penelitian dengan analisis *plane stress* atau analisis tegangan dan deformasi dari bangunan bertingkat dengan membuat *shear wall*. Untuk menghasilkan analisis tegangan bidang (*plane stress*) dapat dibantu dengan *software* Matlab yang kemudian divalidasi dengan *software finite element*, sedangkan untuk hasil perpindahan dilakukan perbandingan antara *software* Matlab dan SAP2000. Hasil dari penelitian ini adalah perhitungan *plane stress* pada Matlab teruji dengan *software finite element* dan nilai perpindahan arah x dan arah y pada kedua *software* adalah sama. Penelitian Feng dkk. (2018) berfokus pada analisis seismik dan desain sistem ganda dan kerangka penahan momen. Analisis perpindahan lateral elastis dilakukan berdasarkan pada kontinu yang setara, yang terdiri dari balok lentur dengan pegas rotasi di alas dan balok geser. Tanjung dan Madiawati (2016) melakukan penelitian bahwa dinding bata mempunyai pengaruh terhadap ketahanan lateral struktur beton bertulang. Dijelaskan pasca gempa Sumatera Barat 2007, struktur bangunan dinding bata merah hanya mengalami keretakan, sementara struktur bangunan yang tidak menggunakan dinding bata merah mengalami keruntuhan. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian laboratorium dengan hasil dinding bata merah mempunyai pengaruh terhadap ketahanan struktur beton bertulang. Penggunaan bata merah dengan ukuran besar dan penggunaan plesteran pada kedua sisi dinding juga mempengaruhi peningkatan lateral. Dapat disimpulkan bahwa yang dapat bertahan akibat gempa bumi adalah bangunan dengan dinding bata merah. Sedangkan Triwiyono dkk. (2015) melakukan uji eksperimental pada kekuatan lentur dan daktilitas dinding batu bata yang diperkuat oleh tulangan baja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi kekuatan lentur spesimen dinding tanpa perkuatan sangat tinggi. Kapasitas lentur dan daktilitas dinding yang diperkuat meningkat secara signifikan, hingga

5-16 kali lebih tinggi daripada dinding yang tidak diperkuat.

Indarto dkk. (2016) melakukan penelitian dengan Metode Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) menggunakan gempa El-Centro. Hasil dari penelitian yaitu *base shear* yang terjadi pada struktur dengan dinding bata lebih besar 20 % dibandingkan struktur tanpa dinding bata. Metode Statik Ekuivalen cukup aman untuk memperkirakan beban gempa yang bekerja pada struktur, karena perbedaan distribusi gaya gempa sebesar kurang dari 10%. Hasil analisis struktur tersebut tercantum dalam Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012). Sedangkan Maidiawati dkk. (2017) melakukan penelitian pada dinding bata ada bukaan dan dinding bata penuh. Hasil penelitian menunjukkan keruntuhan didahului pada dinding batu bata kemudian terjadi keruntuhan pada kolom. Dinding dengan pengisi lebih besar kekakuan dan kekuatannya dibandingkan dinding tanpa pengisi. Kekuatan lateral pada dinding pengisi dua kali lebih besar daripada dinding tanpa pengisi. Mikolasek dkk. (2014) menganalisis sambungan baja yang difokuskan pada kekakuan sambungan selama proses pembuatan. Dalam penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dan model komputasi tiga dimensi dalam perhitungan numerik. Berbeda dengan Alghamdi dan Alharthi (2017) menggunakan pemodelan elemen hingga untuk meningkatkan efisiensi isolasi termal dinding bata, efek dari bentuk rongga bata, panjang bata, mortar, dan dinding ganda pada perpindahan panas melalui dinding bata. Mortar beton meningkatkan konduktivitas termal ketebalan dinding hingga hampir 30% dan penggunaan isolasi mortar mengurangi transfer panas sebesar 29%. Dinding ganda dengan celah udara memiliki isolasi termal 39% lebih tinggi daripada dinding bata tunggal. Kumpyak dan Mescheulov (2017) menyajikan studi numerik (elemen hingga, nonlinier tiga dimensi) kekuatan dan deformabilitas dukungan pelepasan dalam bentuk tabung annular di bawah pembebanan dinamis dan jangka pendek. Penelitian ini menentukan bahwa dengan peningkatan ketergantungan elemen kekakuan elemen deformasi antara beban dan deformasi penopang menghasilkan dalam tahap elastis dan plastis memiliki

karakter linier. Oleh karena itu memungkinkan asumsi kemungkinan aplikasi mereka sebagai unit pendukung di konstruksi beton bertulang. Mikolasek dkk. (2014) menganalisis sambungan baja yang difokuskan pada kekakuan sambungan selama proses pembuatan. Dalam penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dan model komputasi tiga dimensi dalam perhitungan numerik.

Penelitian ini dilakukan terhadap bangunan rumah sederhana, yaitu perumahan di Padang Sidempuan dengan empat tipe rumah. Lokasi penelitian berada Padang Sidempuan karena memiliki nilai S_s dan S_1 besar yang dapat dilihat dari Peta Gempa 2017. Empat tipe rumah yang akan dilakukan penelitian yaitu tipe 21, 36, 45, dan 50, karena tipe ini banyak digunakan dalam perumahan di Indonesia. Salah satu tipe rumah yaitu tipe 36 digunakan sebagai program sejuta rumah oleh Pemerintah. Pengerjaan penelitian ini dibantu dengan *software FreeCAD* untuk penggambaran tiga dimensi dan *software LISA-FEA* untuk hasil analisis metode elemen hingga berupa nilai *displacement* dan tegangan.

2. Dasar Teori

Gempa Bumi

Gempa bumi adalah salah satu fenomena alam yang terjadi di wilayah Indonesia, dimana gempa bumi ringan maupun dahsyat ini menelan banyak korban, meruntuhkan bangunan dan fasilitas umum. Gempa bumi terjadi karena pelepasan energi regangan elastis batuan pada litosfir, semakin besar energi tersebut yang dilepas maka gempa yang terjadi semakin kuat juga. Gempa bumi juga bisa disebabkan dari pergerakan kerak bumi atau lempeng bumi.

Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012

Pada penelitian ini, pembebanan gempa dihitung berdasarkan SNI 1726:2012 mengenai Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, serta Peta Gempa 2017 untuk mendapatkan nilai S_s dan S_1 .

Batu Bata

Batu bata merah umum digunakan sebagai dinding pada bangunan rumah

sederhana maupun pada struktur bangunan beton bertulang terutama di Indonesia yang rawan bencana gempa bumi. Beberapa pengaruh yang diakibatkan gempa dari dinding adalah efek *soft story*, kolom pendek, torsi dan keruntuhan dinding dalam arah *out of plane*. Akan tetapi, dinding batu bata akan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap ketahanan struktur bangunan beton bertulang akibat gempa dalam batas maksimum skala VII MMI. (Tanjung dan Maidiawati, 2016)

3. Metode Penelitian

Tahapan Penelitian

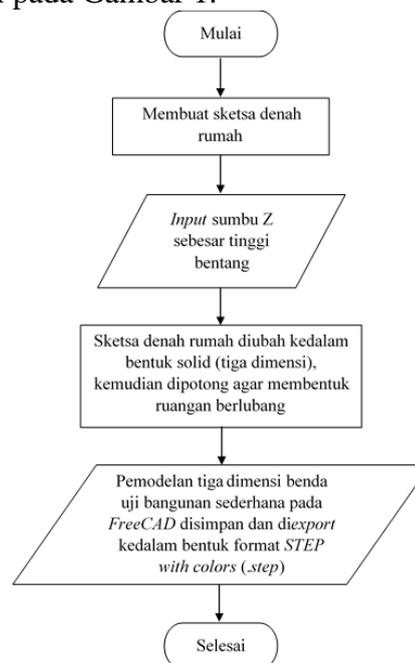
Berikut merupakan tahapan-tahapan yang diambil dalam melaksanakan penelitian :

1. Pengamatan
Dalam pengamatan ini yaitu mengambil beberapa denah bangunan perumahan dengan berbagai tipe.
2. Studi Literatur
Dilakukan studi literatur dengan mencari referensi yang relevan dari jurnal, artikel laporan penelitian, situs-situs internet, peraturan SNI tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Peraturan SNI 1726:2012 dan Peta Gempa 2017 digunakan sebagai acuan dalam penentuan beban gempa yang akan diberikan terhadap bangunan.
3. Menentukan Variasi
Setelah melakukan pengamatan dan studi literatur, maka ditentukan variasi tipe rumah yang akan dimodelkan pada program *FreeCAD* dan *LISA-FEA*. Variasi tipe rumah yang dimodelkan yaitu dengan rumah tipe 21, 36, 45, dan 50.
Dengan dinding batu bata, maka memiliki nilai modulus elastisitas (*young's modulus*, E) sebesar 13500 MPa, berat jenis (*density*) sebesar 2097 kg/m³, dan nilai *Poisson's ratio* sebesar 0,2.
4. Pemodelan
Berbagai tipe rumah akan dimodelkan dengan *FreeCAD* dalam bentuk tiga dimensi. Hasil pemodelan dari *FreeCAD* ini nantinya akan dilanjutkan pada program *LISA-FEA* untuk dilakukan analisis perpindahan (*displacement*) dan tegangan.

5. Pengumpulan Data dan Analisis Numeris
Data yang dikumpulkan yaitu denah rumah yang terdapat luas setiap ruang, tinggi bangunan, tebal dinding batu bata. Yang kemudian diaplikasikan di program *FreeCAD* dan data akhir yang dikumpulkan berupa file *export* (.*step*). Sedangkan data yang dikumpulkan pada program *LISA-FEA* adalah konvergensi jumlah elemen, nilai perpindahan (*displacement*) yang dihasilkan, dan tegangan yang terjadi pada bangunan.

Pemodelan pada Program FreeCAD

Program *FreeCAD* ini merupakan program *CAD* tiga dimensi model untuk berbagai keperluan dan dalam pengembangannya program ini berlisensi gratis atau *open source*. Tahapan pemodelan pada program *FreeCAD* dapat dilihat dengan urutan seperti pada Gambar 1.

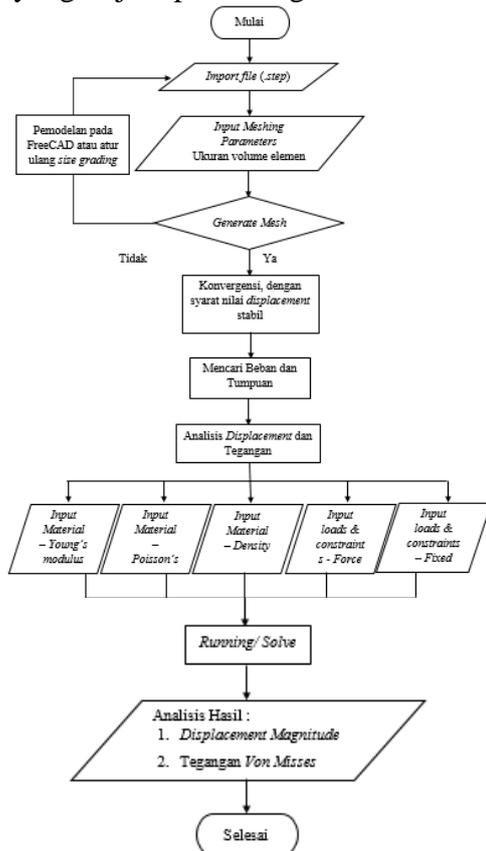


Gambar 1 Bagan alir pada program *FreeCAD*

Input Geometri dan Analisis pada Program LISA-FEA

Benda uji yang telah dimodelkan dalam program *FreeCAD* akan diinput geometri dan dilakukan analisis dalam program *LISA-FEA* versi 8.0. *LISA-FEA* merupakan program analisis numeris dengan lisensi gratis yang dikembangkan oleh John E. Bossom pada tahun 1998. Analisis numeris dalam *LISA-FEA* dilakukan untuk mengetahui besar nilai

perpindahan (*displacement*) dan tegangan *von Misses* yang terjadi pada bangunan.

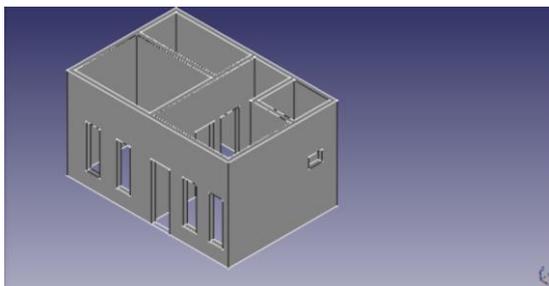


Gambar 2 Bagan alir pemodelan benda uji pada program LISA-FEA

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil Pemodelan pada Program FreeCAD

Pemodelan pada program *FreeCAD* akan menghasilkan benda uji dalam bentuk tiga dimensi bangunan sederhana yaitu perumahan. Pemodelan ini akan disimpan dalam format *STEP with colors (.step)* guna untuk diinput geometri pada program *LISA-FEA*. Salah satu hasil pemodelan pada program *FreeCAD* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Pemodelan benda uji rumah tipe 21

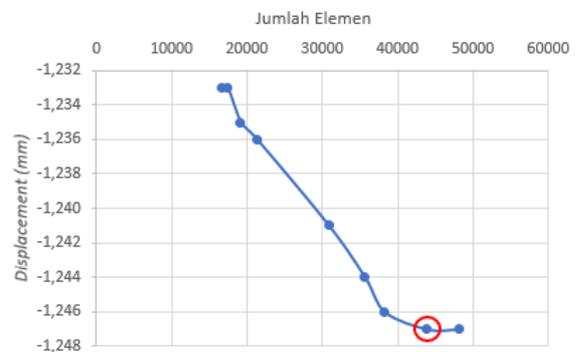
Analisis Konvergensi

Analisis konvergensi bertujuan untuk mencari volume elemen yang akan digunakan untuk setiap benda uji. Analisis konvergensi dilakukan secara berulang-ulang dengan beban dan material yang sama, namun ukuran volume elemennya diubah. Hasil nilai jumlah elemen dan nilai *displacement* yang dihasilkan dicatat pada *Microsoft Excel* seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil *running* ukuran elemen

Volume Elemen (mm ³)	Jumlah Elemen	Nodes	Displacement (mm)
200	16.639	34.552	-1,233
195	17.387	36.067	-1,233
190	18.113	37.540	-1,235
185	19.149	39.684	-1,235
180	20.047	41.526	-1,238
175	21.320	44.083	-1,236
170	22.592	46.645	-1,240
165	24.413	50.322	-1,240
160	25.619	52.780	-1,240
155	27.347	56.276	-1,241
150	28.930	59.455	-1,242
145	30.842	63.307	-1,241
140	32.875	67.437	-1,244
135	35.622	72.978	-1,244
130	38.248	78.258	-1,246
125	40.615	83.074	-1,246
120	43.910	89.736	-1,247
115	48.150	98.316	-1,247

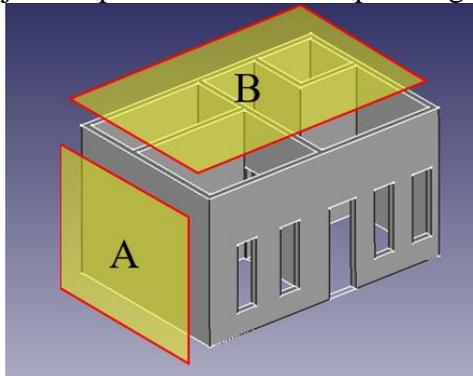
Dari Tabel 1 tersebut, kemudian diolah ke bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Grafik berikut menunjukkan penggunaan volume elemen sebesar 115-200 mm³ telah menghasilkan nilai *displacement* yang cukup stabil, sehingga dipilih volume maksimal sebuah elemen dalam proses *meshing* sebesar 120 mm³.



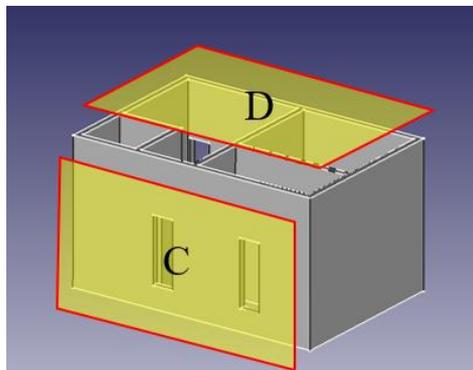
Gambar 4 Grafik hasil uji konvergensi

Displacement dan Tegangan von Misses

Hasil *displacement* dan tegangan pada empat tipe rumah disajikan pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 5 dan keterangan tabel disajikan dengan gambar pemodelan ditunjukkan pada Gambar 5 sampai dengan 12.



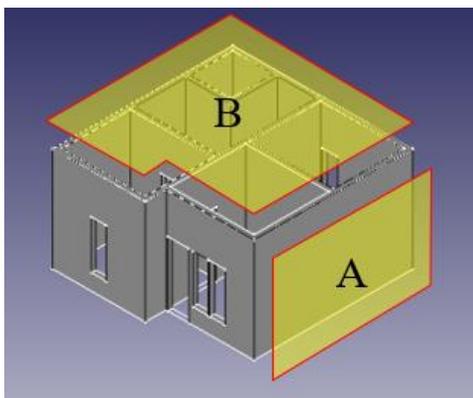
Gambar 5 Rumah tipe 21 sisi A dan B arah X



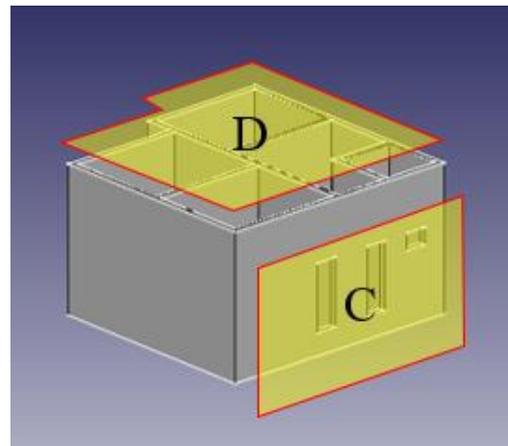
Gambar 6 Rumah tipe 21 sisi C dan D arah Y

Tabel 2 Hasil analisis numeris pada rumah tipe 21

	Displacement (mm)	Tegangan (MPa)	Syarat	
			Displacement 70 mm	Tegangan 4,3 MPa
Arah X				
A	-1,564	3,19	AMAN	AMAN
B	-1,247	3,19	AMAN	AMAN
Arah Y				
C	-1,799	3,89	AMAN	AMAN
D	-1,697	4	AMAN	AMAN



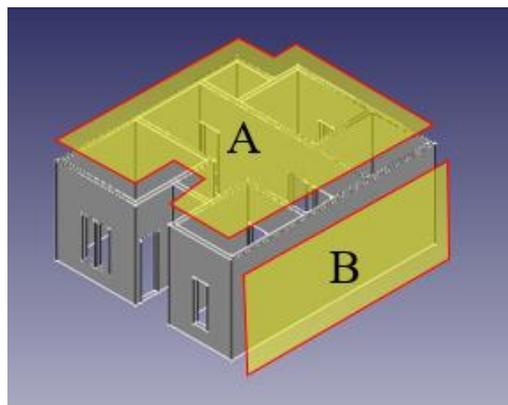
Gambar 7 Rumah tipe 36 sisi A dan B arah X



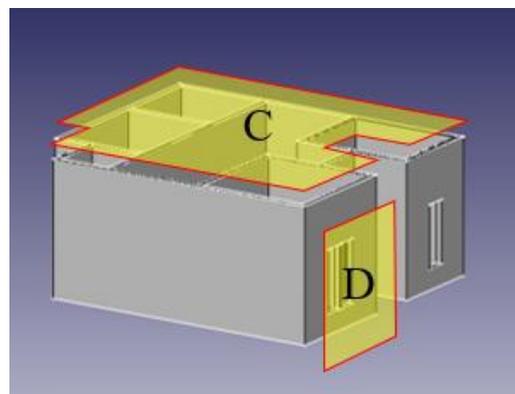
Gambar 8 Rumah tipe 36 sisi C dan D arah Y

Tabel 3 Hasil analisis numeris pada rumah tipe 36

	Displacement (mm)	Tegangan (MPa)	Syarat	
			Displacement 70 mm	Tegangan 4,3 MPa
Arah X				
A	-1.675	3.9	AMAN	AMAN
B	-1.24	3.4	AMAN	AMAN
Arah Y				
C	-2.292	7.44	AMAN	TIDAK AMAN
D	-1.617	3.19	AMAN	AMAN



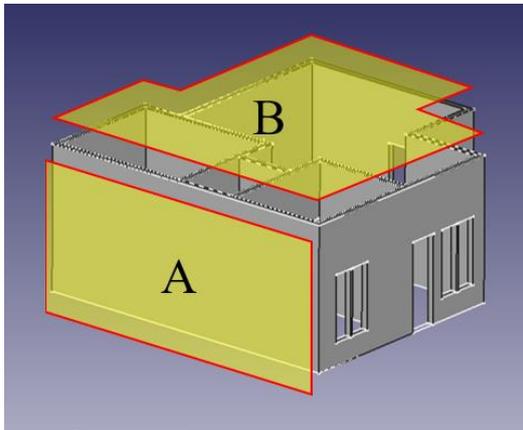
Gambar 9 Rumah tipe 45 sisi A dan B arah X



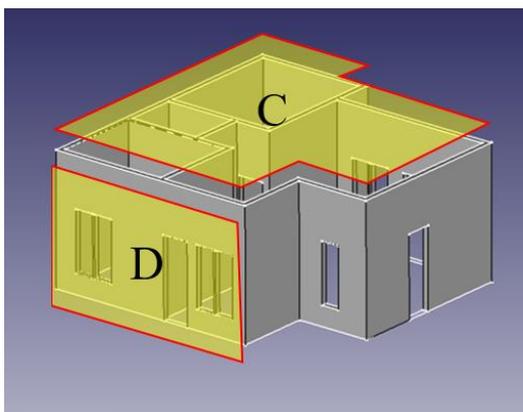
Gambar 10 Rumah tipe 45 sisi C dan D arah Y

Tabel 4 Hasil analisis numeris pada rumah tipe 45

	Displacement (mm)	Tegangan (MPa)	Syarat	
			Displacement 70 mm	Tegangan 4,3 MPa
Arah X				
A	-1,649	4,1	AMAN	AMAN
B	-2,616	4,81	AMAN	TIDAK AMAN
Arah Y				
C	-1,818	3,71	AMAN	AMAN
D	-8,132	19,3	AMAN	TIDAK AMAN



Gambar 11 Rumah tipe 50 sisi A dan B arah X



Gambar 12 Rumah tipe 50 sisi C dan D arah Y

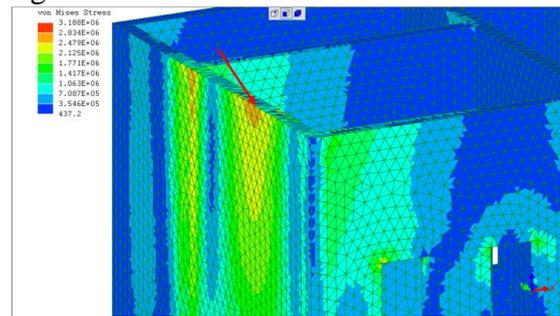
Tabel 5 Hasil analisis numeris pada rumah tipe 50

	Displacement (mm)	Tegangan (MPa)	Syarat	
			Displacement 70 mm	Tegangan 4,3 MPa
Arah X				
A	-3,738	4,44	AMAN	TIDAK AMAN
B	-5,552	4,86	AMAN	TIDAK AMAN
Arah Y				
C	-5,222	4,99	AMAN	TIDAK AMAN
D	-3,375	8,95	AMAN	TIDAK AMAN

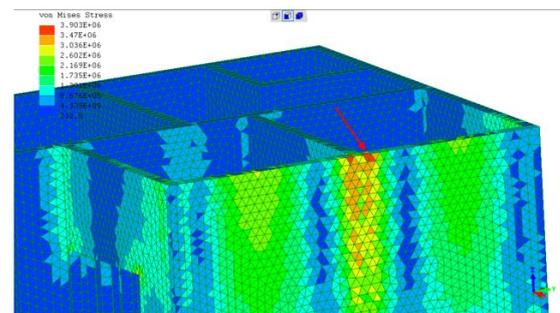
Distribusi Tegangan

Selain nilai hasil analisis *displacement* dan tegangan, dapat diketahui juga distribusi tegangan *von Misses*. Untuk dapat melihat distribusi tegangan pada seluruh benda uji,

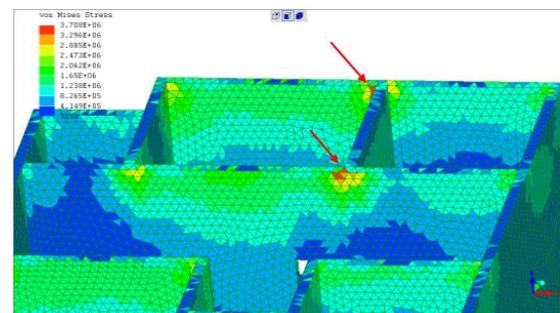
maka dapat dilihat pada Gambar 13 sampai dengan Gambar 16.



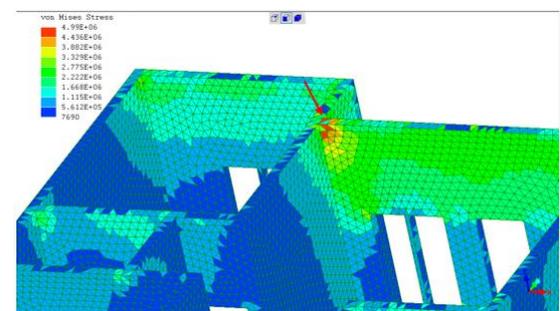
Gambar 13 Distribusi tegangan pada rumah tipe 21 arah Y sisi D



Gambar 14 Distribusi tegangan pada rumah tipe 36 arah X sisi A



Gambar 15 Distribusi tegangan pada rumah tipe 45 arah Y sisi C



Gambar 16 Distribusi tegangan pada rumah tipe 50 arah Y sisi C

5. Kesimpulan

- Pada seluruh bangunan rumah sederhana (perumahan) tipe 21, 36, 45,

- dan 50 diperoleh nilai *displacement* paling besar yaitu pada rumah tipe 45 dengan arah Y sisi D sebesar 8,132 mm. Sedangkan nilai *displacement* paling kecil yaitu pada rumah tipe 36 dengan arah X sisi B sebesar 1,24 mm.
- b. Pada seluruh bangunan rumah sederhana (perumahan) tipe 21, 36, 45, dan 50 diperoleh nilai tegangan *von Misses* paling besar yaitu pada rumah tipe 45 dengan arah Y sisi D sebesar 19,3 MPa. Sedangkan nilai *displacement* paling kecil yaitu pada rumah tipe 36 dengan arah Y sisi D sebesar 3,19 MPa.
 - c. Nilai *displacement* dan tegangan yang berada dibawah nilai syarat, maka bangunan rumah sederhana tersebut termasuk aman jika terjadi gempa.
 - d. Tipe rumah yang tidak aman berdasarkan nilai tegangannya yaitu rumah tipe 36 dengan arah Y sisi C mempunyai nilai tegangan sebesar 7,44 MPa. Sedangkan pada rumah tipe 45 arah X sisi B sebesar 4,81 MPa dan arah Y sisi D sebesar 19,3 MPa. Dan pada rumah tipe 50 dengan arah X maupun Y dengan sisi A, B, C, dan D dengan nilai berturut-turut sebesar 4,44 MPa, 4,86 MPa, 4,99 MPa dan 8,95 MPa.

6. Daftar Pustaka

- Adeswastoto, H., Djauhari, Z., dan Suryanita, R., Evaluasi Kerentanan Bangunan Gedung Terhadap Gempa Bumi Berdasarkan ASCE 41-13, *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, 3, 86-99.
- Afriandini, B. dan Saputro, D. N., 2018, Analisis Gaya Dasar Seismik Berdasarkan SNI-03-1726-2002 dan SNI 1726:2012 Pada Struktur Gedung Bertingkat, *Jurnal Nasional*, 19, 95-102.
- Alghamdi, A. A. dan Alharthi H. A., 2017, Multiscale 3D Finite-Element Modelling of The Thermal Conductivity of Clay Brick Walls, *Construction and Building Materials*, 157, 1-9.
- BSN, 2012, *SNI 1726:2012: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Anggaran Kementerian Keuangan, 2015, Peranan APBN Dalam Mengatasi Backlog Perumahan Bagi Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR).
- Feng, Y., Wu, J., Chong, X., dan Meng, S., 2018, Seismic Lateral Displacement Analysis and Design of an Earthquake-Resilient Dual Wall-Frame System, *Engineering Structures*, 177, 85-102.
- Indarto, H., Pardoyo, B., Fahria, N., dan Puji I., 2016, Pengaruh Pasangan Dinding Bata pada Rspn Dinamik Struktur Gedung Akibat Beban Gempa, *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, 18, 9-14.
- Kumpyak, O. G. dan Mescheulov, N. V., 2017, Numerical Simulation of Yielding Supports in The Shape of Annular Tubes Under Static and Short-Term Dynamic Loading, *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 13, 103-113.
- Maidiawati, Tanjung, J., dan Medriosa, H., 2017, Pengaruh Dinding Bata dengan Bukaan (Lobang) terhadap Ketahanan Lateral Struktur Rangka Beton Bertulang, *Jurnal Teknik Sipil*, 4, 145-152.
- Mikolasek, D., Lokaj, A. , Brozovsky, J., dan Sucharda, O., 2014, Experimental and Numerical Analysis of Steel Joints in Round Wood, *Civil Engineering Series I*, 14, 1-10.
- Raharja, S., Suryanita, R., Djauhari, Z., 2017, Analisis Tegangan Bidang (Plane Stress) Dinding Geser (Shear Wall) Gedung Bertingkat, *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, 3, 58-76.
- Tanjung, J. dan Maidiawati, 2016, Studi Eksperimental tentang Pengaruh Dinding Bata Merah Terhadap Ketahanan Lateral Struktur Beton Bertulang, *Jurnal Teknik Sipil*, 23, 99-106.
- Triwiyono, A., Nugroho, A. S. B., Firstyadi, A. D., dan Ottama, F., 2015, Flexural Strength and Ductility of Concrete Brick Masonry Wall Strengthened Using Steel Reinforcement, *Procedia Engineering*, 125, 940-947.
- Zebua, A. W., 2018, Analisis Gaya Gempa Bangunan Rumah Tinggal di Wilayah

Gempa Tinggi, *Jurnal Teknik Sipil Siklus*,
4, 23-35.