

tanah dengan atau tanpa bahan campuran, yang dibakar cukup tinggi, hingga tidak dapat hancur bila direndam air.

2.2.5 STERA FEM

Stera FEM adalah *software* untuk menganalisis dinding yang diciptakan pada tahun 2015 oleh Taiki Saito dari Toyohashi University of Technology, Jepang. Stera FEM merupakan singkatan dari *Structure Earthquake Response Analysis*. Stera FEM adalah *software* 2 dimensi untuk menganalisis dinding menggunakan beban statis horizontal dan vertikal. *Output* yang dihasilkan dari *software* ini adalah nilai tegangan utama dinding dan pola distribusi tegangan utama dinding.

2.2.6 Tegangan Utama

Tegangan merupakan parameter dari modulus elastisitas. Tegangan adalah perbandingan gaya yang bekerja pada benda dibagi dengan luas benda tersebut. Besarnya tegangan akan mempengaruhi modulus elastisitas, kemudian modulus elastisitas akan mempengaruhi kekakuan suatu benda. Tegangan utama adalah tegangan normal maksimum yang dimiliki suatu benda. Apabila tegangan utama terjadi pada beberapa titik maka tidak ada komponen tegangan geser.

renggang pada tegangan tinggi tanpa diikuti regangan yang besar. Kekakuan adalah ketahanan terhadap deformasi. Semakin kecil deformasi yang terjadi berarti semakin baik kekakuan material. Kekakuan merupakan fungsi dari modulus elastisitas. Sebuah material yang memiliki modulus elastisitas tinggi akan berdeformasi lebih kecil yang berarti kekakuannya baik. Menurut leksono dkk. (2012) kekuatan dan kekakuan dinding bata memiliki pengaruh cukup signifikan pada kinerja bangunan bertingkat rendah.

2.2.3 Keruntuhan Dinding

Keruntuhan dinding bisa terjadi karena ada gaya yang bekerja pada dinding melebihi kapasitas kekuatan dari material penyusun dinding tersebut. Dalam Prayuda dan Cahyanti (2016) ada 2 jenis keruntuhan pada dinding. Keruntuhan tersebut berdasarkan arah gaya yang bekerja pada dinding. Jenis tersebut sebagai berikut ini.

1. *Out-plane- failure* yaitu keruntuhan yang diakibatkan oleh gaya yang bekerja tegak lurus bidang dinding. Dinding akan mengalami kerusakan menyeluruh karena memiliki kemampuan sangat kecil untuk menahan gaya *out-plane*.
2. *In-plane failure* yaitu keruntuhan yang diakibatkan karena gaya yang sejajar dengan bidang dinding. Keruntuhan ini terjadi karena tingkat kekuatan gaya lateral yang relatif rendah, struktur portal dan dinding pengisi akan bekerja sebagai struktur komposit. Ketika deformasi lateral meningkat, struktur akan mengalami perilaku yang kompleks dimana struktur portal akan mengalami deformasi dalam *flexural mode* dan dinding pengisi akan mengalami deformasi *shear mode*. Akibat perilaku tersebut, akan terjadi perubahan pada *diagonal compression strut* dan pemisahan antara portal dan dinding pengisi pada ujung-ujung tarik.

2.2.4 Bata Merah sebagai Material Penyusun Dinding

Zaman modern ini sudah banyak ditemukan material sebagai bahan penyusun dinding. Salah satu jenis material yang paling banyak digunakan adalah bata merah. Bata merah dipilih karena mudah didapat, harganya yang cukup terjangkau dan cukup kuat secara struktur. Dalam handayani (2010), batu bata merah adalah unsur bangunan yang digunakan dalam pembuatan konstruksi bangunan yang terbuat dari

2.2. Landasan Teori

2.2.1 Dinding

Dinding merupakan elemen bangunan yang menjadi pemisah antara ruang satu dengan ruang yang lain. Terdapat 2 jenis dinding yaitu dinding struktural dan dinding non struktural. Dinding struktural adalah dinding yang menjadi penopang atap. Dinding struktural berpengaruh terhadap kekuatan dan keutuhan struktur. Apabila dinding struktural mengalami kerusakan maka akan mempengaruhi stabilitas bangunan. Dinding non struktural adalah dinding yang tidak menopang beban, apabila dinding dirobuhkan tidak mengganggu struktur bangunan.



(a)

(b)

Gambar 2.1 Jenis dinding: (a) dinding struktural dan (b) dinding non struktural.

(Ma, dkk. 2018)

Dinding juga menjadi bagian yang penting untuk menyokong beban yang ada di atasnya seperti atap. Menurut wisnumurti dkk (2007), dinding memiliki beberapa fungsi yaitu menahan beban, memberikan berat pada keseluruhan bangunan, sebagai peredam bunyi dan radiasi, serta memberikan batasan wilayah (sebagai pemisah ruang).

2.2.2 Kekakuan

Dinding bata terbuat dari material batu bata yang memiliki kekuatan dan kekakuan tertentu dengan kualitas yang berbeda – beda tergantung bata yang digunakan. Menurut zainuri (2008) kekakuan adalah sifat bahan yang mampu

6	Studi Perhitungan Kekakuan Portal Dinding Bata Pada Bangunan Bertingkat dari Beberapa Negara dengan <i>Pushover</i> . (Frapanti, 2018)	Penggunaan <i>software</i>	Studi perhitungan kekakuan dan kekuatan dinding bata menggunakan <i>software</i> ETABS	Studi pengaruh tinggi terhadap kekakuan dinding pasangan bata menggunakan <i>software</i> STERA FEM
7	<i>Blast Response of GFRP-Strengthened Infill Masonry Walls</i> . (Alsayed, dkk. 2016)	Pengujian lab	Pengujian pengaruh ledakan terhadap dinding pengisi bata dengan perkuatan <i>Glass Fibre Reinforced Polymer</i>	Analisis dinding pasangan bata tanpa perkuatan
8	<i>Numerical Modeling of FRP-Reinforced Masonry Walls Under In-Plane Seismic Loading</i> . (Zhang, dkk. 2018)	Penggunaan <i>software</i>	Penelitian dinding bata dengan perkuatan <i>Fibre Reinforced Polymer</i> menggunakan <i>software</i> ABAQUS	Analisis dinding pasangan bata menggunakan <i>software</i> STERA FEM
9	<i>Out-of-plane Testing of Unreinforced Masonry Walls Strengthened Using ECC Shotcrete</i> . (Lin, dkk. 2016)	Pengujian Lab	Penelitian tentang dinding bata tanpa perkuatan dengan bahan tambah ECC <i>shotcrete</i>	Analisis dinding pasangan bata tanpa perkuatan dan tanpa bahan tambah
10	<i>Out-of-plane Flexure Behaviour of Fly Ash-Lime-Gypsum Brick Masonry Walls</i> . (Gourav dan Reddy, 2018)	Pengujian Lab	Pengujian dinding bata dengan bahan campur abu terbang, kapur dan gipsum	Analisis dinding tanpa menggunakan bahan campuran

Analisis dinding menggunakan *software* STERA FEM belum pernah dilakukan sebelumnya. Penelitian dengan judul “Studi Pengaruh Tinggi Terhadap Kekakuan Dinding Pasangan Bata Menggunakan Variasi Arah Beban Horizontal dan Vertikal” merupakan penelitian yang murni dan belum pernah ada yang meneliti sebelumnya.

2.1.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Terdapat perbedaan pada penelitian ini dengan penelitian terdahulu.

Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang

No	Penelitian	Jenis	Perbedaan Penelitian	
			Terdahulu	Sekarang
1	<i>Experimental Analysis and Detailed Micro-Modeling of Masonry Walls Subjected to In-Plane Shear.</i> (Drougkas, dkk. 2019)	Pengujian Lab	Analisis dinding pasangan bata dengan melakukan eksperimen pada kapasitas kekuatan <i>in-plane</i> di laboratorium	Analisis dinding pasangan bata dengan pemodelan menggunakan <i>software</i> STERA FEM
2	<i>Experimental and Numerical Evaluation of Reinforced Dry-Stacked Concrete Masonry Walls.</i> (Martinez dan Atamturktur, 2018)	Pengujian Lab	Analisis dinding bata beton <i>dry-stacked</i> dengan eksperimen di laboratorium dan analisis numerik	Analisis dinding pasangan bata dengan pemodelan menggunakan <i>software</i> STERA FEM
3	<i>Experimental Study of The In-Plane Cyclic Behaviour of Masonry Walls Strengthened by Composite Materials.</i> (Nadege, dkk. 2017)	Pengujian Lab	Pengujian perilaku gaya <i>in-plane</i> siklik pada dinding bata dengan perkuatan material komposit	Analisis dinding pasangan bata tanpa perkuatan
4	<i>Out-of-plane Response of Masonry Walls Strengthened Using Textile-Mortar System.</i> (Kariou, dkk. (2018)	Pengujian Lab	Eksperimen dinding bata dengan perkuatan <i>Textile-Reinforced Mortar</i>	Analisis dinding pasangan bata tanpa perkuatan

Tabel 2.1 Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang (Lanjutan)

No	Penelitian	Jenis	Perbedaan Penelitian	
			Terdahulu	Sekarang
5	<i>Out-of-plane Behavior of Reinforced Masonry Walls: Experimental and Numerical Study.</i> (Gattesco dan Boem, 2017)	Pengujian Lab	Pengujian dilakukan pada dinding bata yang diperkuat dengan <i>Glass Fibre Reinforced Polymer</i>	Analisis dinding pasangan bata tanpa perkuatan

dari penelitian menunjukkan bahwa penggunaan ECC kedalam dinding URM bisa meningkatkan secara signifikan kapasitas *out-of-plane* dari dinding.

Gourav dan Reddy (2018) melakukan penelitian dengan judul *Out-of-plane flexure behavior of fly ash-lime-gypsum brick masonry walls*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku kelenturan dinding bata Fal-G. Fal-G adalah istilah batu bata yang terbuat dari Abu tebu, kapur dan *gypsum* yang dipadatkan pada kelembaban optimum. Hasil kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa kuat lentur dinding batu bata Fal-G meningkat secara linier dengan peningkatan kuat tekan. Kuat lentur dinding secara parallel untuk *bed joint* 2 kali lebih besar dari kuat lentur tegak lurus dengan *bed joint*. *Displacement* lateral untuk dinding batu bata Fal-G dengan bentuk tegak lurus lebih besar bila dibandingkan dengan bentuk parallel. Kerusakan tegangan lentur untuk dinding batu bata Fal-G bisa diprediksi dengan nilai eksperimen tersebut menggunakan analisis elastis linier.

Nadege dkk. (2018) melakukan penelitian dengan judul *Experimental study of the in-plane cyclic behavior of masonry walls strengthened by composite materials*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku *in-plane* siklik dinding bata yang diperkuat dengan material komposit. Metode yang digunakan adalah eksperimen. Hasil kesimpulan dari penelitian tersebut adalah keretakan pada dinding yang diperkuat dengan *carbon fibre reinforced polymer* dimulai dengan retak disekitar karbon selama pembebanan tekan. Kerusakan pada dinding dengan perkuatan *glass fibre reinforced polymer* memiliki kurva histeretik asimetri. Dinding dengan perkuatan *carbon textile reinforced concrete* mengalami kegagalan geser di sepanjang diagonal bagian bawah dinding. Dinding dengan perkuatan *glass textile reinforced concrete* mengalami banyak retak kecil pada bagian potongan campuran.

GFRP (*Glass Fibre Reinforced Polymer*). Penelitian ini fokus pada kinerja pola perkuatan untuk dinding pengisi bata menggunakan GFRP terhadap beban ledakan. Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian tersebut, dapat diambil kesimpulan yaitu komposit GFRP menunjukkan potensi yang baik untuk mengutuhkannya kembali dinding pengisi URM (*Unreinforced Masonry*) terhadap beban ledakan. Model numerik menunjukkan korelasi yang baik dengan eksperimen. Analisis yang dilakukan memungkinkan untuk memperdiksi tekanan ledakan, pola kerusakan dan kegagalan ikatan dari lembaran GFRP dengan akurasi yang layak. Hasil kesimpulan menunjukkan bahwa laminasi GFRP menambah kapasitas kelenturan *out-of-plane* dinding pengisi URM untuk menahan beban ledakan.

Zhang dkk. (2018) melakukan penelitian dengan judul *Numerical Modelling of FRP-Reinforced Masonry Walls Under In-Plane Seismic Loading*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beban gempa *in-plane* terhadap dinding yang diperkuat dengan *Fibre Reinforced Polymer*(FRP). Pemodelan pada penelitian ini menggunakan *software* ABAQUS. Benda uji pada penelitian ini terdiri dari 3 bagian yaitu dinding bata *multi-leaf*, *cap beam* dan *base beam*. Semua dinding bagian *multi-leaf* terbuat dari batu bata dengan dimensi $240 \times 115 \times 53$ mm dan tebal semen mortar 10 mm. *Cap beam* dan *base beam* terbuat dari beton dan dipasang bersama dengan dinding *multi-leaf* menggunakan mortar *epoxy*. Hasil kesimpulan dari penelitian tersebut adalah benda uji dinding tanpa perkuatan lebih efektif untuk dikembangkan. Pola keretakan juga diteliti. Bila dibandingkan dengan pengamatan eksperimen, keretakan pada hasil simulasi relative lebih luas dan terdistribusi. Model dinding dengan perkuatan FRP juga menghasilkan pola kerusakan yang serupa. Perbandingan antara hasil eksperimen dan hasil numerik menunjukkan kesesuaian antara degradasi kekakuan dan kekuatan puncak.

Lin dkk. (2016) melakukan penelitian dengan judul *Out-of-plane Testing of Unreinforced Masonry Walls Strengthened Using ECC Shotcrete*. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk menentukan apakah *shotcrete* ECC bisa meningkatkan kapasitas momen *out-of-plane* dinding URM dan apakah metodologi desain yang bagus dapat ditetapkan. Dinding yang diuji memiliki dimensi tinggi 4,1 meter, Panjang 1,15 meter dengan ketebalan dinding 230 mm. Hasil kesimpulan

Kariou dkk. (2018) melakukan penelitian dengan judul *Out-of-plane response of masonry walls strengthened using textile-mortar system*. Penelitian tersebut bertujuan untuk memeriksa performa dari dinding bata merah yang diperkuat dengan material campuran tekstil yang diberi beban *out-plane*. Penelitian tersebut menggunakan metode eksperimen. Dinding yang diuji terbuat dari bata lempung padat. Tekstil yang digunakan adalah karbon, kaca dan basal. Hasil kesimpulan dari penelitian tersebut adalah pada semua kasus yang diperiksa, ikatan antara campuran tekstil dengan lapisan dinding mencapai kondisi optimal ketika dinding diberi beban, namun ketika sudah mencapai beban maksimum *debonding* terjadi.

Gattesco dan Boem (2017) melakukan penelitian dengan judul *Out-of-plane behavior of reinforced masonry walls: Experimental and numerical study*. Penelitian tersebut dilakukan dengan metode eksperimen dan analisis numerik. Hasil studi analisis yang dilakukan pada dinding dapat disimpulkan bahwa keretakan dan momen bending puncak bisa diprediksi dengan mudah.

Frapanti (2018) melakukan penelitian dengan judul Studi Perhitungan Kekakuan Portal Dinding Bata pada Bangunan Bertingkat dari Beberapa Negara dengan *Pushover*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kekakuan dan kekuatan dinding dengan melakukan eksperimen kuat tekan dari beberapa tipe batu bata yang diuji. Struktur bangunan dimodelkan sebagai portal 2 dimensi yang terdiri dari 2 variasi model dengan 1 bentang dan 3 bentang yaitu portal terbuka dan portal berdinding. Penelitian ini menggunakan analisis *pushover* dan dengan bantuan *software* ETABS. Hasil kesimpulan dari penelitian ini menyatakan bahwa kontribusi dinding pengisi yang terbuat dari dinding bata mempengaruhi kekakuan lateral struktur bangunan. Hasil uji laboratorium diperoleh nilai kuat tekan batu bata tipe 1 yaitu 3,07 MPa, bata tipe 2 yaitu 2,13 MPa dan batu bata tipe 3 yaitu 1,88 MPa. Nilai modulus elastisitas batu bata tipe 1 yaitu 1556,75 MPa, batu bata tipe 2 yaitu 1140,97 MPa dan batu bata tipe 3 yaitu 1024,54 MPa. Berdasarkan SNI, maka batu bata yang diuji belum memenuhi standar yang ditetapkan SNI yaitu 2237 MPa.

Alsayed dkk. (2016) melakukan penelitian dengan judul Blast Response of GFRP-Strengthened Infill Masonry Walls. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh ledakan terhadap dinding pengisi bata yang diperkuat dengan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Zaman modern kini telah banyak dilakukan penelitian tentang analisis dinding rumah atau dinding bangunan *non engineered*. Penelitian baik dengan eksperimen atau analisis menggunakan *software*. Pada penelitian ini, yang membedakan dengan penelitian lain adalah penelitian ini menggunakan *software* berupa STERA FEM yang mana sebelumnya belum pernah ada yang menggunakan.

2.1.1 Penelitian Terdahulu tentang Analisis Dinding

Drougkas dkk. (2019) melakukan penelitian dengan judul *Experimental Analysis and Detailed Micro-Modeling of Masonry Walls Subjected to In-Plane Shear*. Penelitian tersebut bertujuan untuk menyajikan hasil serangkaian eksperimen pada kapasitas kekuatan *in-plane* dinding pasangan bata dan menilai kemampuan pendekatan pemodelan mikro pada eksperimen simulasi numerik dengan membandingkan prediksi numerik dengan hasil eksperimen. Penelitian tersebut menggunakan metode eksperimen dan analisis numerik. Benda uji yang digunakan berupa dinding yang terbuat dari bata tanah liat padat. Hasil kesimpulan dari penelitian tersebut menyatakan bahwa sebagian besar geser maksimum yang dihasilkan secara akurat telah diprediksi oleh model untuk berbagai macam tingkatan prategang vertikal dan susunan geometrik yang berbeda.

Martinez dan Atamturktur (2018) melakukan penelitian dengan judul *Experimental and Numerical Evaluation of Reinforced Dry-Stacked Concrete Masonry Walls*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mendapatkan temuan yang dapat digeneralisasikan mengenai perilaku sistem dinding *dry-stacked*. Penelitian tersebut menggunakan metode eksperimen dan numerik. Dinding uji berukuran lebar 32 in dan tinggi 56 in. Hasil kesimpulan dari penelitian tersebut menyatakan bahwa konstruksi dinding bata *dry-stacked* mempunyai struktur yang cukup memadai untuk dimasukkan dalam kode konstruksi.