

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bangunan pada daerah rawan gempa harus direncanakan mampu bertahan terhadap gempa. Tren perencanaan terkini, yakni *performance based seismic design*, memanfaatkan teknik analisis non-linier berbasis komputer untuk menganalisa perilaku inelastis struktur dari berbagai macam intensitas gerakan tanah (gempa), sehingga dapat diketahui kinerjanya pada kondisi kritis. Selanjutnya dapat dilakukan tindakan bilamana tidak memenuhi persyaratan yang diperlukan. Metode tersebut mulai populer sejak diterbitkannya dokumen Vision 2000 (SEAOC, 1995) dan NEHRP (BSSC, 1995), yang didefinisikan sebagai strategi dalam perencanaan, pelaksanaan dan perawatan/perkuatan sedemikian agar suatu bangunan mampu berkinerja pada suatu kondisi gempa yang ditetapkan, yang diukur dari besarnya kerusakan dan dampak perbaikan yang diperlukan. Kriteria kinerja yang ditetapkan Vision 2000 dan NEHRP adalah sebagai berikut.

Tabel 2.1. Kriteria Kinerja

Level Kinerja		Penjelasan
NEHRP	Vision 2000	
<i>Operational</i>	<i>Fully Functional</i>	Tak ada kerusakan berarti pada struktur dan non-struktur, bangunan tetap berfungsi.
<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Operational</i>	Tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur, dimana kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa. Komponen non-struktur masih berada ditempatnya dan sebagian besar masih berfungsi jika utilitasnya tersedia. Bangunan dapat tetap berfungsi dan tidak terganggu dengan masalah perbaikan.
<i>Life Safety</i>	<i>Life Safe</i>	Terjadi kerusakan komponen struktur, kekakuan berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup terhadap keruntuhan. Komponen non-struktur masih ada tetapi tidak berfungsi. Dapat dipakai lagi jika sudah dilakukan perbaikan.
<i>Collapse Prevention</i>	<i>Near Collapse</i>	Kerusakan yang berarti pada komponen struktur dan non-struktur. Kekuatan struktur dan kekakuannya berkurang banyak, hampir runtuh. Kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan yang rusak sangat mungkin terjadi.

## 2.1 Kajian Penelitian terhadap Material Dinding Bata

Kajian perilaku dinding bata telah dilakukan di AS dan Kanada mulai tahun 80-an. Sebagian besar penelitian difokuskan pada kuat tekan bata dengan mutu tinggi dengan kekuatan 69,8 MPa sampai 101,7 MPa, (Mc Nary and Abrams, 1985), sangat jauh dibandingkan dengan mutu bata Indonesia. Penelitian untuk mengevaluasi perilaku material dinding bata akibat beban uni-aksial dimulai tahun 60-an dan berlanjut sampai tahun 70-an dilakukan di Eropa, Kanada dan Amerika Serikat. Antara tahun 70-an dan 80-an baru lah dilakukan penelitian tentang perilaku dinding akibat beban lateral gempa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dinding bata tersebut aman dan mampu menahan beban gravitasi, tetapi lemah dalam menahan beban lateral akibat gempa (Naraine and Sinha, 1989).

Penelitian selanjutnya difokuskan untuk mengetahui kemampuan dinding tersebut menahan beban lateral. Dinding bata dikategorikan dalam dua tipe; pertama, dinding bata tanpa tulangan, *the un-reinforced masonry walls* (URM) atau *un-reinforced brick masonry walls* (UBM), kedua, dinding bata dengan tulangan, *the reinforced masonry walls* (RM). Struktur dinding tersebut (URM, UBM dan RM) berdiri sendiri pada kasus bangunan rumah tinggal atau dikekang oleh oleh struktur portal/frame yang terbuat dari kayu, beton bertulang atau baja pada kasus bangunan bertingkat.

**Hamid dan Drysdale (1981)** meneliti dan mengusulkan teori keruntuhan dinding bata akibat kombinasi tegangan-tegangan. Penggunaan teori keruntuhan dengan metode material komposit terhadap dinding bata dibandingkan dengan hasil pengujian eksperimen dinding bata beton. Disimpulkan bahwa **teori keruntuhan bagi material isotropic (beton) tidak sesuai digunakan untuk dinding bata. Teori keruntuhan material komposit juga tidak dapat digunakan secara langsung untuk memprediksi kekuatan dinding bata yang menerima tegangan biaksial.** Kemudian dirumuskan teori keruntuhan bagi dinding bata yang terkena tegangan biaksial, dengan memperhitungkan sifat unisotropic sebagai material komposit. Dua kriteria keruntuhan ditentukan yaitu keruntuhan geser pada daerah kritis dan keruntuhan tarik dengan memperhitungkan interaksi antara bata, mortar dan bahan pengisi (grouting). Terbukti kriteria yang diusulkan mampu untuk memprediksi bentuk keruntuhan dan kekuatan dinding bata akibat tegangan biaksial.

**Anand dan Young (1982)** mengembangkan **elemen komposit 2D untuk memprediksi tegangan geser bata.** Elemen komposit ini digunakan dalam analisis 2D untuk kondisi plain

strain. Hasil analisis ini dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan metode elemen hingga. **Hasilnya menunjukkan elemen komposit 2D menunjukkan hasil yang sama dengan hasil analisis menggunakan metode elemen hingga.**

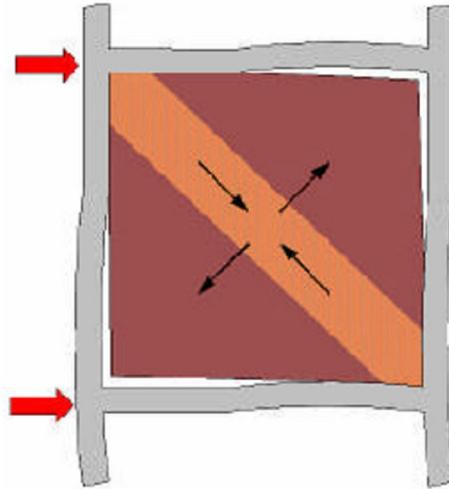
**Grimm and Tucker (1985)** meneliti berbagai kombinasi dinding bata dan mortar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa **kekuatan lentur dinding bata sangat tergantung kepada kualitas pemasangan dinding bata, metode pembebanan dan banyaknya joint mortar pada tiap lapisan bata.** Teori the weakest link digunakan untuk mencari hubungan antara kuat lentur dan kualitas pekerjaan pemasangan dinding bata untuk berbagai kondisi pembebanan.

## **2.2 Kajian Penelitian terhadap Portal Beton Bertulang dengan Dinding Pengisi Bata**

Penelitian terhadap portal beton bertulang dengan dinding pengisi dilakukan pertama kali oleh Polyakov (1956). Parameter yang diteliti adalah **efek dari jenis dinding bata, campuran mortar, bahan tambah, tipe beban (monoton atau siklik), dan efek bukaan.** Polyakov menggambarkan perilaku portal dengan dinding pengisi oleh racking load. Pertama, dinding pengisi dan elemen portal berperilaku monolit sampai terjadi retak pemisah antara portal dengan dinding pengisi yang timbul pada sambungan dinding dan portal, kecuali pada bagian sudut dindingnya. Kedua, timbul gaya tekan diagonal dan gaya tarik diagonal sampai terjadi retak sepanjang diagonal dinding pengisi secara bertahap. Selanjutnya kolom dan balok akan menahan beban yang bekerja sampai terjadi keruntuhan saat timbul retak yang sangat besar pada dinding. Berdasarkan pengamatan, ia menyarankan agar **sistem portal dengan dinding pengisi dapat dimodelkan sebagai braced frame dan diagonal strut yang menggantikan dinding pengisi.**

Pada periode yang sama, pengujian dilakukan oleh **Thomas (1953) dan Wood (1958)** dan hasil tes menunjukkan bahwa dinding pengisi yang terbuat dari bahan yang lemah dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kekakuan dan kekuatan portal. **Sachanski (1960)** melakukan pengujian pada model dan prototipe portal dengan dinding pengisi. Berdasarkan hasil tes, diusulkan model analitik dengan menganalisis gaya kontak antara portal dan dinding pengisi. Gaya kontak ditentukan dengan membentuk persamaan keseimbangan perpindahan dari portal dan dinding pengisi tersebut. Selanjutnya dinding pengisi diperlakukan sebagai membran elastis dan koefisien kekakuan dari dinding pengisi itu ditentukan dengan mengintegrasikan tegangan-tegangan yang ditentukan dengan menggunakan teknik beda hingga (*finite difference*). Setelah menentukan gaya kontak, lalu diusulkan fungsi tegangan untuk menganalisis tegangan dinding

pengisi tersebut. Pendekatan teoritis Sachanski (1960) ini hanya dapat diterapkan jika pergeseran (pemisahan) antara pengisi dan portal dapat dicegah. Selain itu, material dinding pengisi diasumsikan isotropik, homogen, dan elastis dan asumsi ini tidak berlaku untuk dinding pengisi yang non-homogen dan anisotropik.



Gambar 2.1. Model *equivalent diagonal strut* dinding pengisi(Holmes, 1961)

**Holmes (1961)** mengusulkan sebuah metode untuk memprediksi deformasi dan kekuatan portal dengan dinding pengisi berdasarkan konsep *equivalent diagonal strut* (Gambar 2.1). Disimpulkan bahwa, **pada saat keruntuhan dinding pengisi, defleksi lateral frame pengisi lebih kecil dibandingkan dengan defleksi portal tanpa dinding pengisi dan elemen struktur masih dalam kondisi elastis.** Penelitian ini menghasilkan persamaan untuk menentukan kapasitas beban lateral, yaitu,

$$H = \frac{24EI e'_c d}{h^3 \left(1 + \frac{I}{I_0} \cot \theta\right) \cos \theta} + A f_c \cos \theta \quad 1)$$

Dengan,  $H$  adalah beban horizontal saat runtuh,  $I$  adalah momen inersia Kolom,  $I_0$  adalah momen inersia balok,  $E$  adalah modulus elastis elemen,  $e'_c$  adalah tegangan tekan uniaksial dinding pengisi saat terjadi keruntuhan,  $h$  adalah tinggi dinding pengisi,  $d$  panjang diagonal dinding pengisi,  $\theta$  adalah besar sudut diagonal strut,  $A$  adalah luas penampang *equivalent diagonal strut* dan  $f_c$  adalah kuat tekan ultimit *equivalent diagonal strut*. Namun, **lendutan hasil analisis pada saat beban puncak pada umumnya lebih rendah dibandingkan dengan hasil eksperimental.**

**Saneinejad dan Hobbs (1995)** mengusulkan metode untuk menganalisis rangka baja dengan dinding pengisi dibebani *in-plane loading*. Metode yang diusulkan **memperhitungkan perilaku elastis dan plastis portal dengan dinding pengisi dan memprediksi kekuatan dan kekakuan dari portal dengan dinding pengisi**. Saneinejad dan Hobbs (1995) menyarankan bahwa **kemampuan menahan beban lateral tergantung pada tiga komponen, yaitu: gaya yang dihasilkan oleh tegangan geser pada bidang kontak antara balok dan dinding, gaya yang dihasilkan oleh tegangan normal pada bidang kontak antara kolom dan dinding dan gaya yang terjadi portal sebagai akibat dari kekakuan dalam menahan beban horisontal. Beban runtuh dan kekakuan yang dihasilkan metode ini jika dibandingkan dengan tes yang dilakukan oleh peneliti lain memberikan hasil yang memuaskan.**

**Madan et al. (1997)** mengusulkan model berdasarkan metode *equivalent strut* yang diusulkan oleh Saneinejad dan Hobbs (1995) dengan memasukkan model *smooth hysteretic*. Model histeresis ini menggunakan parameter kontrol untuk degradasi kekakuan dan kekuatan serta slip yang dihasilkan oleh adanya peristiwa terbuka dan menutupnya retak pada dinding bata dan dapat digunakan pada berbagai bentuk kurva hubungan beban-lendutan.

**Manos et al. (2000)** melakukan uji eksperimental untuk menyelidiki **pengaruh pasangan bata pada respon portal beton bertulang akibat gempa**. Selama pengujian dinding pengisi pasangan bata pada lantai pertama mengalami retak horizontal. pasangan bata ini kemudian dihancurkan dan diganti dengan dinding bata baru, kembali mengalami kerusakan, kali ini dalam bentuk retak diagonal. Terjadi peningkatan frekuensi alami struktur setelah penambahan dinding pengisi, namun peningkatan ini tidak konstan karena terjadi penurunan cepat kekakuan pada dinding pengisi yang disebabkan oleh kerusakan yang terjadi. Hal tersebut menunjukkan aspek signifikan dalam perilaku dinding pasangan bata; untuk beban gempa sedang dinding bata dapat mempertahankan kekakuannya dan ikut menahan beban sampai pada kapasitas dukungnya, namun karena terbuat dari material yang getas, kemampuan menahan beban ini segera hilang setelah dinding bata rusak.

**Kappos et al. (2000)** melakukan kajian analisis terhadap kinerja seismik portal beton bertulang dengan dinding pengisi pasangan bata. Ditemukan bahwa **akibat adanya dinding pengisi, terjadi peningkatan kekakuan sebanyak 440%**. Jelas bahwa, perilaku dinamis dari dua sistem struktur (*bare frame vs infilled frame*) sangat berbeda.

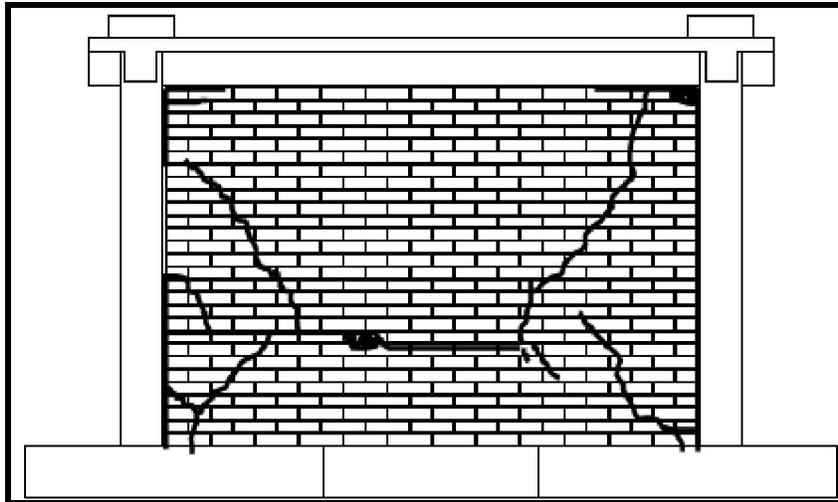
**Alidad Hashemi** dan **Khalid M. Mosalam (2007)** melakukan studi komprehensif guna mengevaluasi kemampuan seismik bangunan beton bertulang menggunakan dinding bata, *the unreinforced masonry (URM)*. Pengujian dilakukan dalam tiga tahapan: (1) pengujian seismik menggunakan *shaking table*, (2) pemodelan numerik, dan (3) *reliability-based performance evaluation*. Sebuah prototip benda uji yang mewakili kondisi riil bangunan, terdiri dari portal beton bertulang, lantai beton bertulang, dan dinding bata tanpa tulangan (URM), diuji dalam penelitian ini.



Gambar 2.2. Setting up pengujian portal dengan dinding pengisi (Hashemi, dkk 2007)

Kerusakan yang terjadi pada benda uji pada tahapan akhir pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.3. Kerusakan yang terjadi pada dinding bata berupa retak dengan sudut  $60^\circ$  mulai dari tepi atas dinding dan terhubung dengan retak panjang pada posisi sepertiga tinggi bawah dinding dan tersambung dengan retak yang membentuk sudut  $45^\circ$  pada sudut bawah dinding.

Hasil penelitian menunjukkan **dinding pengisi URM mempengaruhi kekuatan dan daktilitas struktur portal beton bertulang, oleh karena itu keberadaannya harus diperhitungkan dalam analisis dan perancangan**. Secara umum, **dinding bata akan membuat struktur lebih kaku, mengurangi waktu getar alami struktur dan meningkatkan koefisien redaman** serta mengubah alur beban (*load path*) pada struktur dan distribusi gaya pada tiap elemen struktur.



Gambar 2.3. Pola retak dinding pada akhir pengujian

**Imran et al. (2009)** melakukan pengujian eksperimental dan kajian analitis terhadap perilaku beton bertulang dengan dinding pengisi yang terbuat dari material ringan akibat beban gempa. Pengujian dilakukan pada 2 portal beton bertulang dengan dinding pengisi dari bata tanah liat dan bata ringan (*autoclaved aerated concrete*, AAC). Perilaku portal dievaluasi melalui pengamatan terhadap kekuatan dan deformasi, kapasitas *hysteretic energy* dan daktilitas. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa **portal dengan dinding pengisi AAC menghasilkan kemampuan yang lebih baik dibanding dengan dinding pengisi bata tanah liat**. Secara umum, **meskipun dinding bata memiliki kekakuan awal (*initial stiffness*) yang lebih tinggi, dinding pengisi AAC memiliki penurunan kekakuan yang lebih kecil dan memperlihatkan perilaku histeretik yang lebih baik dibandingkan dinding dari bata tanah liat**. Selanjutnya disimpulkan bahwa dinding bata AAC memberikan perilaku yang baik jika terkena beban gempa, oleh karena itu material ini dapat menggantikan dinding bata dan baik digunakan bagi daerah yang rawan gempa seperti Indonesia.