



Analisis Ketahanan Gempa Rumah Tembokan Beton Bertulang di Perumahan Graha Arradea

Fengky Satria Yoresta

Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga Bogor, Bogor 16680
syfengky@gmail.com

Received: 17 Maret 2018 Revised: 6 Juli 2018 Accepted: 11 Juli 2018

Abstract

The concept of earthquake resistant houses is basically that all building components must be well tied each other. In addition, quality of materials and workmanship must also be good so as to produce a strong building when receiving shocks. This study aims to determine whether houses in Perumahan Graha Arradea (Tahap 3 in Ciherang Village, Dramaga Subdistrict, Bogor District - West Java are built following the design principles of earthquake resistant houses. The research is conducted by observing the construction process at the location. Every stage of the construction process is recorded using a digital camera (Sony Cyber-shot DSC-W730). Interviews are also conducted on related parties to obtain accurate informations. The results conclude that the houses that are built have not met minimum requirements for design of earthquake resistant masonry houses with reinforced concrete frame. In addition to quality of some materials that have not met minimum requirements, the quality of workmanship of building component is also still low. The ties of all building components have not been properly connected.

Keywords: Houses, reinforced concrete, earthquake resistant

Abstrak

Konsep rumah tahan gempa pada dasarnya adalah bahwa seluruh komponen bangunannya harus terikat dengan baik satu sama lain. Selain itu, mutu material dan kualitas pengerjaannya juga harus baik sehingga menghasilkan bangunan yang kuat ketika menerima guncangan. Penelitian ini bertujuan menentukan apakah rumah-rumah di Perumahan Graha Arradea (Tahap 3) di Desa Ciherang, Kec.Dramaga, Kab.Bogor - Jawa Barat dibangun mengikuti prinsip desain rumah tahan gempa. Penelitian dilakukan dengan mengamati langsung proses konstruksi di lokasi perumahan. Setiap tahapan direkam menggunakan kamera digital (Sony Cyber-shot DSC-W730). Wawancara juga dilakukan terhadap pihak-pihak terkait untuk memperoleh informasi akurat. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa rumah-rumah yang dibangun belum memenuhi persyaratan minimal untuk desain rumah tembokan dengan perkuatan beton bertulang tahan gempa. Selain mutu beberapa bahan yang belum memenuhi standar minimal, kualitas pengerjaan komponen bangunan juga masih rendah. Hubungan antara semua komponen bangunan belum tersambung dengan baik.

Kata kunci: Rumah, beton bertulang, tahan gempa

Pendahuluan

Banyaknya korban jiwa akibat gempabumi umumnya disebabkan oleh kegagalan (*failure*) bangunan *non-engineering* (seperti rumah tinggal) (Boen, 2001). Pada peristiwa gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 misalnya, jumlah korban meninggal dunia di lima kabupaten/kota mencapai 4.710 jiwa dengan total kerusakan rumah sebanyak 109.048 unit (rusak total), 99.009 unit (rusak berat dan sedang), dan 202.044 unit rumah (rusak ringan). Kerusakan paling parah

umumnya ditemukan pada rumah tembokan (Raharjo *et al.*, 2007). Gempa 6,2 SR di Nusa Tenggara Barat (NTB) (2004) menyebabkan 587 unit rumah rusak berat, 906 unit rusak sedang, dan 3338 unit rumah rusak ringan (Antonius *et al.*, 2007). Selain itu, gempa Sumatera Barat (7,6 SR) ditanggal 30 September 2009 juga mengakibatkan kerusakan pada lebih dari 140.000 unit rumah tinggal, baik pada rumah kayu maupun rumah tembokan (diperkuat atau tanpa perkuatan beton). Ismail *et al* (2011)

mengklasifikasi tingkat kerusakan bangunan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi kerusakan bangunan (Ismail, 2011)

Level	Deskripsi kerusakan
Ringan	Terdapat retak kecil (0,075 cm s/d 0,6 cm) pada dinding dengan luas cukup besar; Rusak di bagian non-struktur; Struktur utama tidak rusak; 30% bangunan rusak.
Sedang	Terdapat retak besar (> 0,6 cm); Retak pada kolom dan balok; Struktur pemikul beban rusak sebagian; Sebagian dinding roboh; 30 - 70% bangunan rusak.
Berat	Dinding pemikul beban terbelah dan runtuh; Bangunan terpisah akibat kegagalan unsur pengikat; > 50% struktur utama rusak; Sebagian besar dinding roboh; > 70% bangunan rusak.

Tipikal kerusakan akibat gempa pada rumah tinggal yaitu retak/hancur disekitar bukaan dinding, retak arah diagonal pada dinding, dan robohnya dinding. Selain itu juga sering ditemukan penutup atap dan rangka atap yang terlepas (Gambar 1a), sambungan antara balok dan kolom hancur, beton pada balok dan kolom terkelupas dan hancur (Gambar 1b), dan kolom patah di sambungan dengan balok pondasi.

Penelitian yang dilakukan Antonius *et al* (2007) menyimpulkan bahwa kerusakan yang terjadi pada rumah tinggal akibat gempa tersebut disebabkan terutama karena kualitas pengerjaan yang kurang baik oleh pekerja/tukang sehingga struktur yang dibangun menjadi tidak kokoh dan tidak cukup kuat ketika menahan guncangan. Pendapat ini sejalan dengan penelitian Dardiri (2012) bahwa kurangnya pengetahuan tukang mengenai teknik pelaksanaan konstruksi yang benar menjadi penyebab buruknya kualitas struktur bangunan. Selain itu, penelitian Boen (2010) menambahkan bahwa kerusakan juga disebabkan oleh mutu bahan yang rendah.

Kerusakan-kerusakan akibat gempa tersebut pada dasarnya dapat dihindari jika rumah dibangun dengan benar mengikuti konsep desain rumah yang tahan gempa. Departemen Pekerjaan Umum (PU) telah mengeluarkan buku saku tentang persyaratan pokok untuk rumah tembokan yang lebih aman. Boen (2010) juga mengeluarkan panduan untuk membangun rumah tembokan yang tahan gempa di Indonesia. Meskipun demikian, masih tetap jarang masyarakat yang menerapkan konsep rumah tahan gempa dalam membangun rumah tinggal mereka. Penelitian ini mencoba melakukan pengamatan terhadap proses konstruksi rumah di perumahan Graha Arradea (Tahap 3) di Desa Ciherang, Kabupaten Bogor, Propinsi Jawa Barat. Tujuan dari penelitian adalah untuk menentukan apakah

rumah-rumah di perumahan komersil ini telah dibangun mengikuti prinsip desain rumah tahan gempa.



(a)



(b)

Gambar 1. Kerusakan akibat gempa, (a) penutup atap terlepas; (b) beton pada kolom hancur. (Raharjo *et al.*, 2007; Boen, 2007)

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengamati langsung (observasi) proses konstruksi rumah di perumahan Graha Arradea (Tahap 3) di Kecamatan Dramaga Kabupaten Bogor, Propinsi Jawa Barat. Setiap tahap kegiatan direkam melalui pemotretan dengan menggunakan sebuah kamera digital (Sony Cyber-shot DSC-W730). Selain itu juga dilakukan wawancara terhadap pihak-pihak yang terkait guna mendapatkan informasi yang berhubungan dengan proses pembangunan rumah-rumah tersebut.

Secara garis besar, kegiatan observasi dilakukan terhadap tiga aspek berikut ini yang sekaligus menjadi dasar pembangunan rumah tahan gempa (Boen, 2010), yaitu: (1) kualitas material bangunan yang digunakan (harus baik), (2) kualitas/mutu pengerjaan (harus baik dan benar), dan (3) seluruh komponen/elemen bangunan harus tersambung menjadi satu kesatuan. Beberapa yang termasuk

kedalam kategori komponen bangunan tersebut yang kemudian menjadi objek pengamatan yaitu hubungan antara dinding dan kolom, hubungan antara kolom dan balok; hubungan antara pondasi dan balok pondasi. Hasil yang diperoleh kemudian dianalisa dan dijelaskan secara deskriptif kualitatif.

Hasil dan Pembahasan

Material yang digunakan

Material konstruksi yang digunakan diperoleh dari suplier lokal setempat. Sama seperti pembuatan rumah tinggal pada umumnya, rumah-rumah yang terdapat di perumahan Graha Arradea Tahap 3 ini juga menggunakan material berupa bata merah (untuk konstruksi dinding), pasir, kerikil, semen *Portland* (jenis *composite* (PCC) yang banyak beredar di pasaran), besi tulangan, papan cor, dan juga baja ringan konstruksi rangka atap.

Penggunaan bata merah sebagai material pengisi dinding mampu menghasilkan mutu dinding yang baik. Dinding bata merah mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap ketahanan lateral struktur beton bertulang (Tanjung *et al.*, 2016). Meskipun demikian, kualitas bahan ini perlu diperhatikan sebelum digunakan. Bata merah berkualitas baik akan lebih keras dan tahan api, serta tahan terhadap bahaya pelapukan. Menurut Boen (2010) kriteria batu bata untuk rumah tahan gempa yaitu: minimal berdimensi 200x100x50 mm, berukuran seragam, tidak mudah pecah/retak, permukaannya rata/tidak melengkung, serta dibakar dengan sempurna.

Pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa bata merah yang digunakan sebagiannya terdapat retak-retak/pecah-pecah dan hampir seluruhnya memiliki permukaan yang tidak halus (kasar). Ukuran bata tersebut bervariasi (tidak seragam) dengan ukuran panjang ± 170 mm, lebar ± 85 mm dan tebal ± 45 mm. Dimensi ini lebih kecil dari yang disyaratkan SNI 15-2094-2000 (Tabel 2) dan Boen (2010). Selain itu, sebagian batu bata tersebut memiliki warna kehitaman seperti di Gambar 2, yang menandakan terjadi proses pembakaran tidak sempurna selama pembuatannya. Temperatur pembakaran bata merah harus mencapai 1000°C (Indra *et al.*, 2013). Meskipun nilai kekuatan dan tingkat kekerasan batu bata paling tepat ditentukan dengan cara pengujian di laboratorium, tetapi retak dan pecah yang terlihat jelas secara visual ini menunjukkan bahwa mutu bata merah yang digunakan tersebut tidak baik. Beberapa bata yang diambil secara acak bahkan dapat dipatahkan dengan tangan.

Pasir (agregat halus) dan kerikil (agregat kasar) yang digunakan untuk campuran beton (Gambar 3)

tidak disyaratkan mempunyai spesifikasi tertentu (sama seperti pasir dan kerikil yang digunakan untuk rumah hunian pada umumnya). Pengujian laboratorium tidak dilakukan untuk mengetahui karakteristik pasir maupun kerikil yang digunakan tersebut (misalnya kadar lumpur dalam agregat, kadar air, kandungan bahan organik, dan lain-lain) yang dapat mempengaruhi kualitas/mutu beton yang dihasilkan. Penggunaan material yang tidak terkontrol seperti ini dapat berpengaruh terhadap kualitas rumah yang dibangun.

Tabel 2. Dimensi batu bata

Modul	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)
M-5a	65 \pm 2	90 \pm 3	190 \pm 4
M-5b	65 \pm 2	100 \pm 3	190 \pm 4
M-6a	52 \pm 3	110 \pm 4	230 \pm 4
M-6b	55 \pm 3	110 \pm 6	230 \pm 5
M-6c	70 \pm 3	110 \pm 6	230 \pm 5
M-6d	80 \pm 3	110 \pm 6	230 \pm 5

Sumber: SNI 15-2094, 2000



Gambar 2. Bentuk bata merah yang digunakan



Gambar 3. Pasir dan kerikil yang digunakan untuk campuran beton

Pasir dan kerikil idealnya harus terbebas dari bahan-bahan organik dan juga lumpur/tanah agar bangunan memiliki kualitas yang baik. Kandungan lumpur maksimum dalam agregat halus yang diperbolehkan untuk campuran beton adalah

sebesar 3% seperti yang dinyatakan dalam standar ASTM C33 (*American Society for Testing and Materials*). Kandungan lumpur yang terlalu tinggi dalam agregat akan membutuhkan lebih banyak semen untuk mendapatkan beton dengan kuat tekan yang sama. Selain itu, kadar lumpur yang tinggi juga akan mengubah rasio campuran adukan beton karena sifat dari lumpur tersebut yang dapat menyerap banyak air.

Komponen bangunan dan mutu pengerjaan

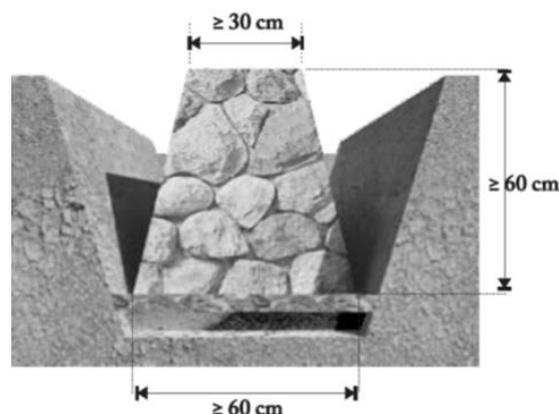
Secara keseluruhan, jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi pelat beton (Gambar 4) meskipun di beberapa unit rumah juga digunakan kombinasi dengan pondasi batu kali. Sebelum dicor, pondasi diberikan tulangan supaya pelat beton tidak mudah retak dan memiliki kekuatan yang cukup untuk menerima/menahan beban. Pengadukan campuran beton untuk pondasi tidak dilakukan secara manual oleh pekerja tetapi dengan menggunakan mesin pengaduk (molen). Pengadukan dengan molen terbukti dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengadukan secara manual (Mulyati *et al.*, 2017). Selain itu, proses pengecoran hanya mengandalkan pengalaman pekerja dan tanpa mempertimbangkan perbandingan antara semen, pasir, dan kerikil.



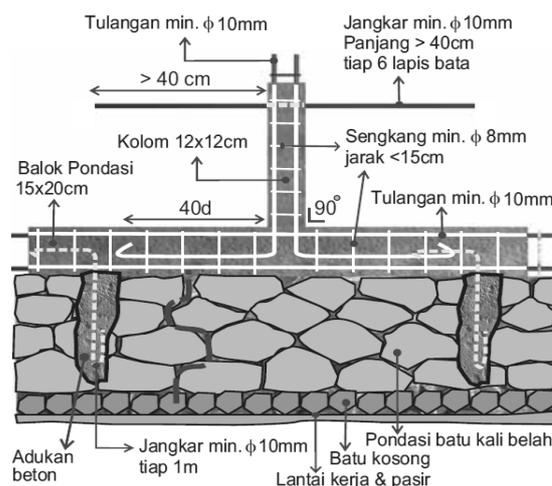
Gambar 4. Pondasi pelat beton

Penggunaan tipe pondasi pelat beton dinilai tidak cukup kuat untuk menahan beban lateral gempa. Pondasi jenis ini tidak mempunyai daya cengkram yang kuat kedalam tanah sehingga meningkatkan resiko rumah mengalami kerusakan. Jenis pondasi yang direkomendasikan oleh para ahli untuk rumah tinggal adalah pondasi batu kali. Pondasi ini dinilai cocok untuk bangunan rumah tinggal sederhana. *Japan International Cooperation Agency* (JICA) melalui proyek kerjasamanya dengan Departemen PU merekomendasikan pondasi batu kali sebagai persyaratan minimal untuk rumah sederhana tahan gempa (Gambar 5). Detail lebih lengkap pondasi ini ditunjukkan seperti pada Gambar 6.

Berdasarkan pengamatan lapangan, tulangan utama balok dan tulangan utama kolom berdiameter 8 mm, sedangkan tulangan sengkang berdiameter 6 mm. Penggunaan ukuran diameter tersebut lebih kecil dari ukuran diameter tulangan minimal yang disyaratkan untuk rumah tahan gempa. Desain rumah tinggal sederhana tahan gempa setidaknya harus menggunakan tulangan berdiameter 10 mm dan 8 mm masing-masing untuk tulangan utama dan tulangan sengkang (baik pada kolom maupun balok) (Boen, 2009). Menurut Subagiyo *et al.* (2016) tulangan (besi) ulir dengan diameter 10 mm memiliki nilai kuat tarik sebesar 670 N/mm².



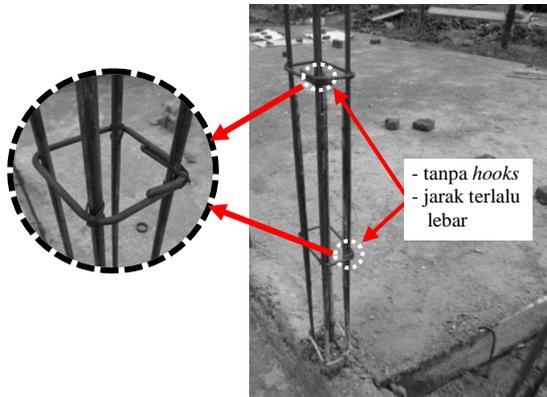
Gambar 5. Ukuran pondasi batu kali (Departemen PU & JICA, 2009)



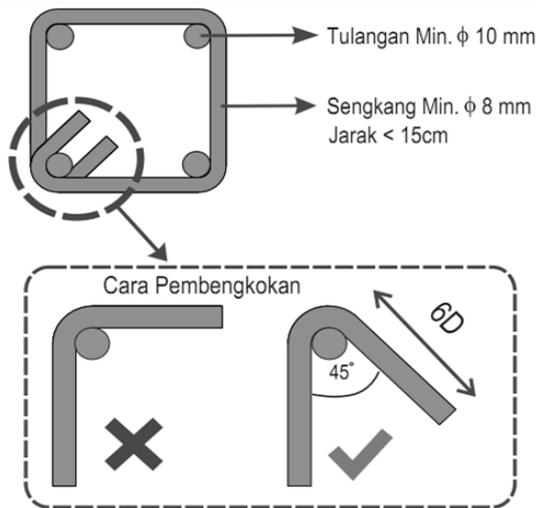
Gambar 6. Syarat minimal pondasi rumah tahan gempa (Boen, 2009)

Tulangan sengkang yang digunakan tidak memiliki tambahan bengkokan (*hooks*) di kedua ujungnya. Selain itu, jarak antara dua tulangan sengkang juga terlalu jauh yaitu berkisar antara 20 cm sampai 40 cm (lihat Gambar 7). Desain rumah tahan gempa mensyaratkan jarak antara dua tulangan sengkang sebaiknya tidak melebihi 15 cm dan panjang *hooks* minimal adalah enam kali diameter (6D) seperti ditunjukkan pada Gambar 8 (Boen, 2009). Jarak

antara tulangan sengkang yang terlalu lebar/besar dapat menurunkan kapasitas tahanan geser pada kolom dan juga balok. Sebaliknya, semakin rapat jarak sengkang maka beton akan ter-*confined* dengan baik sehingga kekakuan kolom semakin tinggi (Ismail, 2010a).



Gambar 7. Penulangan kolom yang buruk

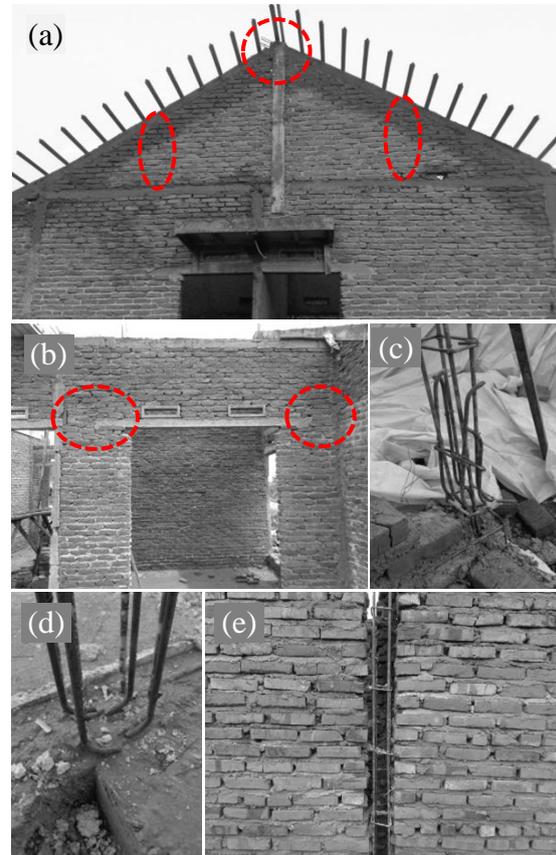


Gambar 8. Detail sengkang untuk rumah tahan gempa (Boen, 2009)

Gambar 9 memperlihatkan komponen-komponen bangunan tidak tersambung dengan baik. Dinding amping tidak memiliki tambahan kolom praktis yang terhubung ke balok. Kondisi seperti ini akan membuat dinding amping lebih mudah mengalami kerusakan saat gempa karena tidak lebih kaku jika dibandingkan dengan menggunakan kolom praktis. Selain itu, penulangan di titik sambungan balok dan sambungan balok ke kolom pada dinding ini tidak memiliki tambahan bengkokan besi tulangan yang dapat menambah kekuatan ikatan sambungan tersebut (Gambar 9a).

Balok lintel yang berada di atas pasangan kusen tidak terhubung ke kolom pada kedua ujungnya (Gambar 9b). Balok seperti ini tidak berkontribusi menambah kekakuan lateral struktur melainkan

hanya menjadi beban pada kusen jendela yang ada dibawahnya. Balok lintel harus tersambung dengan baik ke kolom untuk menambah kapasitas struktur dalam menahan beban.

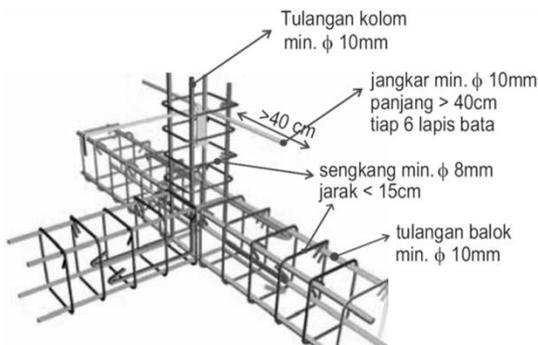


Gambar 9. Komponen bangunan tidak tersambung dengan baik

Gambar 9c dan 9d memperlihatkan penulangan sambungan yang buruk antara kolom dan balok pondasi. Penulangan seperti di Gambar 9c sangat berantakan dengan tulangan kolom yang bengkok dan posisi sengkang yang tidak teratur. Kondisi penulangan seperti ini harus dihindari karena tidak akan menciptakan sebuah bangunan yang kokoh. Sambungan lewatan (*lap splice*) tulangan kolom umumnya juga dijumpai di daerah sendi plastis (pangkal kolom) sehingga dapat mengakibatkan berkurangnya kapasitas deformasi inelastik dari struktur bangunan (Wijaya *et al.*, 2014). Selain itu, kolom dengan penulangan yang tidak terhubung ke balok seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9d cenderung akan mudah terlepas ketika menerima beban gempa. Akibatnya, keseluruhan bangunan akan roboh dan membahayakan para penghuninya. Tipikal penulangan sambungan balok pondasi ke kolom untuk rumah tahan gempa diusulkan seperti pada Gambar 10.

Berdasarkan pengamatan dilapangan, kolom dan dinding juga tidak terhubung (Gambar 9e). Kondisi

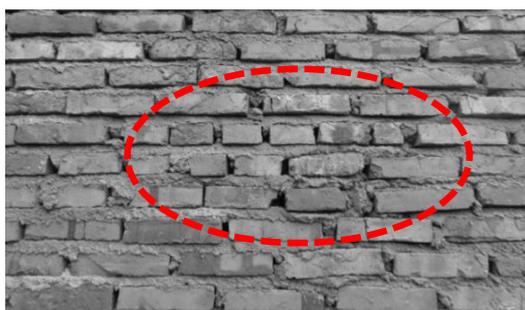
seperti ini umum dijumpai pada rumah tinggal masyarakat Indonesia. Untuk desain rumah tahan gempa, dinding dan kolom harus dihubungkan dengan cara menempatkan jangkar besi/angkur (diameter minimal 10 mm dan panjang lebih dari 40 cm) pada setiap 6 lapis bata (Boen, 2009).



Gambar 10. Detail penulangan sambungan balok pondasi dan kolom (Boen, 2009)

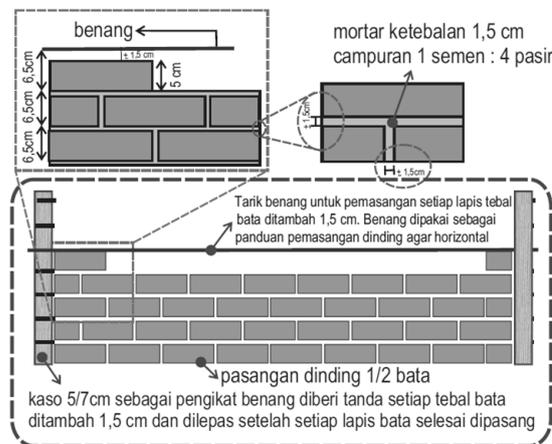
Keberadaan angkur tersebut dapat meningkatkan perkuatan hubungan antara dinding bata dengan kolom (Ismail, 2010b). Akan tetapi, penggunaan tambahan besi tulangan yang dipasang horizontal menembus pada kedua kolom di kedua sisi dinding bata tersebut akan jauh lebih baik karena dapat menambah kapasitas disipasi energi, kekakuan, dan kapasitas simpangan horizontal dinding tersebut (Bachroni, 2013).

Kualitas pengerjaan dinding pada beberapa rumah diperlihatkan seperti pada Gambar 11. Bata merah dengan ukuran yang tidak sempurna (patah) tetap dipakai sehingga membuat pasangan bata menjadi tidak teratur. Dengan kondisi ini, batu bata yang berada di posisi atas tidak berfungsi sempurna mengikat bata yang berada dibawahnya sehingga membuat dinding menjadi tidak kokoh. Selain itu, mortar semen juga tidak terisi sempurna disetiap jarak antara bata sehingga tidak terbentuk ikatan yang kuat antara bata yang satu dan yang lainnya. Mortar pengisi diantara setiap bata disyaratkan mempunyai ketebalan 1,5 cm dengan campuran adukan 1 semen : 4 pasir (Boen, 2009).



Gambar 11. Penggunaan bata merah dengan ukuran yang tidak standar pada bagian dinding

Ketebalan dan perbandingan adukan campuran mortar seperti ini mampu membentuk dinding dengan kuat geser sebesar 0.39 MPa (Purnomo, 2016). Boen (2009) menyarankan pasangan dinding bata merah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Tipikal pemasangan dinding bata untuk rumah sederhana tahan gempa (Boen, 2009)

Pengecoran balok dan juga kolom dilakukan secara manual oleh pekerja (Gambar 13). Dengan hanya mengandalkan pengalaman, pekerja melakukan pengecoran ini juga tanpa mempertimbangkan rasio campuran antara bahan semen, pasir, dan kerikil seperti pada proses pengecoran pondasi. Pengecoran seperti ini berpotensi menghasilkan beton dengan mutu yang rendah sehingga akan mempengaruhi kekuatan struktur bangunan yang dihasilkan.



Gambar 13. Pengadukan beton secara manual oleh pekerja

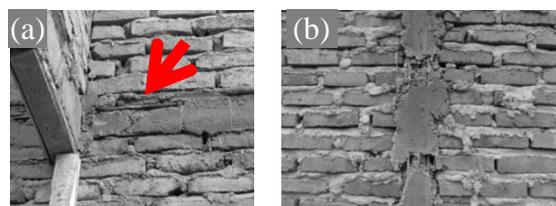
Hal ini akan berdampak pada mutu beton yang dihasilkan. Beton yang digunakan untuk rumah tahan gempa setidaknya memiliki kuat tekan 150 kg/cm² yang dapat diperoleh dari rasio adukan 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil (Boen, 2009). Beberapa penelitian membuktikan bahwa penggunaan rasio campuran tersebut dapat menghasilkan beton

dengan nilai kuat tekan lebih dari 150 kg/cm², seperti diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kuat tekan kubus beton dengan campuran 1:2:3

Kuat tekan (kg/cm ²)	Referensi
174,29	Mulyati <i>et al.</i> , 2015
182,96	Rohman, 2016
183,33	Rahmadianty <i>et al.</i> , 2017
193,10	Ismail, 2009
214,10	Sari <i>et al.</i> , 2015
229,39	Mukhlis <i>et al.</i> , 2013

Selain perbandingan adukan, kualitas pengerjaan pengecoran beton untuk balok dan kolom masih rendah. Tulangan utama balok dan kolom dapat terlihat dengan jelas setelah dicor, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 14.



Gambar 14. (a) Tulangan utama pada elemen balok, (b) Tulangan utama yang terlihat jelas pada elemen kolom



Gambar 15. Beton tidak padat serta banyak rongga udara pada balok pondasi

Beton yang dihasilkan juga tidak padat (Gambar 15) sehingga mudah menjadi keropos. Balok dan kolom seperti ini tidak akan berfungsi optimal dalam menopang beban meskipun kemudian beton tersebut ditutup kembali dengan adukan mortar (*grouting*) (Gambar 16). Penelitian yang dilakukan Firmansyah *et al* (2013) menyimpulkan bahwa balok beton keropos dan yang telah di-*grouting* mengalami penurunan kekuatan lentur masing-masing sebesar 20% dan 13,33% dari balok normal yang padat dan tanpa keropos. Selain itu, resiko

berkaratnya tulangan juga sangat mungkin terjadi dengan masuknya air melalui celah-celah pada beton keropos sehingga menyebabkan kekuatan struktur bangunan menjadi semakin berkurang.



Gambar 16. Tulangan kolom yang terlihat ditutupi dengan adukan mortar (*grouting*)

Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa rumah-rumah di perumahan Graha Arradea (Tahap 3) dibangun belum mengikuti prinsip desain untuk rumah tahan gempa. Kualitas beberapa material yang digunakan belum sesuai dengan persyaratan dan standar minimal untuk rumah yang tahan gempa. Mutu pengerjaan komponen bangunan masih rendah. Hubungan antar komponen struktural bangunan juga belum mengikuti detail sambungan yang baik untuk rumah tahan gempa.

Daftar Pustaka

- Antonius, Adhy, D. S., & Ruslan. (2007). *Kajian Faktor-faktor yang Mempengaruhi Tingkat Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Bumi (Studi Kasus Gempa di NTB 2004)*. dalam Seminar Nasional Teknik Sipil III 2007 (pp. 1-8), Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- Bachroni, C. B. (2013). Pengaruh penambahan baja tulangan horizontal pada dinding pasangan bata merah terkekang. *Jurnal Permukiman*, 8(1), 1-12.
- Boen, T. (2001, December). *Earthquake Resistant Design of Non-engineered Buildings in Indonesia*. In EQTAP Conference IV (pp.1-34), Earthquake Disaster Mitigation (EDM), Kamakura, Japan.
- Boen, T. (2007, March 6). *West Sumatra Earthquake: Structural Damage Report*, dalam

- Seminar Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI) 2007 (pp.1-30), Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- Boen, T. (2009). *Constructing seismic resistant masonry houses* (3rd ed) Nagoya: United Nation Centre for Regional Development (UNCRD).
- Boen, T. (2010). *Membangun rumah tembok tahan gempa*. Singapore: World Seismic Safety Initiative (WSSI).
- Dardiri, A. (2012). Analisis pola, jenis, dan penyebab kerusakan bangunan gedung sekolah dasar. *Jurnal Teknologi dan Kejuruan*, 35(1), 71-80.
- Departemen P. U., J. I. C. A. (2009). *Buku saku: persyaratan pokok rumah yang lebih aman, bangunan tembok dengan bingkai beton bertulang*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum & JICA.
- Firmansyah & Nadia. (2013). Studi analisis lentur balok yang mengalami proses pengeroposan beton tinjauan daerah lapangan. *Jurnal Konstruksia*, 5(1), 25-32.
- Indra, A., Nurzal, & Nofrianto, H. (2013). Pengaruh temperatur pembakaran pada komposit lempung/silika RHA terhadap sifat fisis (aplikasi pada bata merah). *Jurnal Teknik Mesin*, 3(2), 60-65.
- Ismail, F. A. (2009). Studi kuat tekan beton campuran 1:2:3 berdasarkan lokasi pengambilan agregat di Sumatera Barat. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 5(2), 1-12.
- Ismail, F. A. (2010a). Pengaruh variasi jarak sengkang kolom untuk rumah sederhana terhadap beban gempa di Padang. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 6(2), 7-18.
- Ismail, F. A. (2010b). Studi pengaruh pemasangan angkur dari kolom ke dinding bata pada rumah sederhana akibat beban gempa. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 6(1), 37-44.
- Ismail, F. A., Hakam, A., & Fauzan. (2011). Kerusakan bangunan hotel bumi minang akibat gempa Padang 30 September 2009. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(1), 1-8.
- Mukhlis & Yelvi. (2013). Pengaruh beberapa jenis pasir terhadap kekuatan beton. *Poli Rekayasa*, 9(1), 49-55.
- Mulyati & Herman. (2015). Komposisi dan kuat tekan beton pada campuran portland composite cement, pasir dan kerikil sungai dari beberapa quarry di Kota Padang. *Jurnal Momentum*, 17(2), 34-38.
- Mulyati, Aulia, F. (2017). Pengaruh metode pengadukan beton terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 4(1), 42-46.
- Purnomo, P. (2016). Efek variasi ketebalan mortar pumice breccia terhadap kuat geser pasangan bata merah. *Skripsi*, Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Raharjo, F., Arfiadi, Y., Lisantono, A., & Wibowo, F. X. N. (2007). *Pelajaran dari Gempa Bumi Yogyakarta 27 Mei 2006*, dalam Konferensi Nasional Teknik Sipil 1 (KoNTekS 1) (pp.307-318), Universitas Atma Jaya, Yogyakarta, Indonesia.
- Rahmadiany, L., Mazaya, H., Purwanto, D., & Adi, R. Y. (2017). Analisa campuran beton dengan perbandingan volume dan pengamatan karakteristik beton mutu sedang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(2), 55-69.
- Rohman, R. K. (2016). Kuat tekan beton campuran 1:2:3 dengan agregat lokal sekitar Madiun. *Pilar Teknologi*, 1(1), 36-41.
- Sari, R. A. I., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2015). Pengaruh jumlah semen dan fas terhadap kuat tekan beton dengan agregat yang berasal dari sungai. *Jurnal Sipil Statik*, 3(1), 68-76.
- SNI 15-2094. (2000). Bata Merah Pejal untuk Pasangan Dinding, Standar Nasional Indonesia, *Badan Standardisasi Nasional (BSN)*, Jakarta, Indonesia.
- Subagiyo, Sarjiyana, & Wirawan. (2016). *Analisis Kekuatan Tarik Besi Beton Ulir berdasarkan Diameternya*, dalam Seminar Nasional Terapan Teknologi (pp.97-101), Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia.
- Tanjung, J, & Maidiawati. (2016). Studi eksperimental tentang pengaruh dinding bata merah terhadap ketahanan lateral struktur beton bertulang. *Jurnal Teknik Sipil*, 23(2), 99-106.
- Wijaya, D., & Surbakti, B. (2014). Evaluasi kinerja struktur bangunan yang menggunakan sambungan leawatan (*lap splices*) pada ujung kolom. *Jurnal Teknik Sipil USU*, 3(3), 1-9.