

KAJIAN PENGGUNAAN FERRO-CEMENT UNTUK RETROFIT KOLOM BETON BERTULANG DENGAN VARIASI TINGKAT PEMBEBANAN

Titik Penta Artiningsih

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan, Bogor

Jl. Pakuan PO Box 452, Ciheuleut, Bogor 16144

email : titikpenta@yahoo.com

Abstract: Building collapse that occurred mostly caused by structure failure in containment earthquake load, especially column element. Factors that lead to the failure of the column, among others is column planning that does not calculate ductility or restraint, resulting decline of column performance. One way to improve column strength and ductility are to retrofit the column by wrapping columns using ferro-cement. Research aims to discover the increase amount of axial load capacity from concrete column that has been retrofitted using fine-mesh. Experimental tests carried out on seven short column specimen with a square cross-section sized 120x120 mm and 600 mm high. Column test object are given axial load concentric with variations in loading rate 60%, 70%, and 80% of the maximum axial load. Then, column is retrofitted by being covered with ferro-cement, after that column are given axial load up to collapse. From the test results, column are obtained increased capacity in axial load after being retrofitted in the amount of 34.96%, 28.17%, and 22.87% with variations loading rate in 60%, 70%, and 80%.

Keywords: column, axial load concentric, retrofit, fine-mesh

Abstrak: Keruntuhan bangunan yang terjadi banyak disebabkan oleh kegagalan struktur memikul beban gempa, terutama elemen struktur kolom. Faktor yang mengakibatkan kegagalan kolom antara lain perancangan kolom yang tidak memperhitungkan daktilitas atau pengekangan, sehingga kinerja kolom menurun. Salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan dan daktilitas kolom existing pada struktur bangunan adalah me-retrofit kolom tersebut dengan cara membungkus kolom menggunakan ferro-cement. Penelitian bertujuan mengetahui besar kenaikan kapasitas beban aksial kolom beton yang di-retrofit menggunakan ferro-cement. Pengujian eksperimental dilakukan terhadap dua variasi kolom, yaitu kolom pendek dan kolom langsing penampang persegi 100x100 mm, dengan tinggi masing-masing adalah 600 dan 800 mm. Jumlah benda uji masing-masing variasi kolom adalah 4 buah. Benda uji kolom diberi beban aksial dengan variasi tingkat pembebanan 60%, 70%, 80%, dan 100% dari beban aksial maksimum. Kolom kemudian di-retrofit dengan cara dibungkus ferro-cement, dan selanjutnya kolom diberi beban aksial hingga runtuh. Dari hasil pengujian terhadap kolom pendek diperoleh peningkatan kapasitas beban aksial pada kolom setelah di-retrofit, yaitu sebesar 34,96%, 28,17%, dan 22,87% pada variasi tingkat pembebanan 60%, 70%, dan 80%.

Kata kunci: : kolom, beban aksial konsentris, retrofit, ferro-cement

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang terletak di wilayah gempa aktif. Akibat gempa, banyak bangunan rumah tinggal (bangunan tidak bertingkat tinggi), terutama bangunan lama yang tidak direncanakan menerima beban gempa, mengalami kerusakan. Tetapi secara struktur bangunan belum hancur karena kolom masih berdiri, sehingga bangunan masih bisa diperbaiki. Bangunan-bangunan yang masih berdiri pasca gempa memperlihatkan berbagai

macam kerusakan fisik bangunan. Kerusakan mulai dalam bentuk retak sampai hancur.

Salah satu metode peningkatan daya tahan kolom adalah dengan sistem perkuatan atau *retrofit*. Menurut Tumialan (2001), metode *retrofit* konvensional dapat dibagi menurut masalah yang dihadapi, yaitu perbaikan kerusakan (*repair damage*) atau peningkatan mutu struktur (*strengthening-upgrading*). Metode perbaikan kerusakan dalam bentuk retak, antara lain dengan cara penambalan (*filling*) dan injeksi *voids* menggunakan *epoxy* atau *grouting*. Se-

dangkan perkuatan (*strengthening*) atau peningkatan mutu (*upgrading*) menggunakan metode *grouting* dengan bahan *portland cement non-shrink* dan *epoxy*, perkuatan luar (*external reinforcement*) dengan pelat baja, atau perkuatan dengan pelapisan (*surface coating*) menggunakan pasta semen atau *shot-crete*.

Menurut El-Dakhkhni (2004), metode *retrofit* lain yaitu dengan konsep penambahan massa dan kekakuan sehingga menyebabkan portal kolom-balok berada pada taraf kapasitas gaya gempa yang lebih besar. Metode ini dianggap tidak praktis dan penggunaannya terbatas pada jenis struktur tertentu karena membutuhkan keahlian dalam pelaksanaan, dan biaya tinggi.

Sejalan dengan perkembangan teknologi bahan, kini ada *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) sebagai alternatif bahan *retrofit*. Terdapat tiga macam FRP, yaitu *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP), atau *Aramid Fiber Reinforced Polymer* (AFRP). Kelebihan FRP adalah memiliki ketebalan yang tipis, rasio kekuatan terhadap beratnya yang relatif besar, kekakuan yang tinggi, dan mudah dalam pelaksanaannya. FRP yang ada saat ini masih diproduksi di luar negeri, sehingga harganya masih tinggi. Selain itu FRP hanya bisa didapat di kota besar, sehingga penggunaannya belum umum. Karena itu perlu dipikirkan alternatif bahan *retrofit* yang biayanya lebih rendah, mudah didapat, mudah dikerjakan, dan waktu pengerjaannya cepat. Salah satu material pengganti FRP adalah *ferro-cement*. *Ferro-cement* adalah campuran mortar dan *fine-mesh*. *Fine-mesh* adalah jaring kawat baja dengan diameter yang bervariasi disusun membentuk *grid* dengan dimensi *grid* yang bervariasi pula.

TINJAUAN PUSTAKA

Kerusakan dan Metode Perbaikan Struktur

Penentuan metode dan material perbaikan elemen struktur umumnya tergantung pada jenis kerusakan yang ada, besarnya kerusakan, lingkungan, peralatan yang tersedia, kemudahan pelaksanaan, waktu pelaksanaan, dan biaya perbaikan. Jenis kerusakan yang sering terjadi adalah kerusakan berupa keretakan dan *spalling* (terlepasnya bagian beton).

- a Keretakan
Keretakan dibedakan retak struktur dan non-struktur. Retak struktur umumnya terjadi pada elemen struktur beton bertulang, sedang retak non-struktur terjadi pada dinding bata atau dinding non-beton lainnya. Untuk retak non-struktur, dapat digunakan metode injeksi dengan material pasta semen yang dicampur dengan *expanding agent* serta latex atau hanya melakukan *sealing* saja dengan material *polymer mortar* atau *polyurethane sealant*. Sedang pada retak struktur, digunakan metode injeksi dengan material *epoxy* yang mempunyai viskositas yang rendah, sehingga dapat mengisi dan sekaligus melekatkan kembali bagian beton yang terpisah. Proses injeksi dapat dilakukan secara manual maupun dengan mesin yang bertekanan, tergantung pada lebar dan dalamnya keretakan.
- b *Spalling*
Metode perbaikan pada kerusakan *spalling*, tergantung pada besarnya *spalling* yang terjadi, yaitu metode *patching* untuk *spalling* yang tidak terlalu dalam, dan metode *grouting* untuk *spalling* yang melebihi selimut beton, yaitu metode perbaikan dengan melakukan pengecoran memakai bahan *non-shrink mortar*.

Metode Perkuatan Struktur

Dalam pemilihan metode perkuatan, juga harus diperhatikan beberapa hal yaitu kapasitas struktur, lingkungan, peralatan yang tersedia, kemampuan tenaga pelaksana, kemudahan pelaksanaan, waktu pelaksanaan, dan biaya perkuatan. Metode perkuatan yang umumnya dilakukan adalah:

- a Memperpendek bentang dari struktur, dengan tujuan memperkecil gaya-gaya dalam yang terjadi, tetapi harus dianalisis ulang akibat dari perpendekan bentang yang menyebabkan perubahan dari gaya-gaya dalam tersebut. Umumnya dilakukan dengan menambah balok atau kolom
- b Memperbesar dimensi konstruksi, umumnya digunakan beton sebagai material untuk memperbesar dimensi struktur. Akibat dari penambahan dimensi tersebut, maka harus diperhatikan bahwa beban bangunan bertambah, sehingga harus dilakukan analisis secara menyeluruh

- c Menambah pelat baja untuk menambah kekuatan pada bagian tarik dari struktur bangunan. Penambahan pelat baja tersebut harus dijamin bahwa pelat baja menjadi satu kesatuan dengan struktur yang ada
- d Melakukan *external prestressing*. Dengan metode ini, kapasitas struktur ditingkatkan dengan melakukan *prestress* di luar struktur, bukan di dalam seperti pada struktur baru
- e Menggunakan FRP (*Fibre Reinforced Polymer*). Prinsip penambahan FRP sama seperti penambahan pelat baja, yaitu menambah kekuatan di bagian tarik dari struktur
- f Menggunakan *self Compacting Concrete* (SCC), yaitu beton segar yang sangat plastis dan mudah mengalir karena berat sendirinya. Pemakaian beton SCC sebagai material *repair* dapat meningkatkan kualitas beton, karena dapat menghindari potensi kesalahan manusia akibat *manual compaction*. SCC pada struktur beton *repair* menjadi lebih padat terutama pada daerah pembesian yang sangat rapat, dan waktu pelaksanaan pengecoran juga lebih cepat.

Sistem Retrofit

Secara umum, *retrofit* suatu struktur merupakan upaya peningkatan kekuatan untuk dapat memikul beban seperti yang direncanakan. Konsep ini berbeda dengan konsep perbaikan struktur yang bertujuan untuk mengembalikan fungsi struktur sedikala pasca kerusakan. Dampak positif yang ditimbulkan akibat *retrofit* adalah terjadinya peningkatan respon struktur terhadap pembebanan dan lingkungan, seperti: peningkatan kekuatan, kekakuan, kestabilan, ketahanan terhadap kebakaran, korosi, dan agresivitas lingkungan lainnya.

Pekerjaan *retrofit*, selain dilakukan atas pertimbangan prevensi struktur terhadap efek gaya gempa, juga dapat dilakukan untuk berbagai hal, seperti ketidaksesuaian antara perencanaan dan pelaksanaan, serta perubahan fungsi struktur.

Bahan Retrofit

Salah satu bahan *retrofit* yang sering digunakan pada elemen struktur adalah pelat baja mutu normal. Bahan ini telah banyak diteliti, terutama untuk komponen balok, kolom, ataupun panel, dan hasilnya menunjukkan efek positif

terhadap kekuatan dan daktilitas komponen struktur tersebut (Taghadi, 2000).

Sejalan dengan perkembangan teknologi, ditemukan alternatif bahan *retrofit* berupa serat yaitu *fiber reinforced polymer* (FRP). Bahan ini berkembang penggunaannya di bidang industri, ruang angkasa, otomotif, perkapalan, dan fasilitas olahraga. Bahan FRP ini memiliki sifat yang khas dimiliki bahan lain, sehingga memiliki potensi untuk dikembangkan penggunaannya pada bangunan, khususnya gedung. Penggunaan FRP sebagai bahan perkuatan komponen struktur dimulai sejak tahun 1990an.

Keunggulan penggunaan FRP sebagai bahan perkuatan komponen struktur, yaitu meningkatkan kapasitas lentur pada balok maupun pelat, kapasitas geser pada balok, serta kapasitas aksial dan geser pada kolom. Terdapat tiga macam FRP, yaitu *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP), atau *Aramid Fiber Reinforced Polymer* (AFRP). Kelebihan FRP dibandingkan bahan *retrofit* lain adalah memiliki ketebalan yang tipis, rasio kekuatan terhadap beratnya yang relatif besar, kekakuan yang tinggi, dan mudah dalam pelaksanaannya.

FRP yang ada saat ini masih diproduksi di luar negeri, sehingga harganya relatif tinggi. Selain itu FRP hanya bisa didapat di kota besar, sehingga penggunaannya belum umum. Karena itu perlu dipikirkan alternatif bahan *retrofit* dengan biaya yang lebih rendah, mudah didapat, mudah dikerjakan, dan waktu pengerjaannya cepat. Salah satu material pengganti FRP adalah *ferro-cement*. *Ferro-cement* adalah campuran mortar dan *fine-mesh*. *Fine-mesh* adalah jaring kawat baja halus dengan diameter bervariasi tetapi kurang dari 4 mm, disusun membentuk *grid* dengan dimensi *grid* yang bervariasi pula. Kawat terbuat dari baja, sehingga mempunyai kekuatan tarik dan tekan yang tinggi, serta berdiameter halus sehingga lebih mudah dibentuk dibandingkan dengan *wire-mesh*.

Studi Penelitian Lain

Penelitian tentang *retrofit* terhadap kolom telah banyak dilakukan, diantaranya:

Anang Kristianto dkk (2015) meneliti peningkatan kapasitas aksial kolom beton bertulang penampang bundar yang diberi perkuatan FRP

dan *pen-binder*. Dimensi kolom yang diteliti adalah kolom dengan diameter 190 mm dan tinggi 480 mm. Benda uji terdiri dari empat variasi sistem pengekangan, yaitu kolom dengan pengekang spiral, kolom dengan pengekang sengkang, kolom dengan pengekang sengkang yang diberi perkuatan *pen-binder*, dan kolom dengan pengekang sengkang yang diberi perkuatan FRP. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan kapasitas aksial sebesar 47% pada kolom dengan perkuatan *pen-binder*, dan peningkatan 89% pada kolom dengan perkuatan FRP

Johanes Januar Sudjati (2015) menyelidiki perbaikan kolom beton bertulang menggunakan *glass fiber jacket*. Benda uji yang diteliti adalah kolom pendek dan kolom langsing penampang persegi, dengan dimensi kolom pendek 120x120x750 mm dan kolom langsing 120x120x1000 mm. Variasi penelitian adalah tingkat pembebanan pada benda uji sebelum diperbaiki, yaitu 60%, 70%, dan 80% dari beban aksial maksimum. Setelah dibebani, kolom kemudian diperbaiki dengan cara dibungkus dengan *glass fiber jacket* sebanyak tiga lapis, dan dibebani hingga runtuh. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kapasitas beban, yaitu masing-masing sebesar 17%, 39%, dan 27% pada kolom pendek, serta 22%, 18%, dan 6% pada kolom langsing.

Luqman Ashari (2009) meneliti perilaku tegangan-regangan kolom penampang bundar yang terkekang *fine-mesh*. Benda uji adalah kolom penampang bundar diameter 180 dan tinggi 450 mm. Konfigurasi *grid fine-mesh* yang digunakan adalah 25x25 dan 50x50 mm dengan diameter 2, 3, dan 4 mm. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan kuat tekan dan regangan sebesar 173% dibandingkan kolom tanpa pengekang *fine-mesh*.

Dwisukmawati dan Tavio (2008) menyelidiki pengaruh *fine-mesh* sebagai pengganti tulangan konvensional terhadap kolom dimensi 150x150x450 mm. Variasi diameter kawat *fine-mesh* adalah 2, 3, dan 4 mm, dengan konfigurasi 25x25 dan 50x50 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan tulangan *fine-mesh* sebagai pengekang efektif meningkatkan tegangan dan daktilitas. Semakin tinggi rasio volumetrik semakin tinggi pula peningkatan tegangan puncak yang terjadi. Apabila tidak ada pengekangan, maka akan terjadi kegagalan

secara *brittle*. Tetapi dengan adanya pengekangan, retak yang terjadi masih dapat tertahan oleh adanya pengekangan sehingga keruntuhan yang terjadi lebih *ductile*.

METODE PENELITIAN

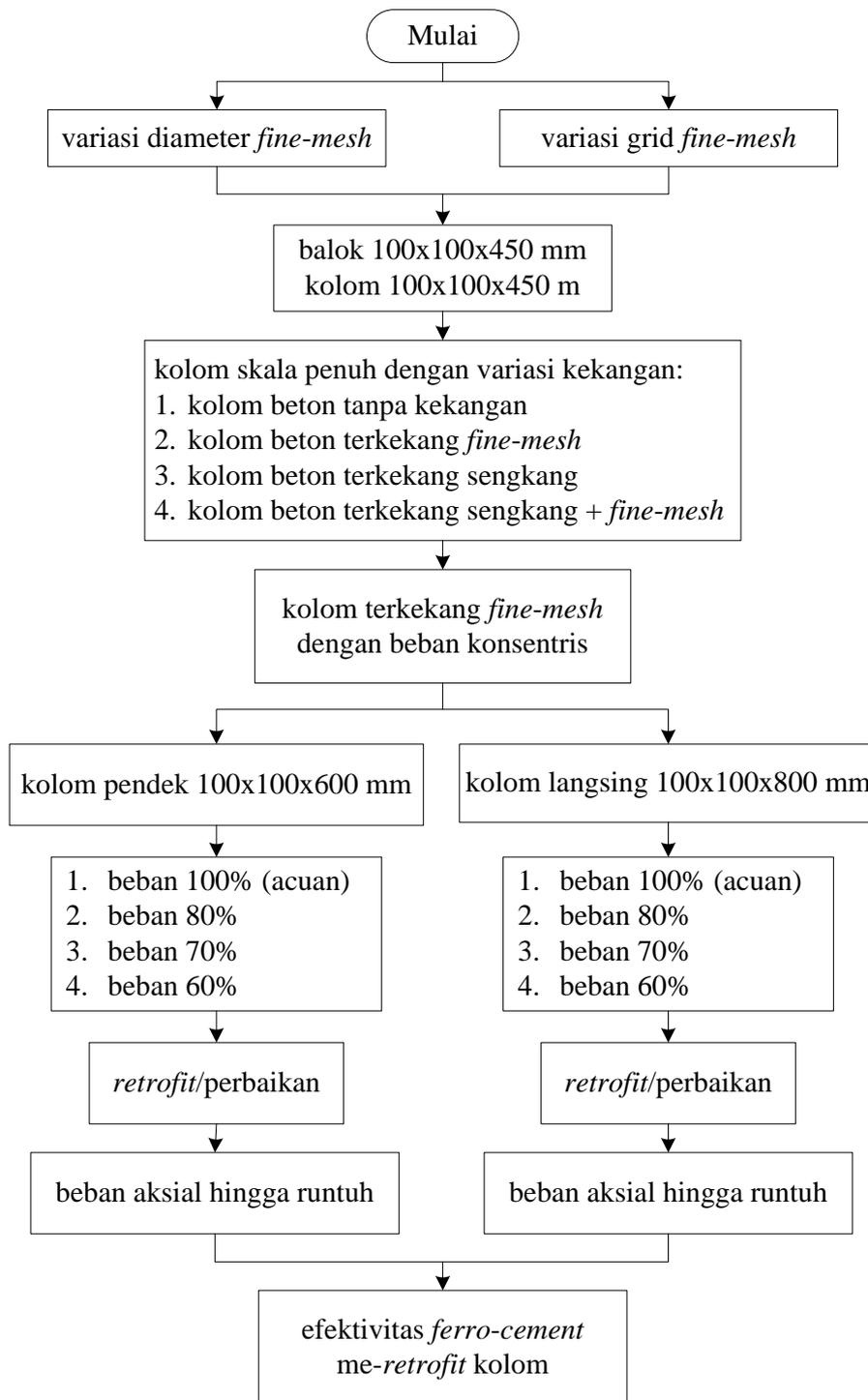
Metode Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan yaitu studi eksperimental yang dibagi menjadi dua kegiatan, yaitu tahap pertama melakukan pengujian terhadap balok dan kolom yang diberi tulangan *fine-mesh* untuk mendapatkan *fine-mesh* yang memberikan pengaruh terbesar pada kekuatan lentur dan aksial. Tahap berikutnya yaitu melakukan pengujian terhadap kolom yang telah diberi beban dengan tingkat pembebanan yang bervariasi, kemudian di-*retrofit* menggunakan *ferro-cement*.

Adapun tahap penelitian disajikan pada Gambar 1 dengan tahap sebagai berikut:

Pada studi eksperimen tahap pertama, diteliti pengaruh dimensi volumetrik *fine-mesh* terhadap kuat lentur dan aksial, sehingga penelitian meliputi variasi diameter tulangan *fine-mesh* dan konfigurasi grid *fine-mesh*. Hasil penelitian untuk mendapatkan *fine-mesh* yang memberi pengaruh terbesar terhadap kuat lentur dan aksial. Penelitian dilakukan terhadap benda uji balok bertulangan *fine-mesh* untuk mengetahui pengaruh dimensi volumetrik *fine-mesh* terhadap lentur, dan benda uji kolom terkekang *fine-mesh* untuk mengetahui pengaruh volumetrik *fine-mesh* terhadap aksial.

Studi eksperimen tahap kedua dilakukan terhadap dua jenis benda uji kolom, yaitu kolom pendek dan kolom langsing. Kedua jenis kolom tersebut, masing-masing dibuat 4 buah, diberi beban aksial dengan tingkat pembebanan yang berbeda, yaitu 60%, 70%, 80%, dan 100% dari beban runtuh. Kolom yang diberi beban 100% digunakan sebagai pembanding, sedangkan kolom yang lain, dengan tingkat kerusakan yang berbeda, kemudian diperbaiki menggunakan *ferro-cement*, yaitu dengan cara dibungkus *fine-mesh* dan direkatkan menggunakan adukan semen. Setelah diperbaiki, keenam kolom *retrofit* tersebut kembali diberi beban aksial hingga runtuh. Hasil penelitian untuk mendapatkan efektivitas *ferro-cement* sebagai bahan *retrofit* pada kolom pendek yang menerima beban aksial konsentris.



Gambar 1. Bagan Penelitian

Geometri Benda Uji dan Parameter Pengujian

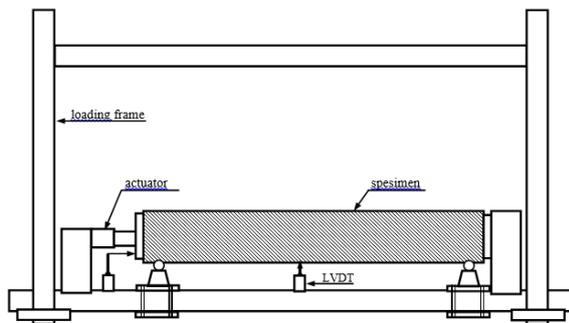
Penelitian berupa studi eksperimental dengan set-up pengujian seperti terlihat pada Gambar 2, yang dilakukan terhadap benda uji dengan batasan sebagai berikut:

- Dua jenis benda uji, yaitu kolom pendek dan kolom langsing, penampang persegi berukuran 100x100 mm dan tinggi masing-masing 600 mm dan 800 mm, menggunakan 4 buah tulangan polos diameter 8 mm
- Setiap jenis kolom, satu buah dibebani dengan beban aksial konsentris hingga runtuh,

untuk mengetahui kapasitas maksimum kolom. Sedangkan tiga buah kolom yang lain diberi beban 60%, 70%, dan 80% dari beban maksimum, untuk mendapatkan kolom dengan tingkat kerusakan yang berbeda.

– Ketiga kolom yang telah rusak kemudian diperbaiki atau di-*retrofit* menggunakan *ferro-cement*, yaitu dengan cara menyelimuti kolom menggunakan *fine-mesh* dan kemudian diberi *cover* adukan beton.

– Kolom yang telah di-*retrofit* kemudian kembali dilakukan pengujian aksial hingga runtuh, untuk mengetahui peningkatan kapasitas aksial kolom setelah di-*retrofit*.



Gambar 2. Set-up pengujian

HASIL PENELITIAN

Hasil Perhitungan Rasio Volumetrik

Rasio volumetrik adalah perbandingan antara volume *fine-mesh* terhadap beton yang ditulangi *fine-mesh*. Dalam perhitungan struktur beton, umumnya perhitungan rasio tulangan baja terhadap beton hanya rasio luas penampang, karena dianggap tulangan baja dan beton mempunyai panjang yang sama, sedangkan tulangan melintang, yaitu sengkang, hanya diperhitungkan untuk menerima beban geser, tidak diperhitungkan ikut menerima beban lentur atau aksial. Dengan penggunaan *fine-mesh*, sistem penulangan menjadi dua arah, sehingga perlu diperhitungkan pengaruh tulangan arah melintang.

Dari Tabel 1 terlihat bahwa konfigurasi *grid* sangat mempengaruhi rasio volumetrik *fine-mesh* terhadap beton. *Fine-mesh* dengan diameter 3 mm dan *grid* 25x25 mm memiliki rasio volumetrik terbesar. Akan diselidiki pengaruh volumetrik tersebut terhadap kekuatan beton.

Tabel 1. Rasio volumetrik *fine-mesh* terhadap beton

No	Benda Uji	r_g [%]
1	diameter 2, <i>grid</i> 25x25 mm	0,5343
2	diameter 2, <i>grid</i> 50x50 mm	0,2829
3	diameter 3, <i>grid</i> 25x25 mm	1,2021
4	diameter 3, <i>grid</i> 50x50 mm	0,6364

Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder

Setiap pembuatan benda uji kolom, harus selalu dibuat benda uji silinder untuk mengetahui kekuatan atau mutu beton yang dibuat. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian dilakukan terhadap 6 silinder yang dibuat bersama pembuatan benda uji kolom pendek, dan 6 silinder yang dibuat bersama pembuatan benda uji kolom langsing. Pengujian dilakukan pada umur 14 dan 28 hari, untuk mengetahui perkembangan kekuatan.

Pada Tabel 2 maupun Tabel 3 terlihat bahwa kuat tekan meningkat dengan meningkatnya umur beton, dan pada umur 28 hari mencapai kuat tekan rencana, yaitu 20 MPa.

Tabel 2. Hasil uji kuat tekan silinder untuk benda uji kolom pendek

No	Umur [hari]	Kuat Tekan [MPa]	
		Hasil Uji	Rerata
1	14	18,21	18,57
2		18,84	
3		18,67	
4		20,76	
5	28	20,99	21,16
6		21,72	

Tabel 3. Hasil uji kuat tekan silinder untuk benda uji kolom langsing

No	Umur [hari]	Kuat Tekan [MPa]	
		Hasil Uji	Rerata
1	14	19,20	18,91
2		18,68	
3		18,84	
4		21,86	
5	28	21,34	21,64
6		21,72	

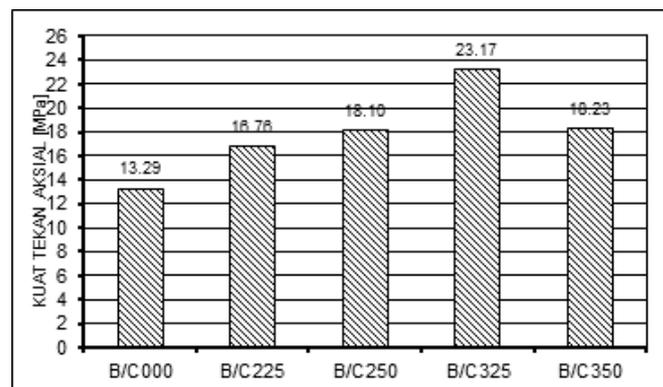
Pengaruh *Fine-mesh* pada Hasil Pengujian Aksial Kolom Pendek

Pengujian aksial bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *ferro-cement* pada kekuatan menerima beban aksial, karena itu benda uji yang digunakan adalah kolom dengan ukuran penampang 100x100 mm dan panjang 600 mm, tetapi jarak antar tumpuan untuk pengujian adalah 450 mm. Pengujian dilakukan terhadap 15 kolom yang terdiri dari 5 variasi, yaitu C000 adalah balok persegi tanpa

menggunakan *fine-mesh*, C225 adalah balok persegi menggunakan *fine-mesh* berdiameter 2 mm dan ukuran grid 25x25 mm, C250 adalah balok persegi menggunakan *fine-mesh* berdiameter 2 mm dan ukuran grid 50x50 mm, C325 adalah balok persegi menggunakan *fine-mesh* 3 mm dan grid 25x25 mm, C350 adalah balok persegi menggunakan *fine-mesh* 3 mm dan grid 50x50 mm. Hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa rasio volumetrik juga sangat menentukan kuat lentur balok.

Tabel 4. Hasil uji aksial kolom berdasarkan variasi *fine-mesh*

No	Kode	Dimensi Balok [mm]		Beban [N]	Kuat Tekan [MPa]	Rerata Kuat Tekan [MPa]
		b	h			
1	C000	100	100	231000	13,07	13,29
2		100	100	233000	13,18	
3		100	100	241000	13,63	
4	C225	100	100	294000	16,63	16,76
5		100	100	293000	16,57	
6		100	100	302000	17,08	
7	C250	100	100	320000	18,10	18,10
8		100	100	318000	17,99	
9		100	100	322000	18,21	
10	C325	100	100	410000	23,19	23,17
11		100	100	411000	23,25	
12		100	100	408000	23,08	
13	C350	100	100	328000	18,55	18,23
14		100	100	319000	18,04	
15		100	100	320000	18,10	



Gambar 3. Grafik perbandingan hasil uji aksial kolom berdasarkan variasi *fine-mesh*

Hasil Pengujian Aksial Kolom Pendek

Benda uji adalah kolom pendek penampang persegi dengan dimensi penampang 100x100 mm dan tinggi 600 mm, yang dibebani oleh beban aksial konsentris. Tujuan pengujian untuk mengetahui pengaruh penggunaan *ferro-cement* sebagai bahan *retrofit* untuk memperbaiki kolom yang telah dibebani atau telah rusak. Pengujian dilakukan dalam dua tahap, pertama adalah menguji satu buah kolom untuk mengetahui kapasitas kolom hingga beban ultimit (runtuh). Besar beban ultimit tersebut digunakan untuk membebani tiga kolom yang lain, yaitu masing-masing 60%, 70%, dan 80% dari beban ultimit yang didapat. Setelah dibebani dan kolom rusak dengan tingkat kerusakan yang berbeda, ketiga kolom tersebut diperbaiki atau di-*retrofit* menggunakan *fine-mesh* yang direkatkan ke kolom menggunakan adukan beton dengan mutu yang sama, yang disebut *ferro-cement*.

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa kolom yang di-*retrofit* menggunakan *ferro-cement* mengalami peningkatan kapasitas beban aksial sebesar 34,96%, 28,17%, dan 22,87% pada variasi tingkat pembebanan 60%, 70%, dan 80% dari beban maksimum. Kolom yang telah retak akibat memikul beban aksial, setelah diperbaiki atau di-*retrofit* mampu memikul beban aksial yang lebih besar dibandingkan kolom pembanding. Semakin tinggi tingkat pembebanan awal yang dipikul, kenaikan kapasitas beban semakin kecil karena kolom telah mengalami kerusakan yang semakin besar. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa perbaikan kolom menggunakan *ferro-cement* mampu meningkatkan kapasitas beban aksial kolom. Hal ini menunjukkan bahwa *retrofit* menggunakan *ferro-cement* mampu memberikan pengekanan pada kolom beton sehingga meningkatkan kapasitas beban aksial kolom.

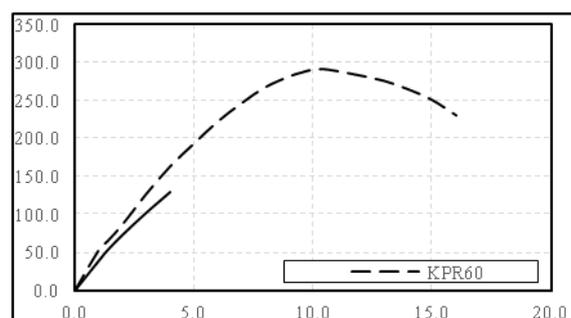
Tabel 5. Hasil uji aksial konsentris kolom pendek yang di-*retrofit*

No	Benda Uji		Beban Aksial Maksimum [kN]		Selisih [%]
	type	kode	kolom retrofit	kolom pembanding	
1	kolom pendek	KPR60	290,30	215,10	34,96%
2		KPR70	275,70	215,10	28,17%
3		KPR80	264,30	215,10	22,87%
4		KP100	215,10	215,10	0,00%

Hubungan Beban Aksial dan Lendutan pada Kolom Pendek

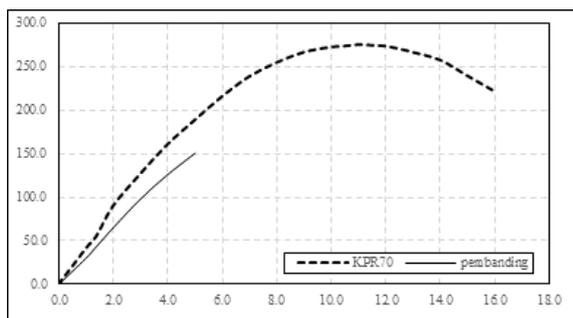
Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 memperlihatkan perbandingan kurva hubungan beban aksial dan lendutan pada benda uji kolom pendek dengan tingkat pembebanan 60%, 70%, dan 80% terhadap kolom retrofit. Terlihat bahwa kolom yang telah mengalami kerusakan, setelah diperbaiki atau di-*retrofit* menggunakan *ferro-cement* memiliki kekakuan yang lebih besar dibanding kolom aslinya. Hal ini dapat dilihat dari kurva beban-lendutan kolom *retrofit* yang terletak di atas kurva kolom asli (pembanding).

Gambar 7 menunjukkan perbandingan kurva beban-lendutan kolom yang telah diperbaiki dengan kolom pembanding. Terlihat bahwa kolom yang telah diperbaiki masih memiliki

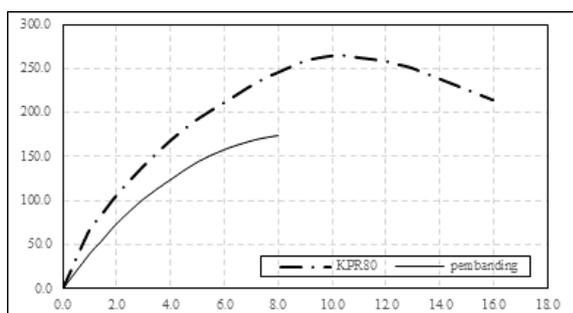


Gambar 4. perbandingan kurva beban-lendutan kolom pendek dengan tingkat pembebanan 60%

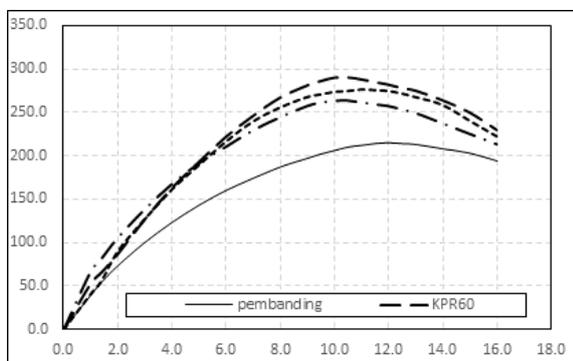
kekuatan dan kekakuan yang lebih besar daripada kolom pembanding, yaitu kurva ketiga kolom terletak di atas kolom pembanding. Hal ini menunjukkan bahwa *retrofit* menggunakan *ferro-cement* mampu meningkatkan kekuatan dan kekakuan kolom.



Gambar 5. perbandingan kurva beban-lendutan kolom pendek dengan tingkat pembebanan 70%



Gambar 6. Perbandingan kurva beban-lendutan kolom pendek dengan tingkat pembebanan 80%



Gambar 7. Perbandingan kurva beban-lendutan kolom pendek *retrofit* dan kolom pembanding

Hasil Pengujian Aksial Kolom Langsing

Benda uji adalah kolom langsing penampang persegi dengan dimensi penampang 100x100 mm dan tinggi 800 mm, yang dibebani oleh beban aksial konsentris. Tujuan pengujian untuk mengetahui pengaruh penggunaan *ferro-cement* sebagai bahan *retrofit* untuk

memperbaiki kolom yang telah dibebani atau telah rusak. Pengujian dilakukan dalam dua tahap, pertama adalah menguji satu buah kolom untuk mengetahui kapasitas kolom hingga beban ultimit (runtuh). Besar beban ultimit tersebut digunakan untuk membebani tiga kolom yang lain, yaitu masing-masing 60%, 70%, dan 80% dari beban ultimit yang didapat. Setelah dibebani dan kolom rusak dengan tingkat kerusakan yang berbeda, ketiga kolom tersebut diperbaiki atau di-*retrofit* menggunakan *fine-mesh* yang direkatkan ke kolom menggunakan adukan beton dengan mutu yang sama, yang disebut *ferro-cement*.

Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa kolom yang di-*retrofit* menggunakan *ferro-cement* mengalami peningkatan kapasitas beban aksial sebesar 20,49%, 17,98%, dan 6,40% pada variasi tingkat pembebanan 60%, 70%, dan 80% dari beban maksimum. Kolom yang telah retak akibat memikul beban aksial, setelah diperbaiki atau di-*retrofit* mampu memikul beban aksial yang lebih besar dibandingkan kolom pembanding. Semakin tinggi tingkat pembebanan awal yang dipikul, kenaikan kapasitas beban semakin kecil karena kolom telah mengalami kerusakan yang semakin besar. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa perbaikan kolom menggunakan *ferro-cement* mampu meningkatkan kapasitas beban aksial kolom. Hal ini menunjukkan bahwa retrofit menggunakan *ferro-cement* mampu memberikan pengekangan pada kolom langsing sehingga meningkatkan kapasitas beban aksial kolom.

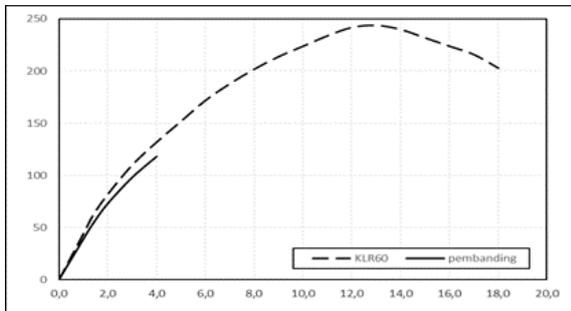
Hubungan Beban Aksial dan Lendutan pada Kolom Langsing

Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10 memperlihatkan perbandingan kurva hubungan beban aksial dan lendutan pada benda uji kolom langsing dengan tingkat pembebanan 60%, 70%, dan 80% terhadap kolom retrofit. Terlihat bahwa kolom yang telah mengalami kerusakan, setelah

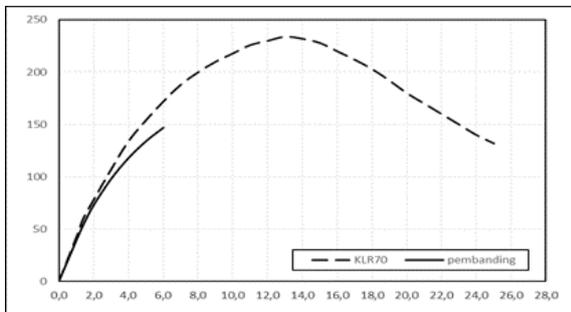
Tabel 6. Hasil uji aksial konsentris kolom langsing yang di-retrofit

No	Benda Uji		Beban Aksial Maksimum [kN]		Selisih [%]
	tipe	kode	kolom retrofit	kolom pembanding	
1	kolom langsing 100x100x800	KLR60	244,60	203,00	20,49%
2		KLR70	239,50	203,00	17,98%
3		KLR80	216,00	203,00	6,40%
4		KL100	203,00	203,00	0,00%

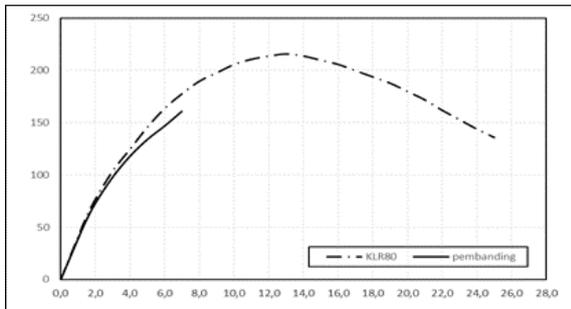
diperbaiki atau di-retrofit menggunakan *ferro-cement* memiliki kekakuan yang lebih besar dibanding kolom aslinya. Hal ini dapat dilihat dari kurva beban-lendutan kolom *retrofit* yang terletak di atas kurva kolom asli (pembanding).



Gambar 8. perbandingan kurva beban-lendutan kolom langsing dengan tingkat pembebanan 60%

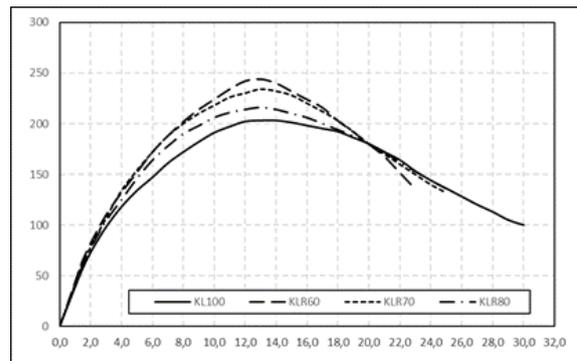


Gambar 9. perbandingan kurva beban-lendutan kolom langsing dengan tingkat pembebanan 70%



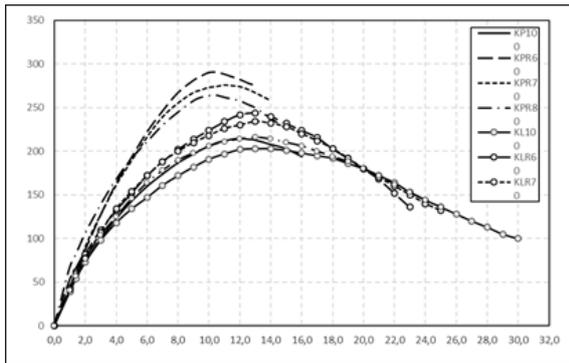
Gambar 10. perbandingan kurva beban-lendutan kolom langsing dengan tingkat pembebanan 80%

Gambar 11 menunjukkan perbandingan kurva beban-lendutan kolom langsing yang telah diperbaiki dengan kolom pembanding. Terlihat bahwa kolom yang telah diperbaiki masih memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih besar daripada kolom pembanding, yaitu kurva ketiga kolom terletak di atas kolom pembanding. Hal ini menunjukkan bahwa *retrofit* menggunakan *ferro-cement* mampu meningkatkan kekuatan dan kekakuan kolom.



Gambar 11. Perbandingan kurva beban-lendutan kolom langsing *retrofit* dan kolom pembanding

Gambar 12 menunjukkan perbandingan kurva beban-lendutan kolom pendek dan kolom langsing. Terlihat bahwa kolom retrofit lebih kuat daripada kolom langsing dalam menerima beban, tetapi lebih getas. Sebaliknya kolom langsing lebih daktile tetapi peningkatan kekuatan lebih kecil. Tetapi kolom pendek retrofit dan kolom langsing retrofit keduanya memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih besar dari kolom pembandingnya. Dapat disimpulkan bahwa retrofit menggunakan *ferro-cement*, baik untuk kolom pendek maupun kolom langsing, dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan, tetapi lebih efektif untuk kolom yang menerima beban 60% dari beban ultimitnya.



Gambar 12. Perbandingan kurva beban-lendutan kolom pendek dan kolom langsing

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Rasio volumetrik terbesar dari C000, C225, C250, C325, dan C350 adalah pada C325, yaitu *fine-mesh* dengan diameter 3 mm dan konfigurasi *grid* 25x25 mm. Besar rasio volumetrik tidak hanya ditentukan oleh diameter *fine-mesh*, tetapi juga dipengaruhi konfigurasi *grid*.
2. Hasil pengujian aksial kolom dengan tulangan *fine-mesh* menunjukkan bahwa penggunaan *fine-mesh* meningkatkan kekuatan aksial kolom, dan kekuatan tertinggi tercapai pada kolom C325 sebesar 23,17 MPa, yaitu kolom dengan rasio volumetrik terbesar.
3. Hasil pengujian aksial pada kolom pendek yang telah di-*retrofit* menggunakan *ferro-cement* menunjukkan bahwa kolom yang telah rusak akibat memikul beban aksial, setelah diperbaiki mampu memikul beban aksial yang lebih besar dibandingkan kolom pembanding, dan terjadi peningkatan kapasitas beban sebesar 34,96%, 28,17%, dan 22,87% pada variasi tingkat pembebanan 60%, 70%, dan 80% dari beban maksimum kolom pembanding. Hasil ini terlihat pada kurva hubungan beban-lendutan ketiga kolom yang telah di-*retrofit* terhadap kolom pembanding.
4. Sedangkan hasil pengujian aksial kolom langsing terjadi peningkatan kapasitas beban sebesar 20%, 18%, dan 6% pada variasi tingkat pembebanan 60%, 70%, dan 80% dari beban ultimit.
5. *Retrofit* kolom pendek menghasilkan peningkatan kekuatan dan kekakuan lebih

besar daripada kolom langsing, tetapi lebih getas, sebaliknya kolom langsing lebih daktil tetapi hanya sedikit mengalami peningkatan kekuatan

6. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa *retrofit* menggunakan *ferro-cement* mampu meningkatkan kekuatan dan kekakuan kolom. Tetapi semakin tinggi tingkat kerusakan, yaitu akibat semakin tinggi tingkat pembebanan awal yang dipikul, maka kenaikan kapasitas beban semakin kecil karena kolom telah mengalami kerusakan yang semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adang Kristianto, Yosafat Aji Pranata, Jeremy Julian, Nico Tandy Susilo. (2015)., *Studi Perbandingan Peningkatan Kapasitas Aksial Kolom Lingkaran Beton Bertulang yang Diberikan Perkuatan FRP dan Pen Binder*, Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil ke 9 (KoNTekS 9), Makasar.
- Al-Chaar, G. K., Lamb, G. E. (2002). *Design of Fiber Reinforced Polymer for Seismic Rehabilitation of Infilled Concrete Structures*, Engineer Research and Development Center, US Army Corps of Engineers.
- Dwisukmawati E., Tavio. (2008). *Tegangan Regangan Beton Mutu Normal Segiempat dengan Fine Mesh*, Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi VIII, Surabaya.
- El-Dakhkhni, W. W., Hamid, A. A., Elgaaly, M. (2004). 'Seismic Retrofit of Concrete-Masonry-Infill Steel Frames with Glass Fiber Reinforced Polymer', *Journal of Structural Engineering, ASCE*, vol. 130 no. 9, September, 2004
- Jonie Tanijaya, Sepry Rantesalu. (2008). 'Perilaku Dinding Pengisi dengan Perkuatan Lapisan Glass Fiber Reinforced Polymer', *Jurnal Adiwidia, Universitas Kristen Indonesia Paulus*, vol. 1 no. 1, edisi Maret 2008
- Johanes Januar Sudjati, Hastu Nugroho, Paska Garien Mahendra. (2013). *Perkuatan Kolom Beton Bertulang dengan Glass Fiber Jacket untuk Meningkatkan Kapasitas Beban Aksial*, Prosiding Konferensi Na-

sional Teknik Sipil ke 7 (KoNTekS 7), Surakarta.

Johanes Januar Sudjati, Randi Angriawan Tari-
gan, Ida Bagus Made Tresna. (2015). *Per-
baikan Kolom Beton Bertulang
Menggunakan Glass Fiber Jacket dengan
Variasi Tingkat Pembebanan*, Prosiding
Konferensi Nasional Teknik Sipil ke 9
(KoNTekS 9), Makasar.

Teddy Boen & rekan. (2010). *Cara
Memperbaiki Bangunan Sederhana yang
Rusak Akibat Gempa Bumi*, Australia –
Indonesia Facility for Disaster Reduction.