

## KAJIAN PENGGUNAAN FERROCEMENT UNTUK RETROFIT KOLOM BETON BERTULANG DENGAN VARIASI TINGKAT PEMBEBANAN

**Titik Penta Artiningsih**

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pakuan,  
Jl. Pakuan no. 1, Bogor, 16143  
Email : titikpenta@unpak.ac.id

### 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 *ferrocement*. Penelitian bertujuan mengetahui besar kenaikan kapasitas beban aksial kolom beton yang *di-retrofit* menggunakan *ferrocement*. Pengujian eksperimental dilakukan terhadap dua variasi kolom, yaitu kolom penampang persegi 100x100 mm dan tinggi 600 mm. Jumlah benda uji 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 *ferrocement*, dan selanjutnya kolom diberi beban aksial hingga runtuh. Dari hasil pengujian 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*, *ferrocement*

### 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 ferrocement. Research aims to discover the increase amount of axial load capacity from concrete column that has been retrofitted using finemesh. Experimental tests carried out on seven short column specimen with a square cross-section sized 100x100 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 ferrocement, after that column are given axial load up to collapse. From the test results, columns 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%. Abstract versi Bahasa Inggris ditulis menggunakan Bahasa Inggris pakem British dalam bentuk past tense dan kalimat yang berpatutan. Hasil dan kesimpulan ditulis dalam bentuk present tense. Abstract diharapkan lebih komunikatif dan tidak monoton. Kalimat sederhana dalam Bahasa Inggris minimal mengandung unsur subject dan predicate.*

**Keywords:** *column, concentric axial load, retrofit, finemesh*

### 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*. Sedangkan 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 *ferrocement*. *Ferrocement* adalah campuran mortar dan *finemesh*. *Finemesh* adalah jaring kawat baja dengan diameter yang bervariasi disusun

membentuk *grid* dengan dimensi *grid* yang bervariasi pula.

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.

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.

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

Berdasarkan hasil-hasil penelitian terdahulu, maka dilakukan penelitian dalam bentuk studi eksperimental terhadap dua jenis kolom, yaitu kolom pendek dan kolom langsing, yang telah rusak, dan diperbaiki atau di-*retrofit* menggunakan *ferrocement*. Studi eksperimental dilakukan dalam dua kegiatan, yaitu kegiatan pertama melakukan pengujian terhadap kolom yang diberi tulangan *finemesh* untuk mendapatkan *finemesh* yang memberikan pengaruh terbesar pada kekuatan aksial. Kegiatan selanjutnya yaitu melakukan pengujian terhadap kolom yang telah diberi beban dengan tingkat pembebanan yang bervariasi, kemudian di-*retrofit* menggunakan *ferrocement*.

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

Studi eksperimental 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 atau di-*retrofit*

menggunakan *ferrocement*, yaitu dengan cara dibungkus *finemesh*. Setelah diperbaiki, keenam kolom *retrofit* tersebut kembali diberi beban aksial hingga runtuh. Hasil penelitian untuk mendapatkan efektivitas *ferrocement* sebagai bahan *retrofit* pada kolom yang menerima beban aksial konsentris.

Adapun batasan benda uji adalah sebagai berikut:

- Dua jenis benda uji, yaitu kolom pendek dan kolom langsing, dengan penampang persegi berukuran 100x100 mm dan tinggi masing-masing 600 mm 800 mm, menggunakan 4 buah tulangan polos diameter 8 mm
- Setiap jenis kolom, satu buah dibebani dengan beban aksial hingga runtuh, atau dapat dikatakan dibebani 100%, untuk mengetahui kapasitas maksimum kolom. Sedangkan tiga buah kolom yang lain diberi beban 60%, 70%, dan 80% untuk mendapatkan kolom dengan tingkat kerusakan yang berbeda.
- Ketiga kolom yang telah rusak kemudian diperbaiki atau di-*retrofit* menggunakan *ferrocement*, yaitu dengan cara menyelimuti kolom menggunakan *finemesh* dan kemudian diberi *cover* adukan beton. Mutu campuran untuk *cover* sesuai mutu beton awal.
- Kolom yang telah di-*retrofit* kemudian kembali dilakukan pengujian aksial hingga runtuh, untuk mengetahui peningkatan kapasitas aksial kolom setelah di-*retrofit*.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Perhitungan Rasio Volumetrik

Rasio volumetrik adalah perbandingan antara volume *finemesh* terhadap beton yang ditulangi *finemesh*. Dalam perhitungan struktur beton, umumnya perhitungan rasio tulangan baja terhadap beton hanya rasio luas penampang, sedangkan tulangan melintang, hanya untuk menerima beban geser. Dengan penggunaan *finemesh*, sistem penulangan menjadi dua arah, sehingga perlu diperhitungkan pengaruh tulangan arah melintang.

Tabel 1. Rasio volumetrik *finemesh* - beton

No	Benda Uji	$\rho_g$ [%]
1	diameter 2, grid 25x25 mm	0,5343
2	diameter 2, grid 50x50 mm	0,2829

No	Benda Uji	$\rho_g$ [%]
3	diameter 3, grid 25x25 mm	1,2021
4	diameter 3, grid 50x50 mm	0,6364

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

### Pengaruh *Finemesh* pada Hasil Pengujian Aksial Kolom Pendek

Studi eksperimental pertama adalah pengujian aksial terhadap kolom dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh rasio volumetrik *finemesh* terhadap beton yang ditulangi *finemesh*. Benda uji yang digunakan adalah kolom pendek penampang persegi berjumlah 15 buah yang terdiri dari 5 variasi, yaitu C000 adalah kolom tanpa *finemesh*, C225 adalah kolom dengan *finemesh* berdiameter 2 mm dan ukuran grid 25x25 mm, C250 adalah kolom dengan *finemesh* 2 mm dan grid 50x50 mm, C325 adalah kolom dengan *finemesh* 3 mm dan grid 25x25 mm, C350 adalah kolom dengan *finemesh* 3 mm dan grid 50x50 mm.

Tabel 2. Hasil uji aksial kolom bertulang *finemesh*

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

Hasil pengujian kolom pada Tabel 2 menunjukkan bahwa rasio volumetrik sangat menentukan kuat aksial kolom. Kolom terkuat

menerima beban aksial adalah kolom dengan penulangan *finemesh* diameter 3 mm dan grid 25x25 mm, yaitu *finemesh* dengan rasio volumetrik terbesar.

### Hasil Pengujian Aksial Kolom Pendek

Studi eksperimental kedua adalah pengujian terhadap dua jenis kolom, yaitu kolom pendek dan kolom langsing. Tujuan pengujian untuk mengetahui pengaruh penggunaan *ferrocement* 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 *finemesh* yang direkatkan ke kolom menggunakan adukan beton dengan mutu yang sama, yang disebut *ferrocement*.

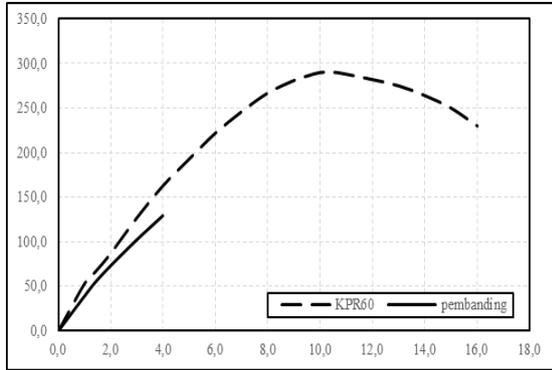
Tabel 3. Hasil uji aksial konsentris kolom pendek

No	Kode Benda Uji	Beban Aksial Maksimum [kN]		Selisih [%]
		kolom retrofit	kolom acuan	
1	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

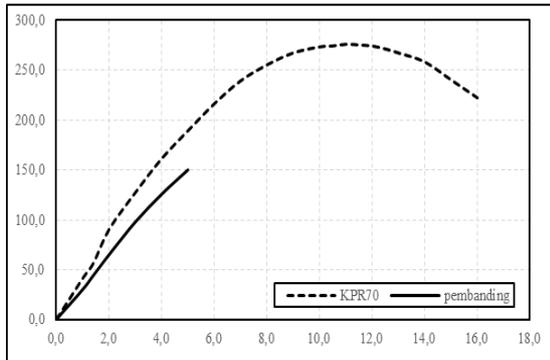
Keterangan: KPR = kolom pendek *retrofit*

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian aksial kolom pendek. Terlihat bahwa kolom pendek yang di-*retrofit* menggunakan *ferrocement* 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 pembebanan, seperti terlihat pada Gambar 1, 2, dan 3. 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

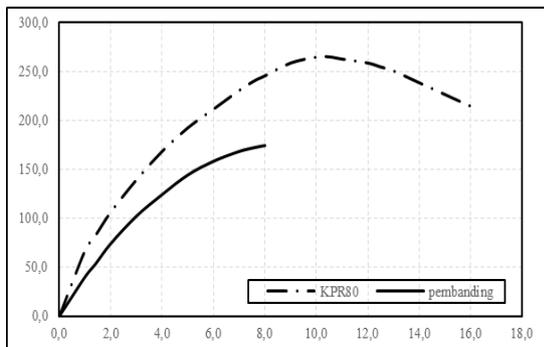
bahwa perbaikan kolom menggunakan *ferrocement* mampu meningkatkan kapasitas beban aksial kolom. Hal ini menunjukkan bahwa retrofit menggunakan *ferrocement* mampu memberikan pegekangan pada kolom beton sehingga meningkatkan kapasitas beban aksial kolom.



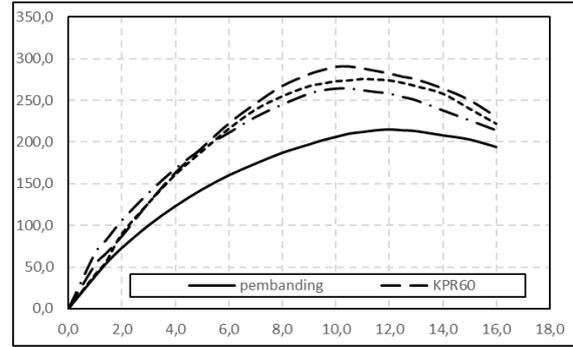
Gambar 1. perbandingan kurva beban-lendutan kolom pendek dengan tingkat pembebanan 60%



Gambar 2. perbandingan kurva beban-lendutan kolom pendek dengan tingkat pembebanan 70%



Gambar 3. Perbandingan kurva beban-lendutan kolom pendek dengan tingkat pembebanan 80%



Gambar 4. Perbandingan kurva beban-lendutan kolom pendek *retrofit* dan kolom pembanding

Gambar 4 menunjukkan perbandingan kurva beban-lendutan kolom yang telah diperbaiki dengan kolom pembanding. Terlihat bahwa kolom yang telah diperbaiki 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.

**Hasil Pengujian Aksial Kolom Langsing**

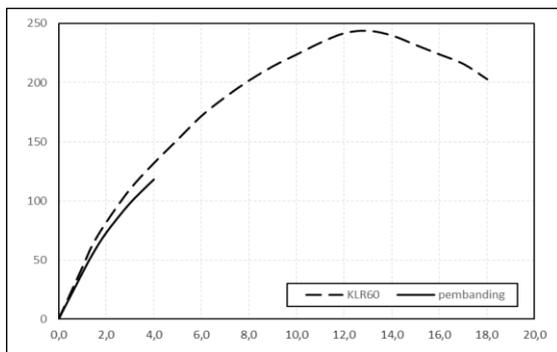
Studi eksperimental selanjutnya adalah pengujian aksial terhadap kolom langsing. Benda uji adalah kolom langsing penampang persegi dengan dimensi penampang 100x100 mm dan tinggi 800 mm, yang dibebani oleh beban aksial konsentris. Pengujian dilakukan sama seperti terhadap kolom pendek, yaitu pertama menguji 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 *ferrocement*.

Tabel 4. Hasil uji aksial konsentris kolom langsing

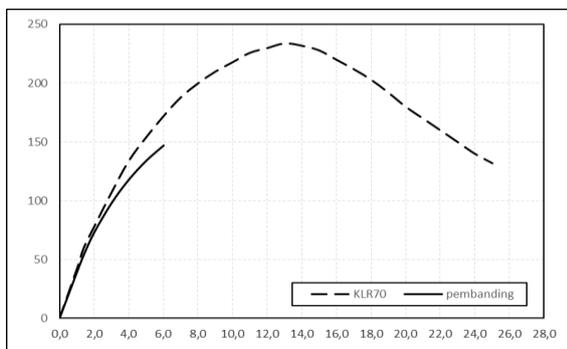
No	Kode Benda Uji	Beban Aksial Maksimum [kN]		Selisih [%]
		kolom retrofit	kolom acuan	
1	KLR60	244,60	203,00	20,49%
2	KLR70	239,50	203,00	17,98%
3	KLR80	216,00	203,00	6,40%
4	KL100	203,00	203,00	0,00%

Keterangan: KLR = kolom langsing *retrofit*

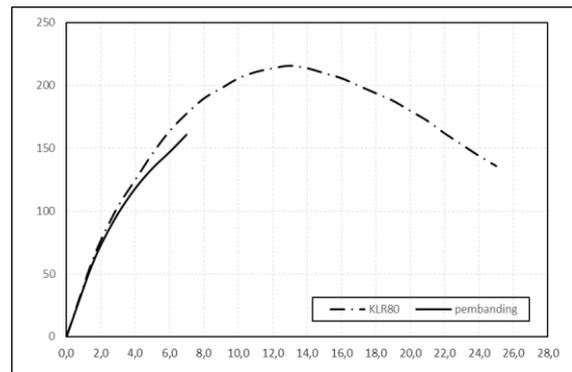
Tabel 4 menunjukkan bahwa kolom langsing yang di-*retrofit* menggunakan *ferrocement* mengalami peningkatan kapasitas beban aksial sebesar 20,49%, 17,98%, dan 6,40% pada variasi tingkat pembebanan 60%, 70%, dan 80% dari beban maksimum. Kolom yang telah retak akibat memikul beban aksial, setelah di-*retrofit* masih mampu memikul beban aksial dan mampu mengembalikan pada kekuatan awalnya, yaitu mendekati kekuatan kolom pembanding. Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 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 diperbaiki atau di-*retrofit* menggunakan *ferrocement* 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 5. perbandingan kurva beban-lendutan kolom langsing dengan tingkat pembebanan 60%

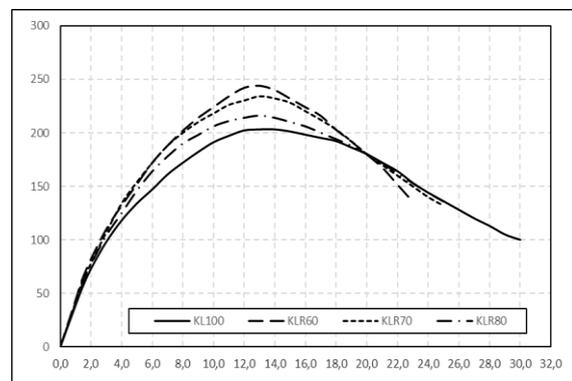


Gambar 6. perbandingan kurva beban-lendutan kolom langsing dengan tingkat pembebanan 70%

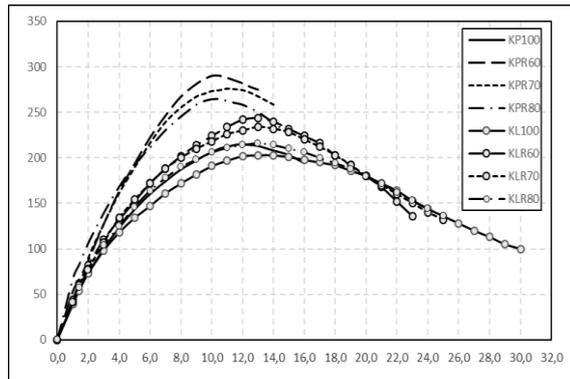


Gambar 7. perbandingan kurva beban-lendutan kolom langsing dengan tingkat pembebanan 80%

Gambar 8 menunjukkan perbandingan kurva beban-lendutan kolom langsing yang telah diperbaiki dengan kolom pembanding. Terlihat bahwa kolom yang telah diperbaiki 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 *ferrocement* mampu meningkatkan kekuatan dan kekakuan kolom, karena pada saat *retrofit* ada penambahan tulangan, sehingga kekuatan dan kekakuan akan meningkat. *Retrofit* terbaik pada kolom yang awalnya dibebani hingga 60% (KLR60) kekuatan ultimitnya, sedangkan yang lain telah mengalami kerusakan yang berarti.



Gambar 8. Perbandingan kurva beban-lendutan kolom langsing *retrofit* dan kolom pembanding



Gambar 9. Perbandingan kurva beban-lendutan kolom pendek dan kolom langsing

Gambar 9 menunjukkan perbandingan kurva beban-lendutan kolom pendek dan kolom langsing. Terlihat bahwa kolom pendek *retrofit* lebih kuat daripada kolom langsing dalam menerima beban, tetapi lebih getas. Sebaliknya kolom langsing lebih daktil tetapi beban yang mampu diterima lebih rendah daripada kolom pendek. Tetapi kolom pendek *retrofit* dan kolom langsing *retrofit* keduanya memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih besar dari kolom pembandingnya. Dapat disimpulkan bahwa *retrofit* menggunakan *ferrocement*, baik untuk kolom pendek maupun kolom langsing, dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan kolom, tetapi lebih efektif untuk kolom yang menerima beban maksimum 60% dari beban ultimitnya.

## SIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. 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 dengan rasio volumetrik terbesar.
3. Hasil pengujian aksial terhadap kolom pendek yang telah di-*retrofit* menggunakan *ferrocement* menunjukkan bahwa kolom yang telah rusak akibat memikul beban

aksial, setelah diperbaiki mampu memikul beban aksial yang lebih besar dibandingkan kolom pembanding,

4. Sedangkan hasil pengujian aksial terhadap kolom langsing terjadi peningkatan kapasitas beban yang lebih kecil daripada terhadap kolom pendek, tetapi masih mampu mengembalikan kekakuan awal.
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 *ferrocement* 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.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Makalah ini merupakan hasil penelitian dari Program Penelitian Hibah Bersaing Multi Tahun, dengan nomor kontrak adalah 1011/K4/KM/2015 untuk tahun anggaran 2015 dan no. 105/SP2H/PPM/DPRM/II/2016 untuk tahun anggaran 2016. Untuk itu, diucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM), Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- 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
- Artiningsih, T. P., 2015, *Efektivitas Penggunaan Fine-mesh sebagai Pengekang dalam Meretrofit Balok dan Kolom Beton Bertulang*, Makasar, Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-9 (KoNTekS-9)
- Boen, T. & rekan, 2010, *Cara Memperbaiki Bangunan Sederhana yang Rusak Akibat*

- Gempa Bumi, Australia – Indonesia Facility for Disaster Reduction*
- Dwisukmawati E., Tavio, 2008, *Tegangan Regangan Beton Mutu Normal Segiempat dengan Fine Mesh*, Surabaya, Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi VIII
- 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
- Kristianto, A., Pranata, Y. A., Julian, J., Susilo, N. T., 2015, *Studi Perbandingan Peningkatan Kapasitas Aksial Kolom Lingkaran Beton Bertulang yang Diberikan Perkuatan FRP dan Pen Binder*, Makasar, Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil ke 9 (Konteks-9)
- Sudjati, J. J., Nugroho, H., Mahendra, P. G., 2013, *Perkuatan Kolom Beton Bertulang dengan Glass Fiber Jacket untuk Meningkatkan Kapasitas Beban Aksial*, Surakarta, Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil ke 7 (KoNTekS-7)
- Sudjati, J. J., Tarigan, R. A., Tresna, I. B. M., 2015, *Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan Glass Fiber Jacket dengan Variasi Tingkat Pembebanan*, Makasar, Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil ke 9 (KoNTekS-9)
- Tanjaya, J., Rantesalu, S., 2008, *Perilaku Dinding Pengisi dengan Perkuatan Lapisan Glass Fiber Reinforced Polymer*, Makasar, Jurnal Adiwidia, Universitas Kristen Indonesia Paulus, vol. 1 no. 1, edisi Maret