



KAJIAN KEKANGAN KAWAT ANYAM SEBAGAI MATERIAL PERBAIKAN KERUSAKAN KOLOM BETON BERTULANG AKIBAT BEBAN AKSIAL SENTRIS

NI NYOMAN KENCANAWATI^{1*}, I NYOMAN MERDANA¹, NGAKAN K I DARMAWAN¹

¹ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Mataram, NTB

*Corresponding author: ✉ nkencanawati@unram.ac.id

Naskah diterima : 23 Agustus 2021. Disetujui: 2 Maret 2022

ABSTRAK

Komposit jaringan kawat anyam yang dilas dengan material mortar yang sering disebut juga dengan ferosemen adalah bahan yang dapat dipakai untuk memperbaiki atau memperkuat bagian struktur yang tua atau rusak. Namun, belum ada standar yang dikembangkan untuk komposit ferosemen sebagai bahan perbaikan struktur sampai saat ini. Dengan demikian penelitian pada material komposit ferosemen ini masih terus dituntut untuk dikembangkan. Penelitian ini bermaksud untuk mengetahui kemampuan komposit ferosemen dalam perbaikan kerusakan kolom. Lebih lanjut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kekangan ferosemen terhadap kolom beton bertulang yang telah diberikan kerusakan sebesar 60% akibat beban aksial sentris. Benda uji yang digunakan berupa kolom beton bertulang berbentuk persegi dengan ukuran penampang 150 mm x 150 mm dan panjang 1000 mm. Sebagai perbaikan, benda uji diberikan kekangan dengan kawat anyam yang dilas dengan tiga variasi diameter kawat yaitu 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm. Hasil menunjukkan bahwa kemampuan menahan beban pada kolom perbaikan menjadi lebih besar dengan presentase kenaikan kapasitas kolom dalam menahan beban aksial rata-rata sebesar 1,75 kali dibandingkan dengan kolom awal yang tanpa kerusakan. Pemilihan ukuran diameter kawat anyam menjadi salah satu parameter yang harus diperhatikan dalam efektifitas perbaikan kolom dengan menggunakan material ferosemen.

Kata kunci : kawat anyam, kekangan, perbaikan, kerusakan kolom beton bertulang

1. PENDAHULUAN

Dalam metode perbaikan kolom beton bertulang dengan metode kekangan atau *jacketing* terdapat bermacam model bahan yang digunakan, salah satunya yaitu ferosemen (Arya et al., 2014; Woodson, 2009). Jika didefinisikan secara sederhana ferosemen adalah suatu tipe material yang terbuat dari kawat anyam (*wire mesh*) dan mortar (campuran pasir, air dan semen). Kawat anyam atau *wire mesh* adalah rangkaian kawat beton berbentuk jaring-jaring dengan spasi tertentu yang pada tiap titik pertemuannya dihubungkan dan diikat menggunakan kawat atau bisa juga dilas. Jaringan kawat anyam yang dilas lazim disebut *welded wire mesh* (WWM). Secara ekonomis, ferosemen lebih murah dibanding dengan baja bertulang. Hal tersebut tentunya dipengaruhi oleh dimensi fisik ferosemen yang jauh lebih tipis dan ringan dibanding material baja tulangan, selain itu untuk membuat ferosemen tidaklah

DOI : <https://doi.org/10.25077/jrs.18.1.30-41.2022>

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

membutuhkan sumber daya manusia dengan keahlian khusus, sehingga dapat dengan mudah diaplikasikan untuk berbagai kebutuhan konstruksi pada umumnya (Kaish et al., 2018; Lalaj et al., 2015; Ma et al., 2017).

Perkuatan dan perbaikan struktur beton menjadi yang tidak terpisahkan pada praktek konstruksi dan rekayasa struktur karena dalam masa layannya, struktur kemungkinan mengalami kerusakan akibat beban berlebih, perubahan fungsi, ancaman lingkungan dan cuaca, ataupun penuaan. Perkuatan atau perbaikan dengan ferosemen sangat potensial diaplikasikan karena ketersediaan bahan ferosemen yang mudah untuk didapatkan, cara pembuatan yang mudah, kuat, tahan lama, serta murah. Namun, belum ada pedoman yang dikembangkan untuk komposit ferosemen sebagai bahan perbaikan dan perkuatan. Pedoman yang ada hanyalah hasil riset yang masih terus berkembang sampai saat ini (Kaish et al., 2018).

Penggunaan kawat anyam untuk perbaikan kolom beton bertulang dengan diameter kawat 0,94 mm dan bukaan (*opening*) 12 mm x 12 mm telah dilakukan oleh Mourag & Shannag (2012). Dua lapis kawat anyam digunakan dalam perbaikan dengan komposit ferosemen ini. Terdapat peningkatan kapasitas beban sampai 28% dan kekakuan sampai dengan 15% setelah kolom dengan kerusakan 60-80% diperbaiki dengan ferosemen. Demikian pula pada penggunaan 3 lapis kawat anyam menghasilkan peningkatan kapasitas beban sebanyak 1,2 kali pada perbaikan kolom beton bertulang yang telah mengalami kerusakan sebesar 70% (Soman & Mohan, 2018).

Penggunaan beberapa lapis kawat anyam dirasakan lebih efektif dalam perbaikan kolom. Selanjutnya Abdullah & Takiguchi (2003) melakukan investigasi dengan mengaplikasikan 3-6 lapisan kawat anyam dengan diameter hampir 0,5 mm. Namun didapatkan bahwa semakin banyak lapisan maka tidak efektif dalam memberikan kekangan pada kolom yang rusak. Dengan demikian penggunaan satu lapis kawat anyam di sarankan dan telah dilaksanakan oleh penelitian sebelumnya (Artiningsih, 2017; Sheikh et al., 2017). Pada penelitian Sheikh dkk (2017) digunakan satu lapis kawat anyam dengan *opening* 15 mm x 15 mm untuk perbaikan kolom, dan dihasilkan peningkatan kapasitas beban sebanyak 1,6 kali dibandingkan dengan kapasitas beban pada kolom asli. Sebagai tambahan pada penelitian Artiningsih (2017) kolom beton bertulang diberikan kerusakan dengan variasi pembebanan 60%, 70%, 80% dan 100%, lalu di-retrofit menggunakan 1 jenis wiremesh untuk semua benda uji. Terlihat peningkatan kapasitas beban aksial pada kolom yang telah di perbaiki berturut-turut sebesar 34,96%, 28,17%, dan 22,87% pada variasi tingkat pembebanan 60%, 70%, dan 80%.

Penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa satu lapis kawat anyam dapat secara efektif dalam perbaikan kolom beton bertulang pasca kerusakan. Dengan demikian pada artikel ini menggunakan satu lapis kawat anyam, namun dicoba dengan diameter kawat yang bervariasi yaitu 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm untuk menyelidiki tingkat kekangan dalam penggunaan kawat anyam dengan diameter yang berbeda. Kawat anyam terpasang diselimuti dengan mortar seperti halnya komposit ferosemen agar dapat memberikan kekangan (*confinement*) yang lebih efektif pada kolom.

2. METODA PENELITIAN

Metode eksperimental di laboratorium digunakan untuk mendapatkan data yang selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan keefektifan penggunaan ferosemen pada perbaikan kolom beton bertulang yang berbentuk persegi. Pekerjaan eksperimental dilakukan pada 12 kolom yang dirancang kesamaan dimensi, penulangan, dan kapasitas dalam menahan beban. Sembilan kolom diantaranya diberikan kerusakan dengan pemberian beban sebesar 60% dari beban awal maksimum yang mampu diterima.

2.1. Material

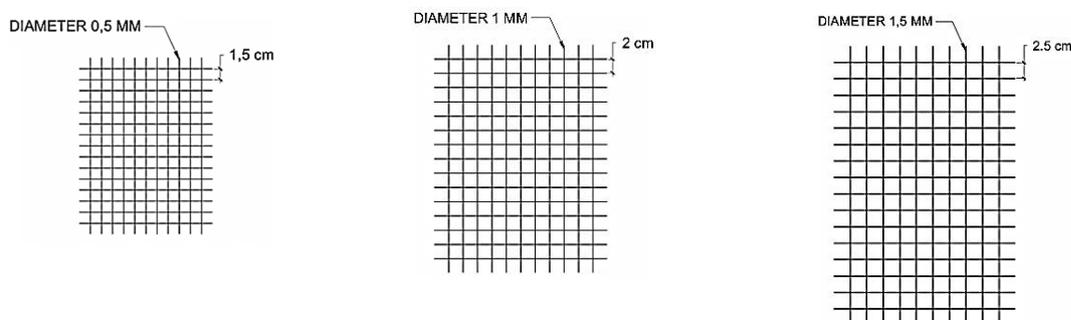
Semen Portland Pozzolan (PPC) digunakan untuk pengecoran specimen dan untuk mortar ferosemen. Pasir dengan diameter maksimum 4,75 mm dengan daerah gradasi zona II digunakan sebagai agregat halus. Berat jenis dan modulus kehalusan pasir adalah masing-masing 2,56 dan 2,94. Jenis pasir yang sama digunakan untuk menyiapkan mortar untuk selimut kawat anyam. Agregat kasar berupa batu pecah dengan diameter maksimum 16 mm. Berat jenis dan modulus kehalusan batu pecah berturut-turut sebesar 2,58 dan 6,61. Kualitas pasir dan batu pecah yang dipakai telah memenuhi persyaratan SNI (SNI, 2012; Tjokrodinuljo, 2007). Campuran beton memiliki kuat tekan 17 Mpa (SNI, 2000). Kuat tekan beton rencana disesuaikan dengan kapasitas alat *load cell* yang tersedia di laboratorium, dengan proporsi campuran dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Komposisi Bahan Penyusun Beton

Jenis Bahan	Kebutuhan (kg/m ³)
Air	214
Semen	271
Pasir	928
Batu pecah	944

Baja untuk tulangan utama kolom memiliki diameter 10 mm dan tulangan sengkang memakai diameter 8 mm. Tegangan leleh rata-rata diperoleh berdasarkan pengujian laboratorium sebesar 445 MPa.

Jaring anyaman terbuat dari diameter kawat sebesar 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm dengan *opening* sebesar 15 x 15 mm, 20 mm x 20 mm, dan 25 mm x 25 mm berturut-turut untuk masing-masing diameter kawat anyam. Kuat leleh kawat anyam sebesar 500 MPa. Variasi kawat anyam ditampilkan pada **Gambar 1**.

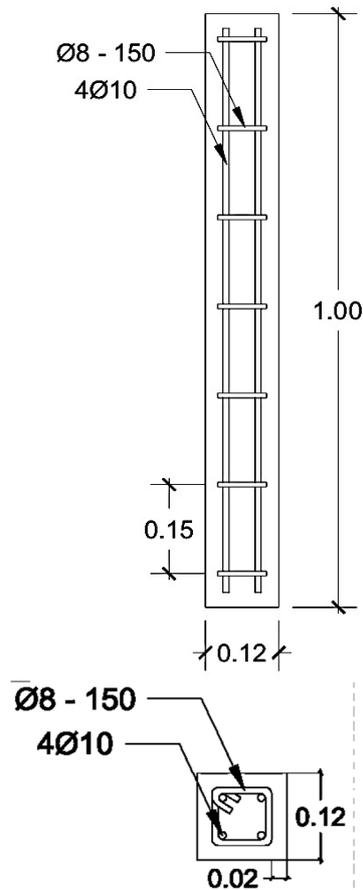


Gambar 1. Variasi Kawat Anyam

2.2. Persiapan Benda Uji

Kolom dirancang untuk beban tekan aksial sentris maksimum tidak melebihi 40 ton agar dapat disesuaikan dengan kapasitas alat *load cell* yang tersedia di laboratorium. Detail dimensi dan tulangan ditunjukkan pada **Gambar 2**. Kolom awal atau kolom kontrol berbentuk persegi dengan dimensi 120 mm x 120 mm x mm 1000 mm dan dicor dengan selimut beton setebal 20 mm. Empat batang berdiameter 10 mm digunakan sebagai tulangan longitudinal dan sengkang dengan tulangan diameter 8 mm dengan jarak 150 mm. Bagian atas dan bawah batang longitudinal dibengkokkan pada sudut 90° dan tambahan tulangan lateral pada ujung-ujung untuk menghindari kehancuran awal ujung kolom saat dibebani. Setelah pengecoran, begisting

dilepas setelah 24 jam dan dilakukan perawatan selama 28 hari. Rincian spesimen diberikan pada **Tabel 2**.



Gambar 2. Dimensi dan Detail Penulangan Kolom

Tabel 2. Detail Benda Uji

Spesimen	Jumlah (buah)	Dimensi (mm)	Diameter Kawat anyam (mm)	Beban (%)	
				Awal	Akhir
Kolom Kontrol	3	120 x 120	-	100	-
Kolom Perbaikan	3	150 x 150	0,5	60	100
	3	150 x 150	1,0	60	100
	3	150 x 150	1,5	60	100

2.3. Pengujian dan Perbaikan Kolom

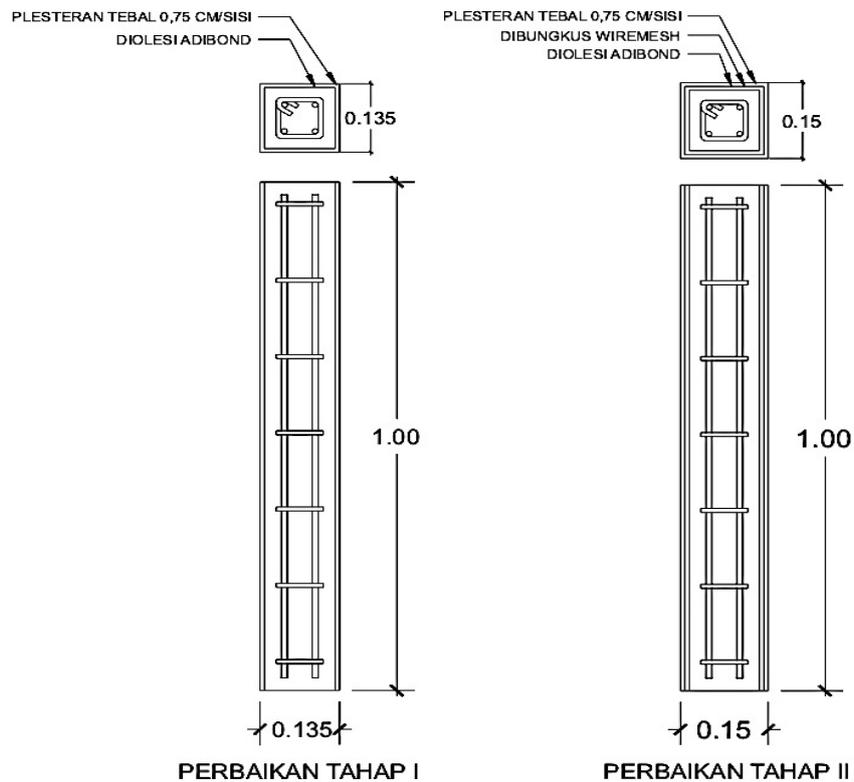
Kolom kontrol diberikan beban aksial sentris hingga 100% dari daya dukung beban ultimit. Kemudian kolom yang dimaksudkan untuk diperbaiki dengan ferosemen, diberikan kerusakan dengan memberikan beban sampai dengan 60% dari beban ultimit. *Setting* pengujian ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Perbaikan diawali dengan pembersihan dan pengkasaran permukaan kolom yang sudah di rusak dan melapisi dengan perekat beton (Adibond) dengan tujuan untuk memastikan lekatan antara bahan perbaikan dengan kolom asli. Selanjutnya plester atau mortar tahap pertama diaplikasikan setebal 7,5 mm dan menyelimuti permukaan kolom dengan kawat anyam. Proporsi campuran mortar adalah satu porsi berat semen berbanding dengan 2 porsi berat pasir.

Perekat beton diolesi pada permukaan kawat anyam, sebelum akhirnya dipasang mortar tahap kedua setebal 7,5 mm yang menyelimuti seluruh permukaan kawat anyam. Material plester atau mortar tahap kedua memiliki komposisi yang sama dengan material mortar tahap pertama. Perbaikan diakhiri dengan merawat kolom perbaikan selama 28 hari. Perbaikan kolom dijelaskan pada **Gambar 4**. Pengujian pada kolom perbaikan dilakukan dengan memberikan beban aksial sentris hingga beban ultimit tercapai.



Gambar 3. Setting Pengujian



Gambar 4. Detail Perbaikan Kolom

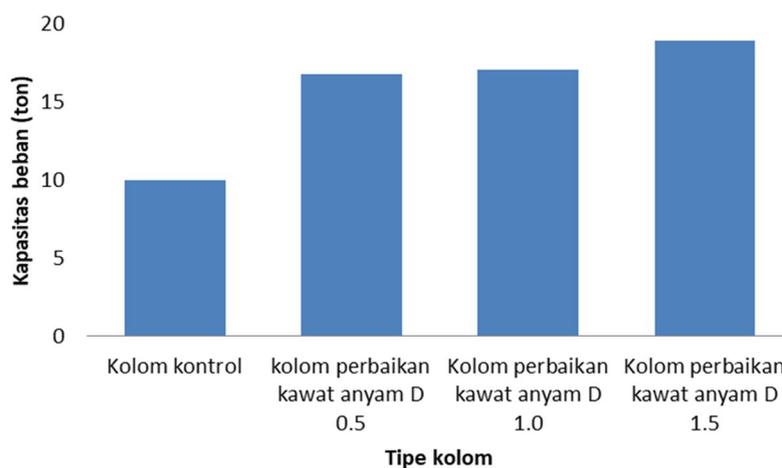
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Beban Aksial Sentris Kolom Kontrol

Beban aksial tekan yang dilakukan pada 3 buah benda uji kontrol sampai dengan runtuh menunjukkan nilai masing-masing benda uji sebesar 10,4 ton, 9,4 ton dan 10,2 ton dengan nilai rata-rata beban tekan sebesar 10 ton. Hasil pembebanan maksimum terbaca pada catatan alat bantu pembacaan beban dimana bacaan beban tidak menunjukkan kenaikan lagi dan dianggap sebagai pembebanan 100%. Nilai pembebanan 100% ini juga dilakukan untuk menentukan batas kerusakan 60% beban yaitu berkisar 6 ton. Selanjutnya beban aksial sebesar 6 ton ini diberikan pada 9 buah kolom lainnya. Sembilan buah kolom yang rusak ini dimaksudkan untuk diberikan perbaikan dengan kawat anyam dengan rincian tiga buah kolom diperbaiki dengan kawat anyam diameter 0,5 mm, 3 buah kolom diperbaiki dengan kawat anyam diameter 1 mm, dan 3 buah kolom diperbaiki dengan kawat anyam diameter 1,5 mm, seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 2.

3.2. Uji Kapasitas Beban Kolom Perbaikan

Setelah perbaikan, dilakukan observasi pada nilai kapasitas beban tekan maksimum yang dapat didukung oleh kolom perbaikan. Kolom perbaikan diberikan beban aksial sentris sampai dengan keruntuhan terjadi. Gambar 5 menunjukkan perbandingan kapasitas beban tekan pada kolom perbaikan dengan kolom kontrol. Kolom perbaikan dapat menahan beban maksimum sebesar rata-rata dari sembilan benda uji adalah 17,65 ton. Apabila dibandingkan dengan kapasitas awal dalam menahan beban tekan yaitu sebesar 10 ton, maka kemampuan kolom perbaikan dalam menahan beban maksimum lebih besar 1,75 kali kolom kontrol. Hasil ini mendekati dengan hasil penelitian dari (Sheikh et al., 2017) dimana dalam penelitian tersebut, kolom perbaikan menunjukkan kemampuan menahan beban sebesar 1,6 kali terhadap kolom asli. Kesamaan lainnya terdapat pada penggunaan satu lapis kawat anyam untuk perbaikan. Namun, pada penelitian tersebut hanya menggunakan satu tipe kawat anyam yaitu dengan opening 15 mm x 15 mm. Sebaliknya, pada hasil penelitian ini, rata-rata nilai kapasitas beban diperoleh dari tiga variasi kawat anyam.



Gambar 5. Kapasitas Beban Kolom

3.3. Pengaruh Diameter Kawat Anyam

Pengaruh variasi diameter kawat anyam terhadap kapasitas beban pada kolom perbaikan juga disampaikan pada **Gambar 5**. Terlihat bahwa semakin besar diameter kawat anyam memberikan peningkatan yang semakin besar pada kapasitas beban kolom perbaikan bila dibandingkan dengan kapasitas beban kolom kontrol.

Semua variasi perbaikan menunjukkan kapasitas beban yang lebih besar dibandingkan dengan kapasitas awal. Kenaikan kapasitas kolom perbaikan dengan penambahan ferosemen yaitu 65%, 71%, dan 89% berturut-turut untuk diameter kawat anyam 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm. Diameter kawat anyam terbesar memberikan efek peningkatan beban yang paling besar. Dengan demikian pemilihan ukuran diameter kawat anyam menjadi salah satu parameter yang harus diperhatikan dalam perbaikan kolom dengan menggunakan material ferosemen.

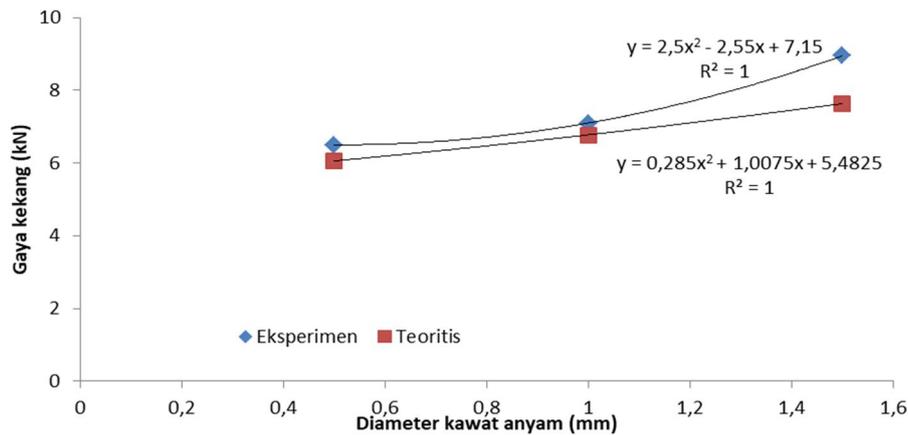
Hasil serupa dikemukakan oleh Kaish Dkk (2015) dimana peningkatan kapasitas beban setelah suatu kolom diberikan perbaikan dengan metode ferosemen diakibatkan oleh pengekangan yang diberikan oleh material kawat anyam. Besar pengekangan dipengaruhi salah satunya adalah berasal dari besarnya luas permukaan dari satu kawat. Luas permukaan pada kawat yang berbentuk lingkaran adalah suatu parameter penampang yang dipengaruhi oleh besarnya diameter kawat. Demikian pula Abdullah & Takiguchi (2003) menyatakan bahwa kapasitas beban terutama beban geser kolom dengan ferosemen sangat dipengaruhi oleh ukuran diameter kawat anyam yang dipakai.

3.4. Kajian Kekangan Kawat Anyam

Gambar 7 menunjukkan besarnya gaya kekang yang diberikan oleh ferosemen. Gaya kekang ini diperoleh berdasarkan besarnya penambahan gaya aksial yang diberikan setelah pemberian ferosemen dikurangi dengan besarnya gaya aksial yang ditunjukkan oleh kolom awal secara eksperimental. Bersama dengan grafik gaya kekang berdasarkan hasil eksperimental, disertakan pula grafik besaran gaya kekang yang dihitung secara teoritis berdasarkan persamaan dalam (Kaish et al., 2015) yang ditampilkan pada Persamaan 1. Besarnya gaya kekang pada **Gambar 6** telah memperhitungkan pengaruh mortar semen.

$$f_{cf} = \frac{2NA_w f_{yw} (H_j + b_w)}{D_c H_j b_w} \quad (1)$$

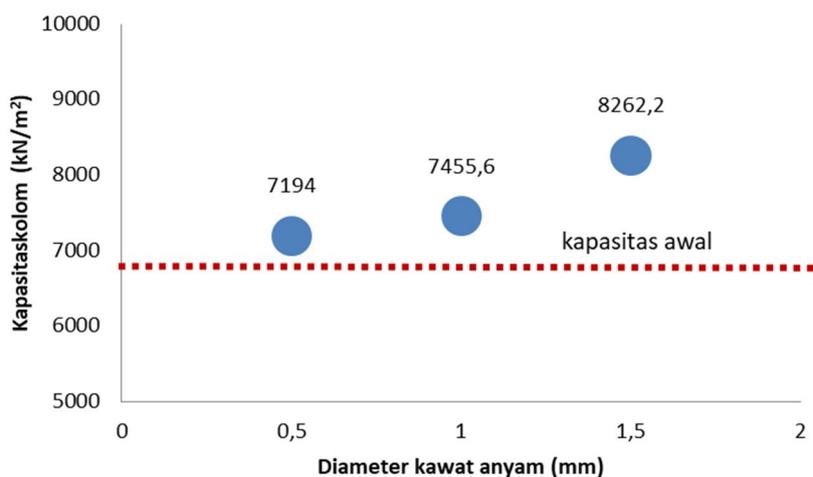
Dimana N adalah jumlah lapis kawat anyam, A_w adalah diameter kawat anyam, D_w adalah lebar opening, H_j adalah tinggi kolom, D_c adalah diameter inti kolom, dan f_{yw} adalah kuat leleh tulangan kawat anyam.



Gambar 6. Efek Pengekangan Secara Teoritis

Tampak pada **Gambar 6** bahwa baik berdasarkan hasil eksperimen maupun secara teoritis bahwa semakin besar diameter kawat anyam memberikan gaya kekang yang lebih efektif. Walaupun kedua hasil memberikan kecenderungan yang sama namun besarnya efek pengekangan yang lebih besar ditunjukkan pada hasil eksperimental. Faktor-faktor seperti kualitas material, cara pembuatan, dan pengujian diperkirakan menyebabkan perbedaan ini. Berdasarkan Kaish dkk (2015), bahwa efek pengekangan dipengaruhi oleh adalah jumlah lapis kawat anyam adalah diameter kawat anyam adalah lebar opening, tinggi kolom, diameter inti kolom, dan kuat leleh tulangan kawat anyam. Dalam penelitian ini diameter kawat anyam dan lebar opening merupakan variabel bebas dan faktor lainnya merupakan variable terikat. Secara konfigurasi bentuk, semakin besar diameter kawat anyam akan memiliki opening yang semakin besar dan sangat berpengaruh pada efektifitas pengekangan. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian dari (Ma et al., 2017; Soman & Mohan, 2018).

Efektifitas kekangan tampak jelas terlihat pada **Gambar 7**, dimana gambar ini menunjukkan kapasitas beban aksial kolom per satuan luas penampang. Perbaikan kolom menghasilkan luasan penampang yang lebih besar dari pada luas penampang kolom awal yaitu dari berukuran 120 mm x 120 mm menjadi 150 mm x 150 mm. Dengan demikian untuk mengetahui kenaikan kapasitas kolom apakah berasal dari penambahan luasan penampang atau berasal dari kekangan kawat anyam, maka kapasitas kolom dinyatakan dalam daya dukung beban per satuan luas penampang. Terihat bahwa seluruh diameter kawat anyam memberkan efek pengekangan pada kolom perbaikan. Peningkatan kapasitas kolom dalam hal ini meningkat berturut-turut sebesar 5,60%, 9,44%, dan 21,28% untuk diameter kawat anyam 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm.

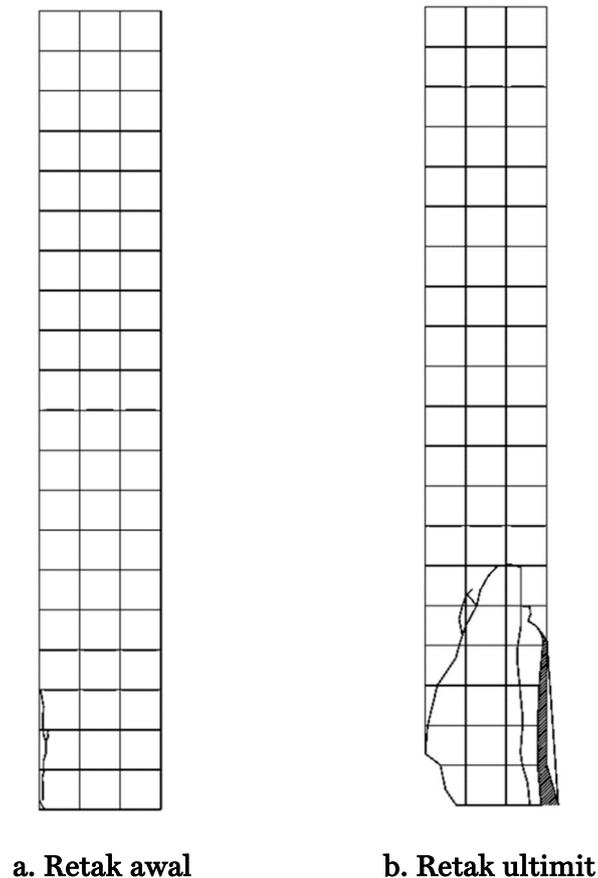


Gambar 7. Kapasitas Kolom per Satuan Luas Penampang

3.5. Pola Keretakan

Retak pertama terjadi pada kondisi pembebanan dibawah 40% dari beban maksimum terlihat pada specimen kolom perbaikan dengan diameter kawat anyam sebesar 0,5 mm. Retak ini terjadi pada saat beban masih dalam kondisi elastis. Namun pada kolom perbaikan dengan diameter kawat anyam lebih besar dari 0,5 mm yaitu 1 mm dan 1,5 mm, retak pertama terjadi saat beban elastis terlampaui yaitu sekitar 50-60% dari beban maksimum. Keretakan dini dapat terhindarkan pada kolom ini karena adanya pengekangan (*confinement*) dari ferosemen yang lebih efektif dengan diameter kawat anyam yang lebih besar.

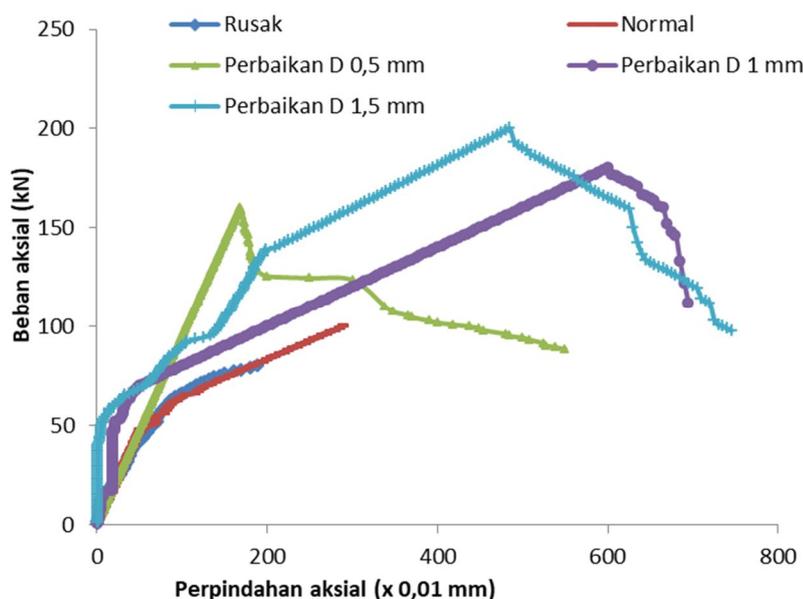
Baik retak pertama maupun retak ultimit ditemukan pada bagian atas maupun bawah specimen kolom. Hal ini ditemukan pada seluruh specimen akibat *Saint-Venant's effect* dimana distribusi gaya tekan aksial lebih besar terjadi pada daerah yang dekat dengan tempat beban bekerja (Timoshenko & Gere, 2009). Gambar 8 menunjukkan pola keretakan secara general pada semua kolom perbaikan.



Gambar 8. Pola Keretakan Kolom Perbaikan

3.6. Hubungan Beban-Perpindahan

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara beban aksial rata-rata dan perpindahan aksial rata-rata pada benda uji kolom normal, kolom rusak, dan kolom perbaikan yang meliputi perbaikan dengan kawat anyam diameter 0,5 mm, kawat anyam diameter 1 mm, dan kawat anyam diameter 1,5 mm. Untuk kolom normal dan kolom yang rusak tampak bahwa setelah beban puncak tercapai, benda uji langsung menunjukkan keruntuhan. Namun pada kolom perbaikan, tampak bahwa setelah beban maksimum tercapai, terjadi deformasi yang cukup signifikan sebelum keruntuhan terjadi. Hal ini terjadi baik pada kolom perbaikan dengan diameter 0,5 mm, 1 mm, maupun 1,5 mm. Kolom perbaikan dengan kawat anyam diameter 1,5 mm menunjukkan nilai deformasi terbesar bila dibandingkan dengan kolom perbaikan dengan diameter 0,5 mm dan 1 mm. Deformasi yang cukup sebelum terjadinya keruntuhan pada kolom perbaikan menunjukkan sifat daktilitas yang lebih baik bila dibandingkan dengan kolom kontrol (normal) dan kolom yang telah rusak.



Gambar 9. Hubungan Antara Beban Dan Perpindahan Aksial

Berdasarkan hasil penelitian ditemukan bahwa penggunaan kawat anyam walaupun dengan diameter paling kecil sekalipun mampu meningkatkan kapasitas beban aksial kolom yang telah rusak dan bahkan dapat lebih besar dari kapasitas awal sebelum rusak. Selain itu tampak bahwa pola keruntuhan dan nilai daktilitas kolom perbaikan menunjukkan perilaku yang lebih baik dibandingkan dengan kolom kontrol. Secara ketersediaan kawat anyam relatif mudah didapatkan dan harganya relatif murah bila dibandingkan metode *jacketing* lainnya seperti penambahan *fiber wrap* ataupun baja tulangan. Ditinjau dari metode pelaksanaannya pun dapat menggunakan peralatan pertukangan yang sederhana dan proses yang cepat. Dengan demikian diharapkan hasil penelitian ini dapat secara potensial diterapkan dalam perbaikan struktur kolom yang rusak pasca gempa.

4. KESIMPULAN

Artikel ini membahas tentang perbaikan kerusakan kolom dengan material ferosemen. Diameter kawat anyam divariasikan dalam 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm. Kapasitas beban rata-rata kolom awal dengan luas penampang 120 mm x 120 mm mencapai 10 ton. Setelah mengalami kerusakan 60% dari beban awal, kolom diperbaiki dengan menambahkan kawat anyam dan perbesaran penampang menjadi 150 mm x 150 mm. Kolom perbaikan mengalami peningkatan kapasitas beban rata-rata 1,75 kali dibandingkan kapasitas beban rata-rata awal.

Semakin besar diameter kawat anyam memberikan peningkatan yang semakin besar pada kapasitas beban kolom perbaikan bila dibandingkan dengan kapasitas beban kolom kontrol. Kenaikan kapasitas kolom perbaikan dengan penambahan ferosemen yaitu 65%, 71%, dan 89% berturut-turut untuk diameter kawat anyam 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm. Dalam penelitian ini diperoleh bahwa kawat anyam dengan diameter kawat terbesar yang paling efektif memberikan efek pengekanan pada kolom perbaikan.

Kapasitas beban aksial kolom per satuan luas penampang kolom menunjukkan peningkatan berturut-turut sebesar 5,60%, 9,44%, dan 21,28% untuk diameter kawat anyam 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm. Hal ini membuktikan bahwa kawat anyam efektif dalam memberikan

pengekangan pada kolom perbaikan. Demikian pula berdasarkan kurva hubungan beban dan perpindahan, perilaku daktail lebih ditunjukkan oleh kolom perbaikan.

Perlu dilakukan penelitian lanjutan yang menggunakan diameter kawat yang lebih besar untuk mendapatkan nilai optimal pada efek pengekangan dengan kawat anyam pada kolom perbaikan karena secara teoritis menunjukkan bahwa semakin besar kawat anyam maka akan memberikan efektifitas perbaikan yang semakin besar. Namun dalam perbaikan tetap mempertimbangkan desain yang aman terhadap struktur secara keseluruhan, estetika, dan biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, & Takiguchi, K. (2003). An investigation into the behavior and strength of reinforced concrete columns strengthened with ferrocement jackets. *Cement and Concrete Composites*, 25(2), 233–242. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00005-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00005-7)
- Artiningsih, T. P. (2017). Kajian penggunaan ferrocement untuk retrofit kolom beton bertulang dengan variasi tingkat pembebanan. *Prosiding Semnastek*.
- Arya, A. S., Boen, T., & Ishiyama, Y. (2014). *Guidelines for earthquake resistant non-engineered construction*. UNESCO.
- Kaish, A. B. M. A., Jamil, M., Raman, S. N., & Zain, M. F. M. (2015). Axial behavior of ferrocement confined cylindrical concrete specimens with different sizes. *Construction and Building Materials*, 78, 50–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.044>
- Kaish, A. B. M. A., Jamil, M., Raman, S. N., Zain, M. F. M., & Nahar, L. (2018). Ferrocement composites for strengthening of concrete columns: A review. *Construction and Building Materials*, 160, 326–340. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.054>
- Lalaj, O., Yardim, Y., & Yilmaz, S. (2015). Recent perspectives for ferrocement. *Res. Eng. Struct. Mat*, 1, 11–23.
- Ma, C.-K., Apandi, N. M., Sofrie, C. S. Y., Ng, J. H., Lo, W. H., Awang, A. Z., & Omar, W. (2017). Repair and rehabilitation of concrete structures using confinement: A review. *Construction and Building Materials*, 133, 502–515. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.100>
- Mourad, S. M., & Shannag, M. J. (2012). Repair and strengthening of reinforced concrete square columns using ferrocement jackets. *Cement and Concrete Composites*, 34(2), 288–294. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.09.010>
- Sheikh, T. R., Khan, M. K., & Izhar, T. (2017). Strengthening of RC short square columns subjected to concentric axial loading by Ferrocement Jacketing. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(4), 3490–3495.
- SNI. (2000). *SNI 03-2834-2000: Procedure for Making Normal Concrete*.
- SNI. (2012). *SNI ASTM C136-2012: Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus Dan Agregat Kasar*. Badan Standardisasi Nasional.
- Soman, M., & Mohan, J. (2018). Rehabilitation of RC columns using ferrocement jacketing. *Construction and Building Materials*, 181, 156–162. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.206>
- Timoshenko, S. P., & Gere, J. M. (2009). *Theory of elastic stability*. Courier Corporation.
- Tjokrodimuljo, K. (2007). *Concrete Technology (in Indonesian)*. Nafiri.
- Woodson, R. D. (2009). *Concrete structures: protection, repair and rehabilitation*. Butterworth-Heinemann.