

POLA RETAK KOLOM YANG DIRETROFIT MENGGUNAKAN WIREMESH DAN SELF-COMPACTING CONCRETE AKIBAT BEBAN LATERAL

Crack Patterns in Retrofitted Columns Using Wire Mesh and Self-Compacting Concrete Due to Lateral Loads

Syahrul Satar

Institut Teknologi Bacharuddin Jusuf Habibie

Email: rulsatar@ith.ac.id

Abstract

Retrofitting is one method used to restore the capacity, ductility, and stiffness of reinforced concrete columns that have been damaged by lateral loads such as earthquakes. This study analyzes the crack patterns in reinforced concrete columns that have been retrofitted using wire mesh and self-compacting concrete (SCC) based on experimental data from three specimens: control column (KK), fully retrofitted column (KR-1), and column retrofitted in the plastic hinge region (KR-2). Loading was performed cyclically with displacement control following SNI 7834:2012. The results showed that retrofitting with wire mesh and SCC significantly modified the crack pattern, delayed the appearance of initial cracks, reduced the number of cracks, and limited crack propagation in the plastic hinge area. KR-1 and KR-2 showed more concentrated flexural crack patterns that were not as extensive as those in KK, and had better final deformation and post-elastic capacity. In conclusion, the installation of wire mesh and SCC, either fully or only at the plastic hinge, was effective in controlling crack patterns and improving column performance against lateral loads.

Keywords: Crack Pattern, Retrofitting, Columns, Self-Compacting Concrete, Lateral Loads

Abstrak

Retrofitting merupakan salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan kembali kapasitas, daktilitas, dan kekakuan kolom beton bertulang yang mengalami kerusakan akibat beban lateral seperti gempa bumi. Penelitian ini menganalisis pola retak pada kolom beton bertulang yang diretrofit menggunakan wiremesh dan self-compacting concrete (SCC) berdasarkan data eksperimental dari tiga benda uji: kolom kontrol (KK), kolom retrofit penuh (KR-1), dan kolom retrofit pada daerah sendi plastis (KR-2). Pembebanan dilakukan secara siklik dengan displacement control mengikuti SNI 7834:2012. Hasil penelitian menunjukkan bahwa retrofitting dengan wiremesh dan SCC secara signifikan memodifikasi pola retak, menunda munculnya retak awal, mengurangi jumlah retak, serta membatasi perambatan retak pada area sendi plastis. KR-1 dan KR-2 menunjukkan pola retak lentur yang lebih terkonsentrasi dan tidak seluas pada KK, serta memiliki deformasi akhir dan kapasitas pasca-elastis yang lebih baik. Kesimpulannya, pemasangan wiremesh dan SCC, baik penuh maupun hanya pada sendi plastis, efektif dalam mengontrol pola retak dan meningkatkan performa kolom terhadap beban lateral.

Kata Kunci: Pola Retak, Perbaikan Struktur, Kolom, Beton Self-Compacting, Beban Lateral

PENDAHULUAN

Kolom beton bertulang merupakan elemen struktural utama yang berfungsi memikul beban aksial dan gaya lateral, terutama akibat gempa bumi. Kerusakan

struktural akibat gempa dapat bervariasi dari tingkat ringan hingga sangat parah, namun salah satu kegagalan paling berbahaya adalah keruntuhan kolom karena dapat memicu runtuhnya seluruh bangunan (Legeron et.al., 2000). Pada banyak kasus, kerusakan kolom terjadi di daerah sendi plastis, khususnya pada struktur dengan daktilitas rendah atau yang telah mengalami degradasi kekuatan akibat beban berlebih saat gempa (Siddiq, 1997). Pada kolom tanpa perkuatan, retak akibat beban lateral berkembang cepat dan tidak terkendali sehingga mempercepat penurunan kapasitas dan stabilitas struktur.

Struktur dengan tingkat kerusakan sedang masih memungkinkan untuk diperbaiki dan diperkuat melalui metode retrofit. Retrofitting merupakan upaya perbaikan dan perkuatan yang bertujuan untuk meningkatkan atau memulihkan kekuatan serta daktilitas struktur agar mampu berperilaku lebih baik terhadap beban gempa di masa depan (Seible et al., 1997; Williams et al., 1997). Daktilitas kolom beton sangat ditentukan oleh mekanisme pembentukan sendi plastis pada ujung-ujung kolom. Oleh karena itu, pengendalian perilaku sendi plastis menjadi kunci dalam meningkatkan kinerja seismik kolom. Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja kolom pada daerah sendi plastis adalah dengan penambahan jaket (jacketing). Pemberian jaket dapat mengurangi kemungkinan kegagalan di area sendi plastis serta meningkatkan confinement beton inti. Untuk meminimalkan volume pekerjaan retrofit, panjang daerah sendi plastis perlu ditentukan berdasarkan kinerja kolom dan efek deformasi yang terjadi (Jiang et al., 2014).

Berbagai metode perkuatan kolom telah dikembangkan, salah satunya menggunakan material Fiber Reinforced Polymer (FRP) seperti CFRP, GFRP, dan AFRP (Ma et al., 2016). Meskipun efektif, material FRP memiliki kendala utama berupa biaya yang relatif tinggi sehingga sulit diterapkan secara luas di Indonesia, khususnya untuk bangunan publik di daerah terpencil dan rumah sederhana rawan gempa. Sebagai alternatif yang lebih ekonomis dan mudah diperoleh, penelitian ini mengkaji metode concrete jacketing menggunakan wiremesh dan beton Self-Compacting Concrete (SCC). Wiremesh bersifat fleksibel dan dapat dibentuk dalam berbagai pola, seperti persegi, heksagonal, atau bundar, serta dapat dipasang dalam beberapa lapisan sehingga mampu meningkatkan daktilitas kolom secara signifikan di bawah beban siklik dan meningkatkan kekuatan geser kolom (Kadir et al., 2016; Wuaten et.al., 2021). Penggunaan SCC juga memberikan keuntungan dalam pelaksanaan karena kemampuannya mengisi rongga secara rapat tanpa pemadatan mekanis, sehingga menghasilkan ikatan yang baik antara kolom lama dan jaket baru. (Satar et al., 2023)

Untuk menilai efektivitas metode retrofit tersebut, analisis pola retak menjadi parameter penting karena retakan merupakan indikator distribusi tegangan, mekanisme kerusakan, serta potensi pembentukan sendi plastis. Oleh karena itu, penelitian ini membandingkan pola retak tiga variasi kolom, yaitu kolom tanpa retrofit, kolom dengan retrofit penuh, dan kolom dengan retrofit sebagian pada daerah sendi plastis.

METODE

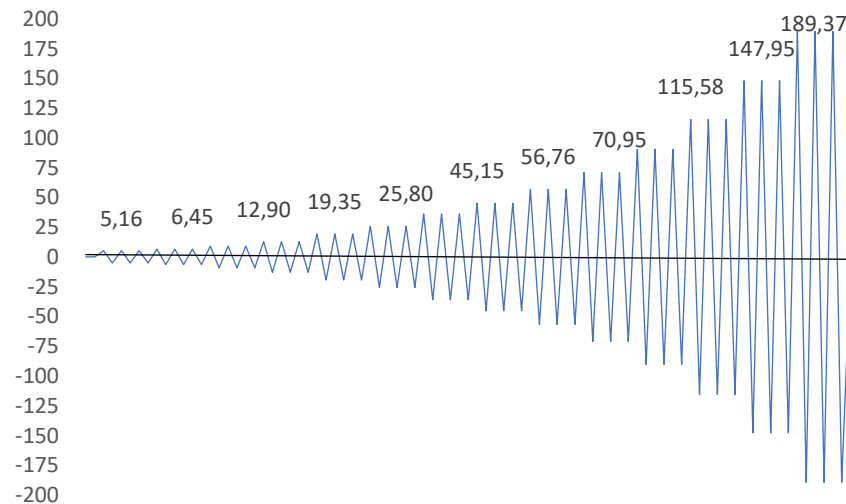
Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kolom beton bertulang berskala penuh (full scale) dengan dimensi penampang 300 × 300 mm dan

tinggi 1460 mm. Kolom tersebut diperkuat dengan tulangan longitudinal BJTD 8D16 mm dan tulangan sengkang BJTP berdiameter 10 mm dengan jarak 150 mm. Mutu beton yang digunakan pada kolom adalah $f_c' = 25$ MPa, sedangkan mutu baja tulangan adalah $f_y = 390$ MPa. Total benda uji terdiri atas tiga kolom, yaitu kolom kontrol (KK) sebagai pembanding, kolom retrofit KR-1 yang diperkuat menggunakan wire mesh berdiameter 6 mm dan dilapisi Self Compacting Concrete (SCC) dengan mutu $f_c' = 25$ MPa setebal 50 mm pada keempat sisi dengan tinggi perkuatan 1160 mm, serta kolom retrofit KR-2 yang juga diperkuat dengan wire mesh berdiameter 6 mm dan SCC dengan spesifikasi yang sama namun dengan tinggi perkuatan 700 mm. Konfigurasi dan detail masing-masing benda uji ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Benda Uji

Untuk memantau besarnya deformasi yang terjadi pada benda uji, dua buah LVDT dipasang pada sisi depan dan belakang kolom, sejajar dengan arah kerja beban siklik. Seluruh perangkat pengukuran ini kemudian dihubungkan ke data logger yang tersambung ke komputer untuk merekam data selama pengujian. Proses pengujian dilakukan dengan menerapkan beban siklik menggunakan metode displacement control, dengan pola pembebanan yang mengacu pada SNI 7834:2012, yakni dengan rasio drift bertahap sebesar 0,2%, 0,25%, 0,35%, 0,5%, 0,75%, 1,00%, 1,40%, 1,75%, 2,20%, dan seterusnya sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2. Beban siklik tersebut dihasilkan oleh hydraulic jack yang memiliki kapasitas hingga 1100 kN.



Gambar 2. Siklus pembebanan benda uji

Pengujian benda uji dilakukan setelah seluruh proses setting up dan pemasangan instrumen eksternal selesai, serta setelah benda uji mencapai umur 28 hari. Pengujian dilakukan dengan memberikan kontrol perpindahan (displacement control) melalui panel kontrol sesuai dengan pola pembebanan yang telah ditetapkan. Pengujian dihentikan apabila benda uji tidak lagi menunjukkan peningkatan kapasitas beban atau terjadi penurunan beban yang terpantau pada sistem komputer. Selama proses pengujian berlangsung, dilakukan observasi dan pendokumentasian pola retak pada setiap siklus dan tahapan pembebanan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kapasitas Beban Kolom

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kolom yang diperkuat penuh menggunakan wiremesh dan SCC (KR1) memiliki kapasitas terhadap beban siklik yang lebih tinggi dibandingkan kolom kontrol (KK) maupun kolom dengan retrofit terbatas pada daerah sendi plastis (KR2), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kapasitas Beban Kolom

Drift (%)	Beban (kN)					
	Kolom Kontrol (KK)		Kolom Retrofit 1 (KR1)		Kolom Retrofit 2 (KR2)	
	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan	Tarik
0,2	2,87	2,00	5,4	3,59	5,29	3,06
0,25	3,87	3,21	6,02	4,53	6,07	4,1
0,35	4,73	4,92	9,88	5,68	8,35	5,4
0,5	6,55	5,73	12,56	8,15	11,47	7,66
0,75	9,89	8,55	17,85	11,01	15,53	10,56
1	13,50	11,59	22,07	14,78	20,55	14,03
1,4	17,50	15,67	27	20,82	24,5	19,7
1,75	20,00	23,00	30	26,4	27,6	24,5

2,2	23,00	26,00	33,57	31,5	31,3	28,93
2,75	24,80	26,88	35,1	35	35,4	33
3,5	24,98	27,20	35,8	37,5	35	36
4,48	-	-	36,64	37,4	33,9	35,7
5,73	-	-	34,9	37	33	35

Pada beban kondisi tekan, benda uji KK menunjukkan peningkatan kapasitas yang cukup signifikan hingga mencapai drift rasio 2,2%, kemudian grafik beban mulai stabil dan cenderung mendatar hingga drift rasio 3,5%. Pada tahap awal pembebanan tekan, benda uji memperlihatkan respons linier elastis hingga beban 20 kN pada drift rasio 1,75%. Sebaliknya, pada beban kondisi tarik, respons linier elastis terjadi hingga beban 23 kN pada drift rasio yang sama.

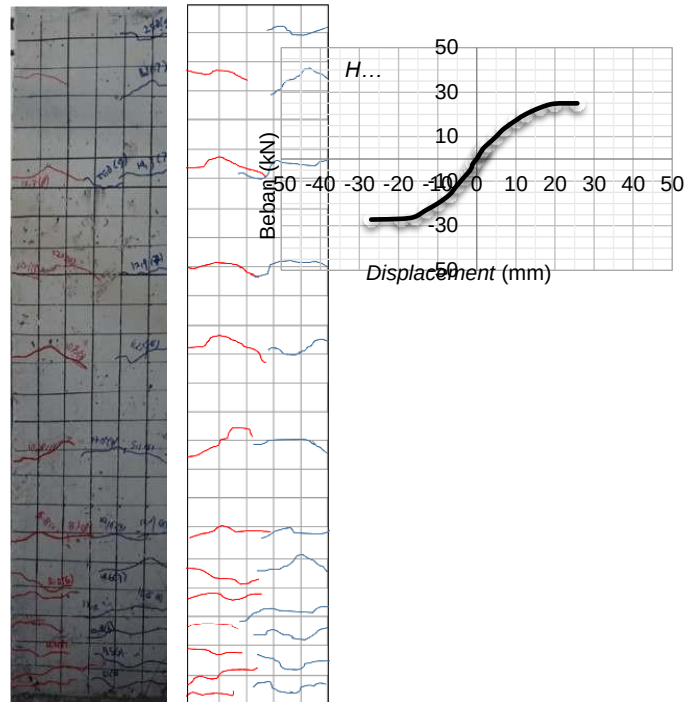
Untuk benda uji KR-1, peningkatan beban pada beban kondisi tekan berlangsung signifikan hingga drift rasio 2,75%, kemudian peningkatannya melambat dan cenderung konstan hingga drift rasio 5,37%. Pada beban kondisi tarik, peningkatan beban signifikan terjadi hingga drift rasio 3,5%, lalu grafik mendatar hingga drift rasio 5,73%. Pada tahap awal pembebanan tekan, benda uji KR-1 menunjukkan perilaku linier elastis hingga beban 30 kN pada drift rasio 1,75%, sedangkan pada pembebanan tarik perilaku linier elastis terjadi hingga beban 26,4 kN.

Sementara itu, benda uji KR-2 memperlihatkan respons linier elastis hingga beban 27,6 kN pada drift rasio 1,75%. Pada beban kondisi tarik, perilaku linier elastis teramati hingga beban 24,5 kN pada simpangan rasio 1,75%. Seiring bertambahnya intensitas dan siklus pembebanan, seluruh benda uji mengalami transisi perilaku dari linier menuju non-linier, yang menandai dimulainya respons inelastik pada zona pasca-leleh. Perubahan tersebut menyebabkan terjadinya penurunan kekakuan lateral pada masing-masing benda uji.

2. Pola Retak Benda Uji

a. Pola Retak Benda Uji Kolom Kontrol (KK)

Retak pertama pada benda uji muncul akibat beban tarik sebesar 8,550 kN pada drift rasio 0,75%, kemudian retak berikutnya terjadi akibat beban tekan sebesar 9,890 kN pada drift rasio yang sama. Retak awal ini terbentuk pada daerah sendi plastis, tepatnya berjarak sekitar 30 cm dari bagian bawah muka kolom. Seiring meningkatnya siklus pembebanan, jumlah retak di area sendi plastis bertambah, kemudian berkembang ke bagian tengah benda uji dan meluas hingga ke bagian atas pada drift rasio 1,75%. Pola retak pada benda uji KK dapat dilihat pada Gambar 3.

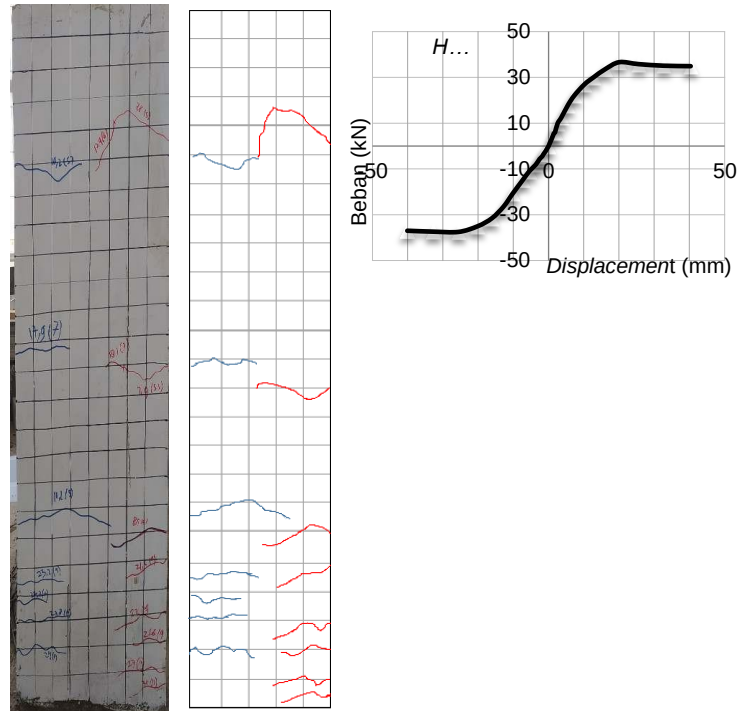


Gambar 3. Pola Retak Benda Uji Kolom Kontrol (KK)

Pada siklus pembebanan berikutnya, hingga akhir pengujian pada drift rasio 3,5%, tidak terbentuk retak baru; yang terjadi hanya pelebaran retak yang sudah ada. Kondisi ini disebabkan mekanisme sendi plastis pada kaki kolom telah berkembang sepenuhnya dan tulangan longitudinal di zona sendi plastis mulai mengalami pelelehan. Pola retak yang terbentuk merupakan retak lentur, ditandai dengan arah retak yang sejajar dengan arah kerja beban.

b. Pola Retak Benda Uji Kolom Retrofit 1 (KR-1)

Pola retak pada benda uji KR-1 akibat pembebanan ditunjukkan pada Gambar 4. Retak awal muncul pada drift rasio 0,75% akibat beban tarik sebesar 11,100 kN. Retak pertama ini terjadi pada daerah sendi plastis, berada pada jarak sekitar 33 cm dari tepi bawah muka kolom. Selanjutnya, pada pembebanan tekan dengan simpangan rasio 0,75%, terjadi retak tambahan akibat beban sebesar 17,850 kN. Dengan bertambahnya jumlah siklus dan besarnya beban, jumlah retak terus meningkat di area sendi plastis, kemudian berkembang ke bagian tengah benda uji, dan selanjutnya merambat hingga bagian atas pada simpangan rasio 1,75%.

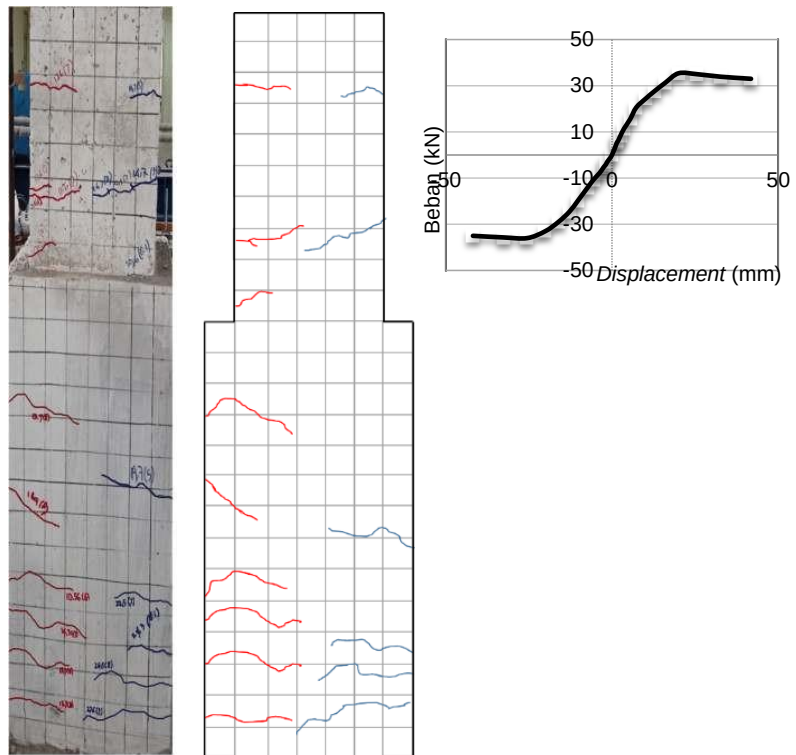


Gambar 4. Pola Retak Benda Uji Kolom Retrofit-1 (KR-1)

Pada siklus-siklus berikutnya hingga akhir pengujian pada drift rasio 5,73%, tidak terbentuk retak baru dan pelebaran retak yang sudah ada pun tidak signifikan, berbeda dengan kondisi pada benda uji KK. Hal ini disebabkan karena benda uji KR-1 merupakan benda uji yang telah diretrofit penuh pada seluruh badan kolom sehingga sebagian retak tertutupi dan tidak dapat diamati secara langsung. Secara umum, pola retak yang terjadi pada benda uji KR-1 serupa dengan pola pada benda uji KK, namun jumlah retaknya lebih sedikit. Retak yang muncul didominasi oleh retak lentur, yang arahnya mengikuti arah kerja beban siklik.

c. Pola Retak Benda Uji Kolom Retrofit 2 (KR-2)

Pada benda uji KR-2, retak pertama muncul pada drift rasio 0,75% akibat beban tarik sebesar 10,560 kN. Retak berikutnya terjadi pada beban tekan sebesar 15,525 kN pada drift rasio 0,75%. Retak awal ini berada pada area potensi sendi plastis, dengan jarak sekitar 31 cm dari tepi bawah muka kolom. Seiring bertambahnya jumlah siklus pembebanan, jumlah retak meningkat di area sendi plastis, kemudian merambat ke bagian tengah benda uji, dan akhirnya mencapai bagian atas hingga pada simpangan rasio 1,75%.



Gambar 5. Pola Retak Benda Uji Kolom Retrofit-1 (KR-1)

Pada siklus-siklus pembebanan selanjutnya, hingga akhir pengujian pada simpangan rasio 5,73%, tidak ditemukan retak baru dan pelebaran retak yang sudah ada tidak signifikan, serupa dengan kondisi pada benda uji KK. Hal ini terjadi karena benda uji KR-2 merupakan elemen yang telah diretrofit pada daerah sendi plastis sehingga sebagian pola retak tertutup dan tidak dapat diamati secara langsung. Secara umum, pola retak pada benda uji KR-2 mirip dengan pola yang terjadi pada benda uji KK dan KR-1, namun jumlah retaknya lebih sedikit. Retak yang terbentuk didominasi oleh retak lentur yang arahnya sejalan dengan arah pembebanan siklik.

KESIMPULAN

Pola retak kolom retrofit (KR-1 dan KR-2) menunjukkan pengendalian retak yang lebih baik dibanding kolom tanpa retrofit (KK). Retak pada kolom retrofit muncul lebih lambat, lebih sedikit, dan lebih terlokalisasi di area sendi plastis. KR-1 memberikan performa terbaik dalam membatasi perambatan retak, sedangkan KR-2 tetap efektif meskipun sebagian zona kolom tidak diperkuat. Metode retrofit menggunakan wiremesh dan SCC terbukti mampu meningkatkan daktilitas, kemampuan disipasi energi, serta ketahanan kolom terhadap beban lateral siklik.

DAFTAR PUSTAKA

- Jiang, C., Wu, Y. F., & Wu, G. (2014). Plastic hinge length of FRP-confined square RC columns. *Journal of Composites for Construction*, 18(2), 1–12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000415](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000415)

- Kadir, A., Satyarno, I., Suhendro, B., & Triwiyono, A. (2016). Perilaku kolom yang diperkuat kombinasi wire rope dan wire mesh. Dalam Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2016 (hlm. xx–xx). Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Legeron, F., & Paultre, P. (2000). Behavior of high-strength concrete columns under cyclic flexure and constant axial load. *ACI Structural Journal*, 97(4), 591–601.
- Macdonald, S. (2008). *Concrete: Building pathology*. John Wiley & Sons.
- Ma, C. K., Apandi, N. M., Yung, S. C. S., Hau, N. J., Haur, L. W., 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/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.128>
- Michael, W. H. (2022). Disipasi energi pada kolom dijacketing dengan wire mesh dan self compacting concrete akibat beban siklik. *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 11(1), xx–xx.
- Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-compacting concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1), 5–15. <https://doi.org/10.3151/jact.1.5>
- Satar, S., Parung, H., & Amiruddin, A. A. (2023). Ductility of retrofit column using wire mesh and self-compacting concrete due to lateral cyclic load. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1134(1), 012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1134/1/012045>
- Seible, F., Priestley, M. J. N., Hegemier, G. A., & Innamorato, D. (1997). Seismic retrofit of RC columns with continuous carbon fiber jackets. *Journal of Composites for Construction*, 1(2), 52–62. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(1997\)1:2\(52\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(1997)1:2(52))
- Siddiq. (1997). Perilaku kolom terhadap beban kombinasi aksial dan lentur berulang. *Jurnal Pemukiman*, 10(11–12), 6–19.
- Standar Nasional Indonesia. (2012). Metode uji dan kriteria penerimaan sistem struktur rangka pemikul momen beton bertulang pracetak untuk bangunan gedung. Badan Standardisasi Nasional.
- Williams, M. S., Villemure, I., & Sixsmith, R. G. (1997). Evaluation of seismic damage indices for concrete elements loaded in combined shear and flexure. *ACI Structural Journal*, 94(3), 315–322.
- Wuaten, H. M., Parung, H., Amiruddin, A. A., & Irmawaty, R. (2021). Kekakuan kolom persegi beton bertulang diretrofit dengan wire mesh akibat beban siklik. Dalam Prosiding Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur Abad 21 (hlm. 150–155). Universitas Gadjah Mada.