

Metode Eksperimental Struktur Kolom Beton Bertulang Tahan Gempa Menggunakan CFRP Sebagai Eksternal Confinement

Karmila Achmad¹, Agoes SMD² dan Tavo³

1. Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Balikpapan, Balikpapan
 2. Jurusan Teknik Sipil Struktur Universitas Brawijaya, Malang
 3. Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan-FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Email : milabpp@yahoo.co.id

Abstract

This paper analyzes about the increasing of the strength by seismic load in RC square column structure which has been given CFRP external confinement. There are two specimens will be compared. They are C-1 and C-1C. C-1 is control column and C-1C is column with CFRP external confinement. Analysis experimental result got that collapse C-1 column at plastic hinge zone and collapse C-1C column until the end of the test the damage of column surface from all of plastic hinge zone. They are effected by the concrete damage and colour of the resin CFRP changing and the increasing displacement 77% from the plan. From 3 strength parameters, show that C-1C increases its strength for P_{max} increase 54,97%, δ_{max} is 81,18% and M_{max} is 55,36% for C-1.

Keywords- Seismic load, CFRP, RC column, Experimental method, External confinement,

Abstrak

Makalah ini meneliti mengenai peningkatan kekuatan dengan adanya beban gempa yang bekerja pada elemen struktur kolom beton bertulang pada bangunan tinggi yang telah diberi pengekangan eksternal CFRP. Ada dua benda uji yang akan dibandingkan yaitu C-1 sebagai kolom control dan C-1C sebagai kolom dengan pengekangan CFRP. Dari hasil eksperimental kegagalan kolom C-1 terjadi pada zona sendi plastis dan C-1C sampai akhir pengujian permukaan kolom pada zona sendi plastis secara keseluruhan sudah tidak rata akibat rusak beton dibagian dalam dan perubahan warna resin CFRP serta terjadi peningkatan displacement 77% dari displacement rencana. Dari 3 parameter kekuatan menunjukkan bahwa C-1C memiliki kekuatan meningkat dengan rincian P_{max} meningkat 54,97%, δ_{max} meningkat 81,18% dan M_{max} meningkat 55,36%.

Kata Kunci- Beban gempa, CFRP, Kolom beton bertulang, Metode eksperimental, Pengekangan eksternal

1. Pendahuluan

Tren penduduk perkotaan terus mengalami peningkatan yang tercermin pada semua propinsi di Indonesia. Di tahun 2000, persentase penduduk daerah perkotaan sudah mencapai 42 persen. Dan pada tahun 2015 diprediksi prosentase penduduk kota akan menjadi lebih besar dibandingkan desa yaitu 56%. Dengan pertumbuhan penduduk kota yang melampaui kapasitas dari lahan kota akan berakibat pada pertumbuhan kota yang vertikal (*uper ground*). Baik berupa pertumbuhan ke atas (*overground space*) maupun kebawah (*underground space*).

Untuk Indonesia saat ini pertumbuhan kota lebih mengarah pada *overground space*, ini terbukti dengan banyaknya bangunan tinggi dan bermunculan gedung pencakar langit. Namun tanpa disadari pertumbuhan kota keatas adalah sangat rawan terhadap bahaya gempa bumi. Sehingga perlu dilakukan antisipasi terhadap gedung-gedung tinggi dengan memberikan inovasi material sebagai perkuatan struktur bangunan tinggi agar didapatkan peningkatan kekuatan struktur sehingga aman dari bahaya gempa.

2. Tinjauan Pustaka

Fenomena Gempa Bumi

Kondisi *overground space* menimbulkan resiko yang tinggi atas bahaya gempa bumi. Sehingga perilaku gempa (jalur *seismic*, titik pusat gempa, serta kecenderungan pergeseran kulit bumi), secara makro harus dipahami untuk kepentingan meminimalisir dampak kerusakan bangunan dan kota akibat terjadinya gempa. Beberapa kasus bencana gempa bumi di perkotaan korban jiwa terbesar justru diakibatkan oleh efek sekunder (*secondary effect*) yaitu terjadinya "keruntuhan" bangunan pasca guncangan gempa, serta karena kebakaran sebagai efek sampingnya. Efek sekunder terjadi karena adanya gerakan susulan yang dapat mencapai pada wilayah yang lebih luas, yang menyebabkan kerusakan yang relatif besar.

Kerawanan bencana gempa di Indonesia secara geologis memiliki potensi yang besar, khususnya pada beberapa bagian wilayah dan kota yang berada pada jalur yang dilalui patahan lempeng (*tectonic*) Eurasian (Asia, pasifik dan Australia) dan garis *circumstance*, "*Pacific-rims: ring of fire*" yaitu garis potensi bencana gunung berapi (*volcanic*) yang membentang di sepanjang Asia, Pasifik, dan Amerika yang melewati wilayah Indonesia. Adanya hasil revisi peta gempa Indonesia menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan zona gempa untuk beberapa wilayah di Indonesia. Dan korban gempa bumi terbesar (75% lebih) terjadi di wilayah perkotaan.¹⁹

Kekuatan Struktur Gedung Tinggi

Dengan banyaknya penduduk kota akan berakibat pada pertumbuhan kota vertikal ke atas. Disisi lain pada struktur gedung tinggi adalah rawan terhadap bahaya gempa bumi. Terutama untuk wilayah Indonesia yang mengalami peningkatan zona gempa.¹⁸ Kekuatan struktur erat kaitannya dengan adanya peningkatan beban secara tiba-tiba (beban gempa) yang melampaui desain awal

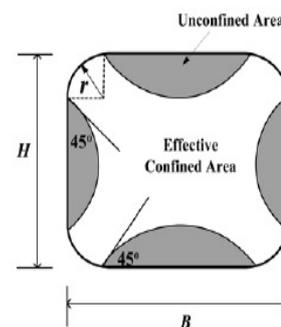
Kolom memegang peranan penting dalam struktur gedung, mengingat kegagalan kolom akan mengakibatkan kegagalan

(*collapse*) struktur secara keseluruhan. Disisi lain, kolom adalah elemen struktur yang rentan terhadap kegagalan ketika menerima beban gempa.¹¹ Dalam penelitian ini beban gempa direpresentasikan dengan beban siklik.

Kolom Penampang Persegi

Perilaku pengekanan eksternal untuk kolom persegi berbeda dibanding kolom bulat. Pada kolom persegi efektifitas pengekanan akan jauh berkurang jika dibandingkan dengan kolom bulat.⁷

Pada gambar 1 menunjukkan bentuk dari bagian yang terkekang untuk dimensi $B \times H$ dan jari-jari sudut r . Daerah tidak terkekang umumnya diwakili oleh empat parabola (fungsi kuadrat) dengan kemiringan awal adalah 45 derajat.



Gambar 1: Gaya kekang pada penampang persegi

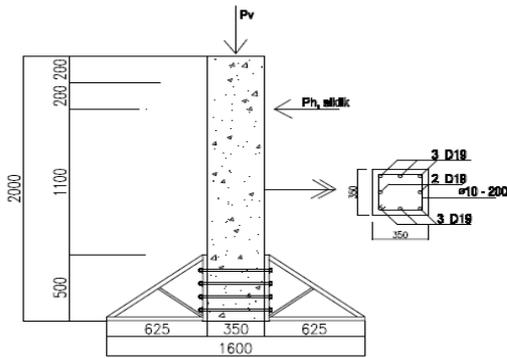
Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)

Serat karbon didefinisikan sebagai serat yang mengandung setidaknya 90% berat karbon. Digunakan *fiber graphite* yang merupakan serat dengan karbon diatas 95% beratnya. Yang paling umum digunakan adalah poliakrilonitril (PAN), (petroleum) minyak bumi, serat selulosa (*Viscose rayon*, katun) dan *fiber phenolic* tertentu. Tidak seperti serat kaca dan aramid, serat karbon tidak menunjukkan korosi atau pecah pada suhu kamar.

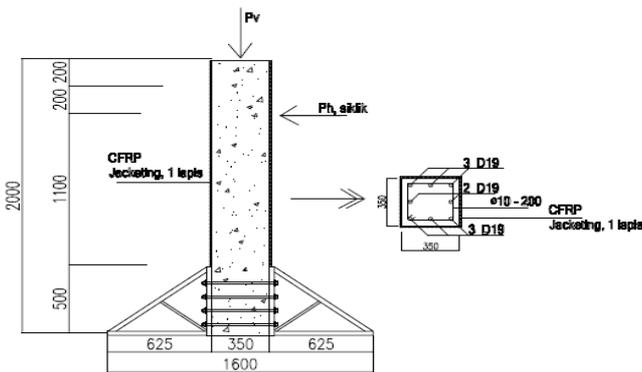
3. Metoda Penelitian Spesimen

Jumlah spesimen sebanyak 2 (dua) buah kolom beton bertulang C-1 dan C-1C yang

identik dengan tinggi efektif 1100 mm dan penampang 350 x 350 mm. Spesimen menggunakan tulangan longitudinal 8D19 dan tulangan transversal $\phi 10-200$. C-1 adalah kolom original sebagai kolom control yang merupakan kolom beton bertulang tanpa perkuatan eksternal CFRP dan C-1C adalah spesimen kolom perkuatan dengan pengekangan CFRP 1 lapis.



(a)

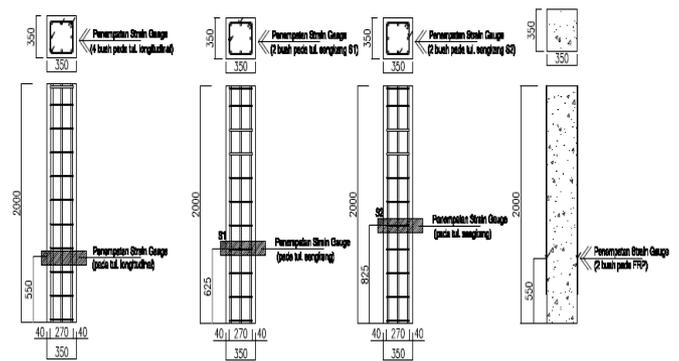


(b)

Gambar 2: Spesimen kolom (a) C-1 dan (b) C-1C

Instrumentasi

Dalam penelitian ini akan menggunakan *strain gauge* tulangan baja FLA-6-11 dan *train gauge fiber* BFLA-5-8. Untuk masing-masing spesimen, *Strain gauge* FLA-6-11 dipasang pada tulangan longitudinal sebanyak 4 buah, pada 2 lapis sengkang sebanyak 4 buah dan 2 buah *strain gauge* BFLA-5-8 dipasang pada *CFRP*.

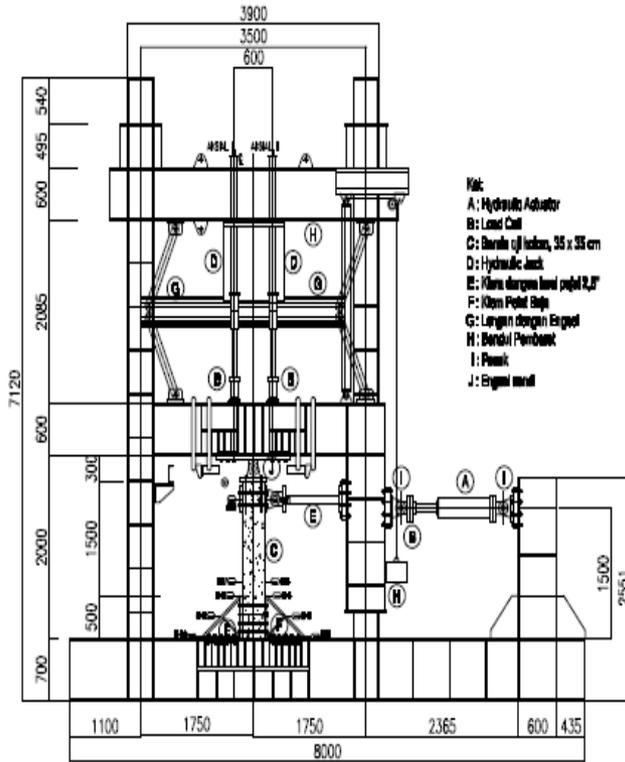


(a) (b-1) (b-2) (c)

Gambar 3: Penempatan strain gauge (a) tulangan longitudinal, (b-1) (b-2) sengkang dan (c) Fiber

Set-up Pengujian

Pelaksanaan pengujian disesuaikan dengan peralatan yang tersedia di Laboratorium Puslitbang Teknologi Permukiman Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung. Spesimen kolom yang diuji diposisikan berdiri tegak pada 2 buah rangka baja (*loading frame*) yang diletakkan di atas lantai kerja yang dikunci pada ujung-ujungnya balok tumpuan dengan mur, yang secara skematik ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Set-up pengujian kolom Aplikasi CFRP

Aplikasi CFRP dengan metode *wet lay-up* dengan pemasangan *full jacketing* arah serat horisontal dan *overlap* 200 mm. FRP dipasang 1 lapis kecuali pada kepala kolom setinggi 775 mm dipasang 3 lapis dengan tujuan untuk menghindari kegagalan pada kepala kolom. Aplikasi CFRP pada *specimen* C-1C dilakukan setelah beton kering dan sebelum pengujian siklik.

Beban Rencana

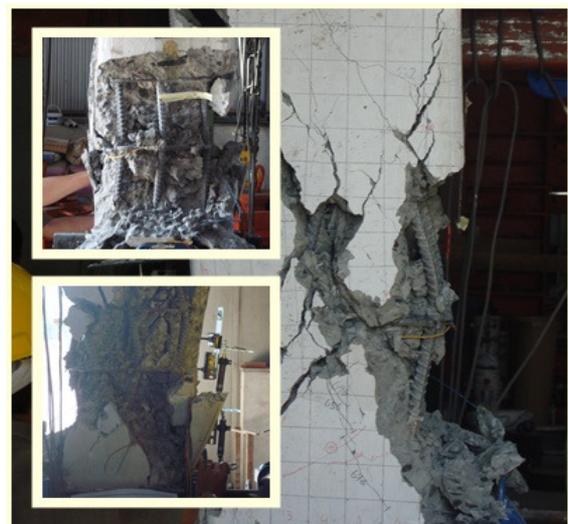
Besar beban aksial yang bekerja adalah konstan dan dilakukan variasi untuk beban siklik. Berdasarkan hasil analisa awal, dengan mengasumsikan kolom yang diuji adalah kolom pada lantai tengah gedung bertingkat maka beban aksial yang bekerja sebesar 30% dari kapasitas *original column* yaitu 748 kN. Sedangkan besarnya beban lateral yang bekerja pada masing-masing *specimen* adalah 181,57 kN untuk C-1 dan 225,95 kN untuk C-1C.

4. Hasil dan Pembahasan Kegagalan Specimen C-1

Retak awal yang terjadi pada kolom *original* berupa retak lentur pada zona sendi plastis. Retak ini searah dengan tulangan transversal pada rasio *lateral drift* 0,25% dengan beban 78,2 kN. Panjang retak rambut sekitar 7 cm dengan lebar retak berkisar 0,01 s.d 0,02 mm. Pola pertambahan retak bersifat merambat keatas tinggi kolom.

Dengan meningkatnya beban maka pada *specimen* C-1 terjadi retak geser yang berkembang dengan cepat dan menyebar disemua sisi kolom. Perkembangan retak geser ini mengakibatkan retak yang terbentuk pada kedua sisi kolom bergabung menjadi satu yang nantinya mengakibatkan *spalling* pada sisi tekan pada kolom C-1 yang menyebabkan tulangan longitudinal terlihat dengan jelas.

Sedangkan leleh baja longitudinal pada rasio *lateral drift* 0,75% siklus pertama pada beban 149,5 kN. P_{max} tercapai pada rasio *lateral drift* 2,75% siklus pertama dengan nilai 278,9 kN. Kegagalan *specimen* C-1 ditampilkan pada gambar 5.



Gambar 5. Kegagalan specimen C-1

Kegagalan C-1C

Kegagalan *specimen* C-1C ditandai dengan perubahan warna resin pada FRP dan rusaknya permukaan beton daerah sendi plastis. Leleh tulangan pertama pada rasio *lateral drift* 0,75% siklus pertama. Regangan CFRP putus pada rasio *lateral drift* 2,75% siklus pertama dengan besar beban lateral adalah 347,5kN.

Dari hasil eksperimental menunjukkan bahwa kegagalan FRP didahului dengan perubahan warna pada resin. Kegagalan dimulai dari beberapa serat di satu lokasi karena terjadi retak beton. Beban puncak terjadi pada rasio *lateral drift* 5% siklus pertama dengan nilai beban lateral 432,2 kN. Sampai dengan akhir pola pembebanan yang diacu yaitu 5% siklus ke tiga kondisi *ultimate specimen* belum tercapai. Sehingga rasio *lateral drift* ditingkatkan sampai 8,5% siklus ke tiga dengan kondisi visual kemiringan *specimen* terlihat dengan jelas dan nilai *displacement* yang diperoleh adalah 96,46 mm yang meningkat 77,81% dari *displacement* rencana.

Kegagalan yang terjadi sampai akhir pengujian, untuk permukaan kolom pada zona sendi plastis secara keseluruhan sudah tidak rata akibat rusaknya beton dibagian dalam dan perubahan warna resin FRP. Kondisi akhir *specimen* C-1C ditampilkan pada gambar 6.

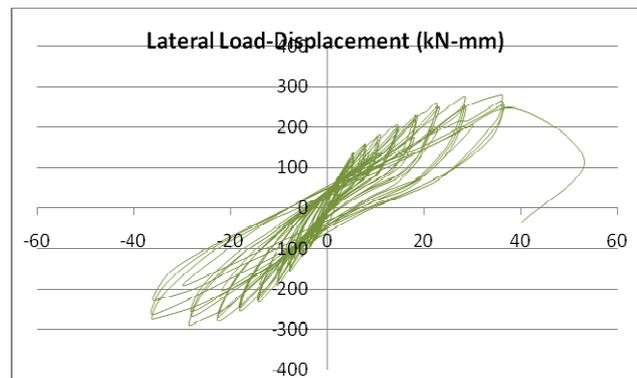


Gambar 6. Kegagalan *specimen* C-1C

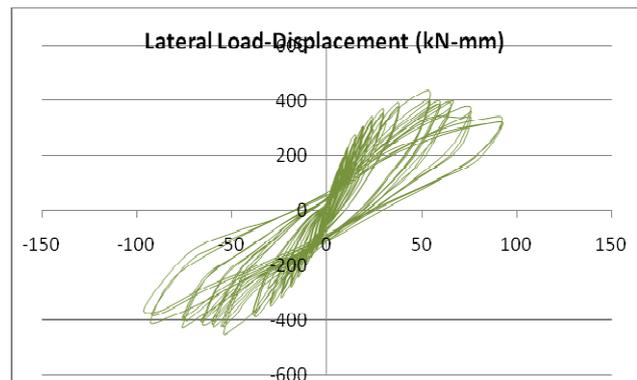
Beban Lateral-Displacement

Grafik P- δ merupakan data yang dibaca dari *load cell* berupa beban siklik dari LVDT 2 untuk *displacement*. Dari grafik P- δ dapat kita tentukan fenomena yang terjadi selama pengujian untuk *specimen* C-1 dan C-1C. Besarnya P_{max} yang terjadi adalah 278,9 kN dan 432,2 kN serta δ_{max} yang terjadi adalah 53,24 mm dan 96,46 mm untuk C-1 dan C-1C.

Prosentase peningkatan P_{max} C-1C terhadap C-1 adalah 54,97% dan peningkatan δ_{max} terhadap C-1 adalah 81,18%. Sehingga prosentase peningkatan kekakuan kolom C-1C terhadap C-1 adalah 55,36%. Grafik beban lateral-*displacement* ditunjukkan pada gambar 7.



(a)



(b)

Gambar 18. Grafik beban latera *displacement*: (a) C-1 dan (b) C-1C

5. Kesimpulan

Dari tiga parameter kekuatan yang diukur yaitu P_{max} , δ_{max} dan M_{max} , dapat ditarik kesimpulan bahwa terjadi peningkatan kekuatan untuk *specimen* dengan pengeangan CFRP dibandingkan dengan kolom original.

1. Dari parameter P_{max} besar peningkatan C-1C terhadap C-1 adalah 54,97%
2. Dari parameter δ_{max} prosentase peningkatan C-1C terhadap C-1 adalah 81,18%
3. Dari parameter M_{max} peningkatan yang terjadi pada C-1C terhadap C-1 adalah 55,36%.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada FYFE Co. LLC Singapore dengan perwakilan di Indonesia adalah PT. Master Solusi Indonesia (MSI) atas bantuan dan kerjasamanya dalam menyediakan material CFRP (*Tyfo[®]Fibrwrap[®]Composite Systems*) dan *applicator*-nya.

7. Daftar Pustaka

1. ACI 440.2R-02. "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures". ACI Committee 440, 2002
2. ACI 374.1-05. "Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary". ACI Committee 374, 2005
3. Al-Sulayfani, B and Al-Tae, H. "Modeling of Stress-Strain Relationship for Fibrous Concrete Under Cyclic Loads" Eng.Tech.Vol.26, No1, 2008, pp. 45-53
4. Bae, S and Bayrak, O. "Seismic Performance of Full-Scale Reinforced Concrete Columns" *ACI Structural Journal* March-April, 2008, pp. 123-133
5. Balaguru, P, Nanni, A and Giancaspro, J. "FRP Composites for Reinforced and Prestressed Concrete Structures" Taylor & Francis Group, New York, 2009
6. Bank, Lawrence. "Structural Design with FRP Materials" John Wiley & Sons, INC, Canada, 2006
7. Benzaid, R, Chikh NE and Mesbah H. "Behaviour Of Square Concrete Column Confined With GFRP Composite Warp", *Journal Of Civil Engineering And Management*, 2008
8. Cole, C. and Belarbi, A. "Confinement Characteristics of Rectangular FRP-Jacketed RC Columns", *Proceedings of the Fifth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS-5)*, Cambridge, UK, July 16-18, 2001, pp. 823-832.
9. Dhakal, RP and Maekawa, K. "Post-Peak Cyclic behavior and Ductility of reinforced Concrete Columns"
10. Faella, A, Napoli, A and Realfonzo, R. "Cyclic Behaviour of Concrete Columns Confined with FRP Systems" *Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE2008)*, 22-24July 2008, Zurich, Switzerland, pp. 1-6
11. Gangarao, H, Taly, N and Gangarao, H. "Reinforced Concrete Design with FRP Composites" CRC Press, Prancis, 2007
12. Harajli, M and Dagher, F. "Seismic Strengthening of Bond-Critical Regions in Rectangular Reinforced Concrete Columns Using Fiber-Reinforced Polymer Wraps" *ACI Structural Journal*, January-February 2008, pp.68-77
13. Kumar, ES, Murugesan, A and Thirugnanam, G.S. "Experimental Study on Behavior of Retrofitted with FRP Wrapped RC Beam-Column Exterior Joints Subjected to Cyclic Loading" *International Journal of Civil and Structural Engineering*, Vol. 1, No.1, 2010, pp.64-79
14. Lee, Chung-Sheng, Hegemier, GA and Philippi DJ. "Analitical Model for Fiber Reinforced Polymer Jacketed Square

- Concrete Columns in Axial Compression*” ACI Structural Journal, 2010 pp.208-217
15. Nawy, Edward. “*Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*” PT. Refika Aditama, Bandung, 2008
 16. Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan. “*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*”. Badan Standardisasi Nasional. Bandung, 2002
 17. Park, R and Paulay, T. “*Reinforced Concrete Structures*” John Wiley and Sons, Canada, 1975
 18. Rousakis, T and Tepfers, R. “*Behavior of Concrete Confined by High E-Modulus Carbon FRP Sheets, Subjected to Monotonic and Cyclic Axial Compressive Load*”
 19. Saadatmanesh, H, Ehsani, MR and Li, MW. “*Strength and Ductility of Concrete Columns Externally Reinforced with Fiber Composite Straps*” ACI Structural Journal, 1994
 20. Sheikh, SA and Liu, J. “*Enhancing Seismic resistance of Concrete Columns with FRP*” Proceedings fib Symposium PRAGUE, 8-10 June 2010
 21. Tavio, Purwono, R dan Rosyidah, A. “*Peningkatan Daya Dukung dan Daktilitas Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)*” Dinamika Teknik Sipil, 2009
 22. Teng, J. G, Huang, Y. L, Lam, L and Ye L. P. “*Theoretical Model for Fiber-Reinforced Polymer-Confined Concrete*”, Journal of Composites Construction ASCE, March-April 2007, pp.201-210
 23. Tim Revisi Peta Gempa Indonesia. “*Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*” Bandung, 2010
 24. Watanabe, K, Niwa, J, Yokota, H and Iwanami, M. “*Stress-Strain Relationship for the Localized Compressive Failure Zone of Concrete under Cyclic Loadin*