

PERILAKU RESPON LEKATAN TARIK DAN GESER ANTARA WRAP FRP (*FIBRE REINFORCED POLYMER*) DENGAN BETON KONVENSIONAL

Wening Wijaya Danu, Adithya Wilda Nova, Han Ay Lie^{*)}, Purwanto^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Perkuatan struktur dapat dilakukan apabila suatu bangunan mengalami perubahan fungsi, sehingga beban rencana akan terlampaui atau karena adanya perubahan kriteria desain. Perubahan peraturan desain SNI 03-1726-2002 menjadi SNI 03-1726-2012, mengakibatkan beban yang diperhitungkan di dalam struktur menjadi bertambah besar. Kondisi yang terjadi tersebut menyebabkan perlunya investigasi mengenai kekuatan struktur bangunan yang ada. Gaya-gaya yang perlu diperhitungkan di dalam struktur bisa jadi akan menjadi lebih besar dibandingkan dengan desain awal. Alternatif perkuatan yang dapat diberikan yaitu dengan memberikan FRP atau Fibre Reinforced Polymer. Dalam pemakaian FRP sebagai perkuatan struktur, permasalahan yang perlu diperhatikan adalah mengenai kekuatan lekatan antara FRP dengan beton. Pengaruh lekatan akibat gaya tarik dan geser yang terjadi sangat mempengaruhi kondisi kehancuran struktur. Penelitian oleh Tadjono et al. (2015) telah menunjukkan bahwa balok yang diperkuat dengan FRP tanpa perlakuan kekasaran khusus pada permukaan beton dapat mengalami kegagalan debonding antara FRP dengan beton. Untuk itu penelitian ini mengkaji mengenai pengaruh kekasaran permukaan beton terhadap lekatan akibat tarik dan geser. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa beton yang tidak dilakukan kekasaran memungkinkan terjadinya debonding. Perlakuan kekasaran tipe longitudinal, transversal, diagonal, dan cross memberikan hasil yang sama efektifnya dibandingkan dengan tipe polos. Sehingga pada pengaplikasian di lapangan dipilih perlakuan kekasaran yang mudah dikerjakan.

kata kunci: *perkuatan struktur, fibre reinforced polymer, debonding, perlakuan permukaan*

ABSTRACT

Retrofitting structures can be done if a building has undergone a change of function, so that the load plan will be exceeded or because of changes in design criteria. Changes in design rules from SNI 03-1726-2002 to SNI 03-1726-2012, resulting in calculated load in the structure becomes larger. The condition occurs causing the need for investigation of the strengths of existing structures. The forces that need to be taken into account in the structure may be greater than the original design. Retrofitting alternatives that can be provided by giving FRP or Fibre Reinforced Polymer. In the use of FRP as reinforcement

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

structure, issues to consider is about the bond between FRP with concrete. The influence of bond due to tensile and shear force that occurs can affects the destruction of the structure. The study by Tudjono et al. (2015) have shown that the beams reinforced with FRP without surface treatment can affect debonding between FRP to concrete. Therefore this study examines the effect of concrete surface roughness due to tensile and shear. From this study, it was concluded that the concrete that do not surface treatment can allow debonding. Treatment of roughness longitudinal, transverse, diagonal, and the cross type gives the same results as effective as compared to plain type. So that on the application in field, the easy surface treatment is selected.

keywords: *Retrofitting structure, fibre reinforced polymer, debonding, surface treatment*

PENDAHULUAN

Perubahan peraturan desain, misalnya perubahan SNI 03-1726-2002 tentang “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung” menjadi SNI 03-1726-2012 tentang “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”, mengakibatkan kemungkinan terjadinya kenaikan yang signifikan pada nilai-nilai gaya internal struktur bangunan (Arfiadi dan Satyarno, 2013). Kondisi yang terjadi tersebut menyebabkan perlunya investigasi mengenai kekuatan struktur bangunan yang ada. Kapasitas struktur bangunan, misalnya kapasitas momen dan geser balok dan kolom, perlu dianalisis apakah struktur masih mampu menahan akibat adanya perubahan gaya yang terjadi.

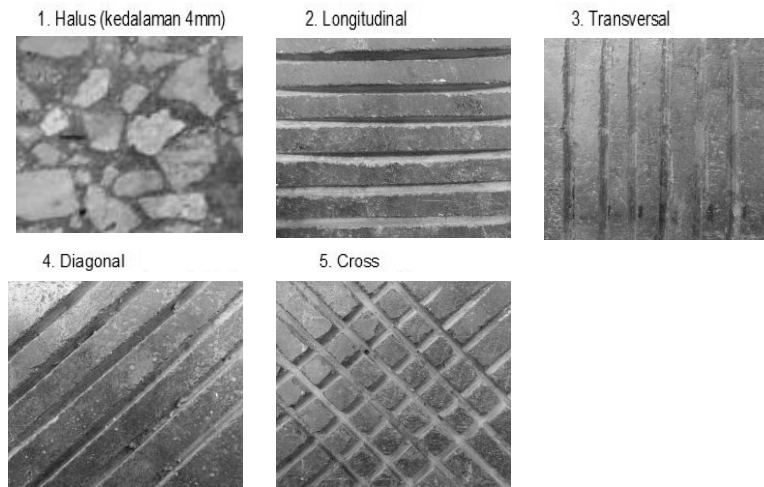
Alternatif perkuatan yang dapat diberikan yaitu dengan memberikan FRP atau *Fiber Reinforced Polymer*, namun pada penelitian oleh Tudjono et al. (2015) telah menunjukkan bahwa balok yang diperkuat dengan FRP tanpa perlakuan kekasaran khusus pada permukaan beton dapat mengalami kegagalan *debonding* antara FRP dengan beton. Kegagalan *debonding* mengakibatkan kemampuan perkuatan FRP terhadap balok beton tidak optimal. Penelitian terdahulu (Toutanji dan Ortiz, 2001; Dror dan Rabinovitch, 2016; Diab, 2013) menunjukkan bahwa metode perlakuan permukaan, tipe perekat epoxy yang digunakan, dan dimensi lekatan mempengaruhi kekuatan lekatan antara FRP dengan beton. Mengacu pada permasalahan diatas, pada penelitian ini dilakukan sebuah upaya untuk mengatasi permasalahan *debonding* yaitu dengan memberikan perlakuan khusus pada permukaan beton sebelum dilapisi FRP dengan berbagai tipe perlakuan kekasaran permukaan beton.

PERLAKUAN PERMUKAAN

Dalam penelitian ini dilakukan 5 pola perlakuan permukaan terhadap beton yang akan dilapisi FRP. Perlakuan permukaan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pola perlakuan bidang lekatan terhadap kuat lekat (*bond strength*). Pola perlakuan permukaan bidang lekatan dapat dilihat pada Gambar 1.

Pola 1 (code P) pada Gambar 1 adalah perlakuan bidang permukaan dengan menggerinda keseluruhan bidang permukaan dengan kedalaman 4 mm.. Pola 2 (code L) adalah perlakuan bidang permukaan dengan menggerinda searah longitudinal dengan kedalaman gerinda 2 mm. Pola 3 (code T) adalah perlakuan bidang permukaan dengan menggerinda searah tegak lurus gaya / transversal dengan kedalaman gerinda 2 mm. Pola 4 (code D)

adalah perlakuan bidang permukaan dengan menggerinda searah diagonal dengan kedalaman gerinda 2 mm. Pola 5 (code C) adalah perlakuan bidang permukaan dengan menggerinda secara menyilang/ cross dengan kedalaman gerinda 2 mm.



Gambar 1. Pola perlakuan permukaan lekatan

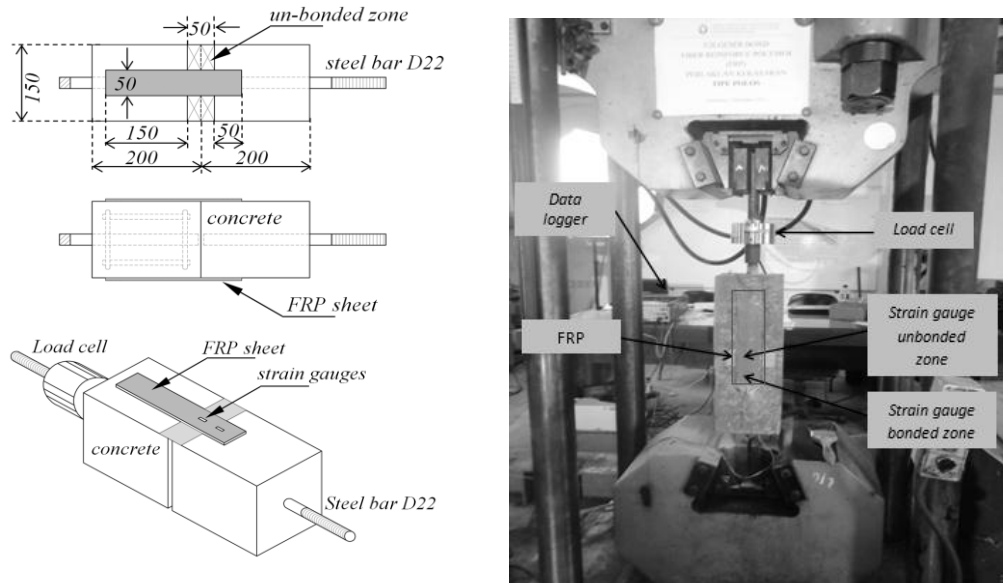
STUDI EKSPERIMENTAL

Penelitian terdahulu mengenai FRP *wrap* masih terbatas, banyak penelitian terdahulu menggunakan FRP plat (Chen et al., 2001; Lu et al., 2005; Akbar et al., 2010; Ceroni, 2016) yang memiliki nilai kekakuan berbeda dengan FRP jenis *wrap*. Pada penelitian sebelumnya oleh Neto et al. (2006) diasumsikan arah gaya FRP sejajar dengan sumbu axis dari specimen beton, namun hal itu sangat sulit dikarenakan material FRP *wrap* yang memiliki kekakuan yang kecil sehingga memungkinkan terjadinya ketidakselarasan arah gaya atau *misalignment*. Berdasarkan tinjauan dari penelitian-penelitian sebelumnya, dipilih metode penelitian yang mengacu pada *fib-CEB technical specifications* untuk pengujian kuat geser lekatan dan ASTM D7522/D7522M untuk pengujian kuat tarik *pull out* lekatan. Dalam aplikasinya pengaruh geser dan tarik lekatan dapat terjadi secara bersamaan, namun dalam pengujian ini dilakukan secara terpisah / independent.

Pengujian Geser *Bond Strength*

Benda uji balok beton berukuran panjang 150 mm, lebar 150 mm dan tinggi 200 mm dengan ketebalan FRP 0.133 mm dan perekat adhesif ketebalan 1 mm diasumsikan ke semua masing-masing benda uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Perlakuan FRP terdiri dari 2 jenis yaitu *bonded zone* (daerah FRP dengan beton yang direkatkan dengan perekat adhesif) dan *unbounded zone* (daerah FRP dengan beton yang tidak direkatkan dengan perekat adhesif)

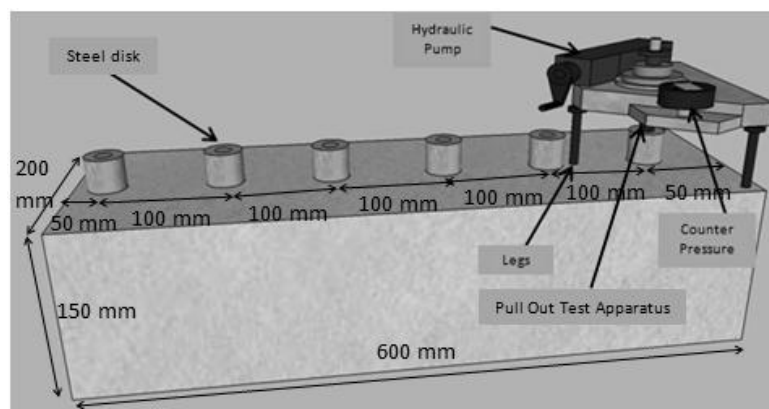
Benda uji dipasang sebuah *load cell* dan dua buah *strain gauge* yang dihubungkan dengan *data logger* untuk mencatat data besarnya *load* dan *strain* ketika benda uji ditarik menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*). Gaya P yang bekerja adalah gaya yang akan di analisis. *Set up* pengujian lekatan geser dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Benda uji dan *setup* pengujian lekat geser FRP
(Sumber : SCESCM 3rd International Conference)

Pengujian *Pull Out Bond Strength*

Pengujian *pull out* dilakukan dengan mencabut plat logam pejal dengan menggunakan alat *pull out test apparatus*. Pada penelitian ini diambil 6 sampel *pull out test* untuk masing masing pola perlakuan permukaan beton. Hasil dari *pull out test* ini berupa tegangan tarik *pull out*. *Set up* pengujian *pull out* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Setup* pengujian tarik *Pull Out*

HASIL PENGUJIAN

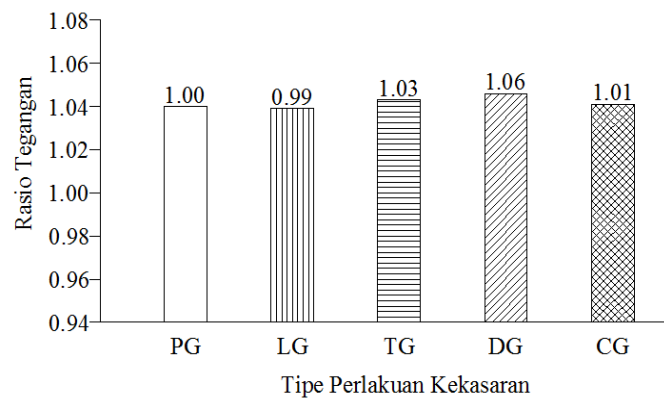
Bond Strength Tarik Pull Out

Hasil yang dicatat dari pengujian *pull out* adalah gaya tarik maksimum arah tegak lurus terhadap benda uji yang menyebabkan lepasnya lekatan antara FRP dengan beton. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian *pull out strength*

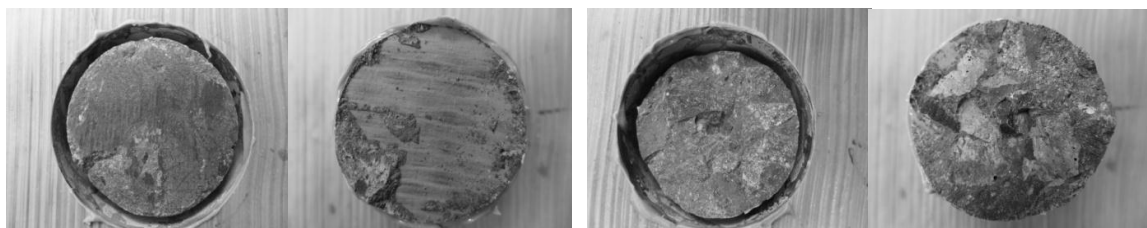
Tipe Benda Uji	σ rata-rata (N/mm ²)	Rasio σ rata-rata
Tipe Polos (PG)	3,14	1,00
Tipe Longitudinal (LG)	3,10	0,99
Tipe Transversal (TG)	3,24	1,03
Tipe Diagonal (DG)	3,33	1,06
Tipe Cross (CG)	3,16	1,01

Hasil pengujian *pull out strength* untuk masing-masing tipe perlakuan kekasaran akan disajikan dalam bentuk diagram rasio tegangan tarik yang dijelaskan pada Gambar 4 seperti di bawah ini.



Gambar 4. Grafik rasio tegangan tarik rata-rata pada uji *pull out strength*

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa untuk uji *pull out strength* pada masing-masing tipe perlakuan kekasaran tidak memberikan dampak yang terlalu besar. Namun perlakuan kekasaran tipe polos memungkinkan terjadinya kegagalan *debonding* antara lem dengan permukaan beton, dibuktikan dengan lepasnya salah satu sampel tipe polos dengan rasio load 0,41 seperti pada Gambar 5a.



a. *debonding* akibat *pull out* b. kehancuran tarik akibat *pull out*

Gambar 5. Pola keruntuhan *debonding* dan beton akibat *pull out*

(Sumber : SCESCM 3rd International Conference)

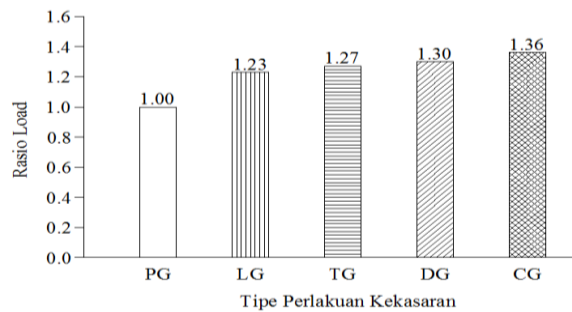
Kegagalan akibat *debonding* pada uji *pull out* memberikan nilai tegangan yang lebih kecil yaitu sebesar 1,29 N/mm² jika dibandingkan dengan rata-rata nilai *pull out strength* yaitu sebesar 3,20 N/mm².

Bond Strength Geser

Melalui pengujian uji geser perkuatan FRP diperoleh hasil data berupa data beban dari *load cell* serta nilai regangan perilaku FRP dan bond FRP dengan beton dari *strain gauge*, dan pembacaan dari *data logger*. Hasil data yang diperoleh selanjutnya diolah menjadi grafik gaya-regangan dan gaya-*displacement*. Pada Tabel 2 disajikan data hasil gaya maksimum yang terjadi akibat geser. Hasil gaya maksimum pada tabel 2 kemudian ditampilkan sebagai grafik rasio beban masing-masing tipe perlakuan permukaan pada Gambar 6.

Tabel 2. Hasil gaya geser maksimum.

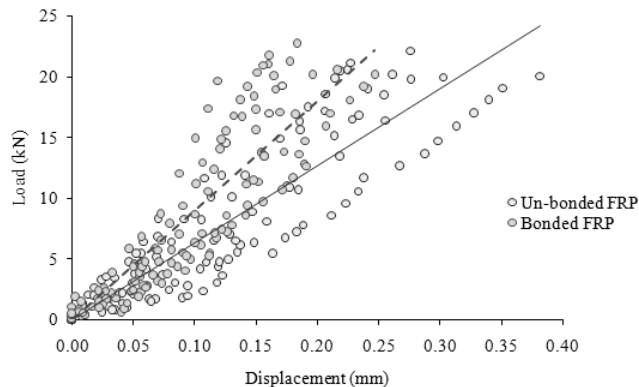
Tipe Benda Uji		F maks (N)	Rasio F maks
Tipe Polos	(PG)	16715	1,00
Tipe Longitudinal	(LG)	20475	1,23
Tipe Transversal	(TG)	21165	1,27
Tipe Diagonal	(DG)	21685	1,30
Tipe Cross	(CG)	22705	1,36



Gambar 6. Grafik rasio tegangan geser pada benda uji geser

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa tiap-tiap tipe perlakuan kekasaran memberikan peningkatan gaya geser dibandingkan dengan tipe polos, yaitu untuk tipe longitudinal meningkat 23 %, untuk tipe transversal meningkat 27 %, untuk tipe diagonal meningkat 30 % dan untuk tipe cross meningkat 36 %. Sehingga tipe cross memiliki efektivitas peningkatan gaya geser yang paling baik diantara tipe-tipe perlakuan kekasaran yang lain.

Dari data gaya-regangan juga didapatkan grafik gaya-*displacement* yang disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan gaya – *displacement unbonded zone* dan *bonded zone* (Sumber : Tudjono et al., 2016)

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa *bonded zone* memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *unbonded zone*. *Unbonded zone* memiliki kekakuan material 63 kN/mm dengan modulus Young 57.000 MPa. FRP pada *bonded zone* memiliki kekakuan material 90 kN/mm dengan modulus young 67.000 MPa. Komposit antara FRP dua lapisan dengan perekat adhesif umumnya menghasilkan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan modulus Young dari komposit satu lapis FRP 55.000 MPa (Hamelin dan Ferrier, 2006). Modulus Young ditentukan berdasarkan ketebalan FRP 0,133 mm, dan ketebalan 0,50 mm dari lapisan resin epoxy atau lem FRP. Pada benda uji ini menggunakan 2 lapisan FRP sehingga dalam penentuan nilai kekakuan awal material ditambahkan sebesar 4%. Beban geser diasumsikan bahwa beban terdistribusi merata ke dua permukaan *bond* yang terpasang FRP.

ANALISA HASIL

Pengujian *pull out* menghasilkan hasil yang relatif sama, kecuali yang terjadi pada tipe polos. Pada tipe polos memungkinkan terjadinya *debonding*. *Debonding* pada tipe polos menurunkan kekuatan lekatan hingga 41% jika dibandingkan dengan tipe polos yang tidak terjadi *debonding*. Peningkatan *bond strength* tarik setelah dilakukan perlakuan permukaan dengan memberikan alur gerinda sedalam 2 mm berkisar 1% hingga 6% dari tipe polos. Tegangan tarik rata-rata yang dihasilkan pada pengujian pull out adalah 3,20 N/mm².

Pengujian geser *bond* menghasilkan gaya geser berkisar antara 16,71 N hingga 22,70 N. Pada pengujian geser *bond* menunjukkan bahwa adanya peningkatan pada tiap tipe perlakuan kekasaran jika dibandingkan dengan tipe polos yang mengalami *debonding*, yaitu untuk tipe longitudinal meningkat 23 %, untuk tipe transversal meningkat 27 %, untuk tipe diagonal meningkat 30 % dan untuk tipe cross meningkat 36 %. Pada pengujian geser ketika zona perpindahan gaya geser mencapai batas akhir dari *bond*, mengakibatkan peningkatan tegangan yang menyebabkan terjadinya *spalling*/ keruntuhan pada tepi beton. Hal ini menyebabkan sulitnya menganalisa tipe yang paling optimal karena pola keruntuhan yang tidak stabil (Ali-ahmad, 2006).

Debonding yang terjadi pada tipe polos dalam uji geser mengakibatkan gaya yang terjadi lebih kecil yaitu 16,71 kN jika dibandingkan tipe lain yang tidak mengalami *debonding* yaitu berkisar antara 20,47 kN sampai 22,70 kN. Nilai kekakuan pada daerah *bonded zone* lebih tinggi jika dibandingkan dengan *unbonded zone*. Pada *unbonded zone* kekakuan material 63 kN/mm dengan modulus Young 57.000 MPa, sedangkan pada *bonded zone* memiliki kekakuan material 90 kN/mm dengan modulus young 67.000 MPa.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pada tipe polos lebih mudah mengakibatkan terjadi kegagalan *debonding* antara FRP dengan beton, sehingga adanya penambahan perlakuan kekasaran pada permukaan beton dapat mengurangi terjadinya *debonding* antara FRP dengan beton.. Hasil uji *pull off strength* menunjukkan bahwa perlakuan kekasaran tipe longitudinal, transversal, diagonal, dan cross memberikan hasil yang sama efektifnya dibandingkan dengan tipe polos. Sehingga pada pengaplikasian di lapangan dipilih perlakuan kekasaran yang mudah dikerjakan. Ketelitian hasil uji geser sangat jauh jika dibandingkan dengan hasil uji *pull off* hal ini dikarenakan standar deviasi uji geser sangat besar dan pola keruntuhan uji geser sulit untuk dianalisa.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, I., Oehlers, D. J. and Ali, M. S. M., 2010. *Derivation of bond-slip characteristics for FRP plated steel members*, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 66, pp. 1047-1056.
- Arfiadi, Yoyong and Satyarno, Iman., 2013. *Perbandingan Spektra Desain Beberapa Kota Besar di Indonesia dalam SNI Gempa 2012 dan SNI Gempa 2002*, Konferensi Nasional Teknik Sipil 7, Solo.
- Chen, J. F., Yang, Z. J. and Holt, G. D., 2001. *FRP or steel plate-to-concrete bonded joints: Effect of test methods on experimental bond strength*, Steel and Composite Structures, Vol. 1, no 2, pp. 231-244.
- Diab, Hesham M., 2013. *Performance of different types of FRP sheets bonded to concrete using flexible adhesive*, The Online Journal of Science and Technology 3.2.
- Efrat Ben Dror, Oded Rabinovitch, 2016. *Size effect in the debonding failure of FRP strengthened beams*, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 156, pp, 161-181.
- F. Ceroni, M. Ianniciello, M. Pecce, 2016. *Bond behavior of FRP carbon plates externally bonded over steel and concrete elements: experimental outcomes and numerical investigations*, accepted in Composites, Part B.
- Houssam Toutanji, Gerardo Ortiz, 2001. *The effect of surface preparation on the bond interface between FRP sheets and concrete members*, Composite Structures, Vol. 53, Issue 4, pp. 457-462.
- Lu, X. Z., Teng, J. G., Ye, L. P. and Jiang, J. J., 2005. *Bond-slip models for FRP sheets/plates bonded to concrete*, Engineering Structures Vol. 27, pp, 920-937.
- Mohamad Ali-Akhmad, Kolluru Subramaniam and Michel Ghosn., 2006. *Experimental Investigation and Fracture Analysis of Debonding between Concrete and FRP Sheets*, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 132, Issue. 9, pp, 914-923.
- P. Hamelin and E. Ferrier, Test report on reinforcement sytem SIKA CARBODUR et SIKA WRAP, Laboratoire Mécanique Matériaux et Structures (L2MS), France, pp. 1-12.
- P. Neto, J. Alfaiate, D. Dias-da-Costa, J. Vinagre, 2016. *Mixed-mode fracture and load misalignment on the assessment of FRP-concrete bond connections*, Composite Structures, Vol. 135, pp, 49-60.
- Palmieri I. A. and Matthys, S., 2008. *FRP RRT: Technical Specifications*, fib-CEB publications.
- Tudjono, S., Han, A. L., and Hidayat, B. A., 2015. *An Experimental Study to the Influence of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Confinement on Beams Subjected to Bending and Shear*, Procedia Engineering, Vol. 125, pp, 1070-1075.
- Tudjono, S., Han, A. L., Hidayat Arif and Purwanto., 2016. *Experimental Study on the Concrete Surface Preparation Influence to the Tensile and Shear Bond Strength of Synthetic Wraps*, The 2nd International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials (SCESCM).