

FIBER REINFORCED POLYMER AS A REINFORCING MATERIAL FOR CONCRETE STRUCTURES

FIBER REINFORCED POLYMER SEBAGAI MATERIAL PERKUATAN STRUKTUR BETON

Samuel Layang¹⁾

¹⁾Dosen Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Jurusan Pendidikan Teknologi dan Kejuruan
Universitas Palangka Raya, Kampus UPR Tunjung Nyaho Jl. H. Timang, 73111A

e-mail: samuel.layang@ptb.upr.ac.id

ABSTRACT

Concrete is one of the materials that is widely used in various structural works because it has advantages, especially it has high compressive strength and is easy to form. However, concrete can also be damaged by physical, chemical, mechanical and excessive loads. Damaged concrete structures must be repaired and strengthened immediately to prevent further damage that can lead to structural failure. One of the materials that can be used for structural reinforcement is Fiber Reinforced Polymer (FRP). FRP is a composite material made of three basic components, namely fiber, polymer and additives. FRP has advantages such as having high strength, light weight, corrosion resistance, easy installation, requiring little or no scaffolding. FRP is very well used to increase the capacity of structures in buildings that are undergoing changes in function.

Keyword: fiber reinforced polymer, structural reinforcement, concrete

ABSTRAK

Beton merupakan salah material yang banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan struktur karena memiliki kelebihan terutama memiliki kuat tekan yang tinggi dan mudah dibentuk. Namun beton juga dapat mengalami kerusakan akibat pengaruh fisik, kimia, mekanik dan beban yang berlebihan. Struktur beton yang mengalami kerusakan harus segera diperbaiki dan diperkuat untuk mencegah kerusakan yang lebih parah yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan struktur.

Salah satu material yang dapat digunakan untuk perkuatan struktur adalah Fiber Reinforced Polymer (FRP). FRP merupakan material komposit yang terbuat dari tiga komponen dasar yaitu serat, polimer dan aditif. FRP mempunyai kelebihan diantaranya mempunyai kekuatan yang tinggi, ringan, tahan terhadap korosi, mudah dalam pemasangan, memerlukan sedikit atau tanpa perancah. FRP sangat baik digunakan untuk meningkatkan kapasitas struktur pada bangunan-bangunan yang mengalami perubahan fungsi.

Kata Kunci: *fiber reinforced polymer*, perkuatan struktur, beton

PENDAHULUAN

Perkembangan bidang konstruksi tidak terlepas dari perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi baik material maupun metode konstruksi. Setiap pekerjaan konstruksi memiliki spesifikasi material yang berbeda yang disesuaikan dengan kebutuhannya termasuk lokasi penggunaan material tersebut (Tanubrata, 2015). Penggunaan material untuk pekerjaan konstruksi dimulai dari material yang bersifat konvensional seperti kayu sampai dengan material komposit seperti logam, plastik dan beton. Beton salah satu bahan bangunan yang banyak digunakan untuk pekerjaan gedung, jalan, jembatan dan bendungan.

Beton termasuk batuan buatan yang merupakan campuran antara semen portland atau semen hidrolis, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*) yang membentuk massa padat, kuat dan stabil (Badan Standarisasi Nasional, 2012). Sejarah perkembangan beton tidak terlepas dengan ditemukannya bahan semen. Orang Mesir kuno

menggunakan gipsum yang dikalsinasi, orang Yunani dan Romawi menggunakan batu kapur yang dikalsinasi (A. M. Neville, 2011). Informasi terkait penggunaan beton untuk pertama kali tidak diketahui dengan pasti. Pada tahun 1832 Francois Le Brun membangun rumah dari beton kemudian pada tahun 1850 Joseph Lambot membuat perahu dari beton yang diperkuat dengan jaringan kawat atau tulangan. Keduanya merupakan orang Perancis. Kemudian pada tahun 1875 William E. Ward membangun gedung dari beton bertulang untuk pertama kalinya di Amerika Serikat, tepatnya di New York (Jack C. McCormac; James K. Nelson, 2005). Hingga saat ini banyak terdapat jenis beton yang dapat diklasifikasikan berdasarkan berat isi, mutu beton, proses pembuatan.

Beton banyak digunakan untuk pekerjaan konstruksi karena mempunyai banyak kelebihan antara lain memiliki kuat tekan yang relatif tinggi, mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi, mudah

dicetak sesuai bentuk yang dikehendaki, beton terbuat dari bahan-bahan lokal yang murah (pasir, kerikil, air), tidak terlalu membutuhkan keahlian dari tenaga kerja (buruh). Selain memiliki kelebihan, beton juga memiliki kelemahan diantaranya mempunyai kuat tarik yang rendah, membutuhkan tambahan biaya untuk bekisting, mempunyai berat sendiri yang relatif besar, mutu beton sangat dipengaruhi oleh proporsi campuran, pengadukan, penuangan dan perawatan (Jack C. McCormac; James K. Nelson, 2005).

KERUSAKAN PADA BETON

Beton adalah material komposit campuran antara pasta semen dan agregat (James K. Wight; JAmes G. McGregor, 2009). Pasta semen merupakan campuran antara semen dan air yang diketahui sebagai bahan yang aktif pada beton. Bahan dasar semen mengandung kapur (CaO), silika (SiO₂), alumnina (Al₂SO₃) dan oksida besi (Fe₂O₃) (Kardiyono Tjokrodimulyo, 2007) yang terdiri dari 4 (empat) senyawa utama.

Tabel 1. Senyawa Utama Semen Portland

Nama Senyawa	Komposisi Oksida	Singkatan
Trikalsium silikat	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Dikalsium silikat	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Trikalsium aluminat	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Tetrakalsium aluminoforit	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

(A. M. M. Neville & Brooks, 2010)

Semua senyawa utama semen Portland mengandung kapur (CaO). Pada saat semen beraksi dengan air akan menghasilkan panas hidrasi yang menyebabkan retak halus (micro cracking). Hal ini tidak dapat dihindari namun pengaruhnya dapat dikurangi sehingga tidak mempengaruhi kekuatan struktur secara keseluruhan. Jenis kerusakan yang terjadi pada beton sebagai berikut:

1. Keropos
Keropos pada beton utamanya disebabkan karena mutu beton yang rendah. Selain itu juga dipengaruhi oleh kurangnya proses pemadatan, rasio agregat yang digunakan, *workability* yang kurang baik (Hariati; Yayuk Setyaning Astutik, 2020).
2. Retak
Retak dapat terjadi pada beton segar dan beton keras. Pada beton segar terjadi retak plastis akibat penyusutan (Saputra Gunawan, Taran, Sudjarwo, & Buntoro, 2014) dan akibat pelaksanaan. Pada beton keras retak terjadi akibat pengaruh fisik, kimia, suhu dan struktural.
3. Korosi baja tulangan (delaminasi)
Delamination adalah terkelupasnya lapisan tipis permukaan selimut beton dari struktur pelat beton (Sulardi, 2018). Hal ini akibat baja tulangan mengalami oksidasi sehingga volume tulangan bertambah dan mendesak selimut beton.
4. *Spalling*
Spalling (gompal) merupakan mengelupasnya permukaan beton yang dapat disebabkan oleh korosi baja tulangan atau tumbukan. *Spalling* dapat juga disebabkan karena melekatnya material pada permukaan bekisting pada saat pembongkaran sehingga permukaan beton

terlepas dalam kepingan atau bongkahan kecil (Isneini, 2009).

5. Karbonasi
Selain susut pada saat pengeringan, beton juga mengalami penyusutan karbonasi. Karbonasi yaitu peristiwa terbentuknya CaCO₃ sebagai akibat reaksi antara Ca(OH)₂ dengan gas atau senyawa terlarut yang bersifat asam (Sulardi, 2018). Proses karbonasi yang mengiringi adalah terjadinya kontraksi beton yang disebut dengan penyusutan karbonasi (A. M. M. Neville & Brooks, 2010).
6. *Alkali-Aggregate Reactivity (AAR)*
Reaksi alkali silika merupakan reaksi antara kandungan silika (SiO₂) dalam agregat dan alkali dalam semen. Agregat yang mengandung silika, bisa bersifat reaktif maupun non-reaktif terhadap unsur alkali pada semen. Reaksi ini menyebabkan perluasan pada beton yang dapat mengakibatkan retak, permukaan keropos dan *spalling* (Labib, Setyawan, & Sumarsono, 2016)
7. *Scalling*
Scalling adalah mengelupasnya permukaan beton yang disebabkan oleh ekposisi yang berulang-ulang terhadap pembekuan dan pencairan sehingga permukaan mengelupas (Isneini, 2009). *Scalling* pada permukaan beton dapat juga disebabkan oleh erosi dan abrasi.
8. Klorida (*chloride*)
Degradasi oleh klorida terjadi jika ion klorida telah terkenal sangat agresif terhadap bahan konstruksi baja mengalami reaksi hidrolisa yang membentuk asam (Sulardi, 2018).

Kerusakan-kerusakan yang terjadi pada beton harus segera ditangani, tidak hanya memperbaiki kerusakan yang ada tetapi harus diikuti dengan upaya perkuatan. Ada banyak metode perbaikan yang mana

harus disesuaikan dengan penyebab dan tingkat kerusakan beton. Beberapa metode perbaikan diantaranya *caulking*, injeksi, *overlaying*, *coating*, *grinding*, *dry pack*, *shotcrete*, *patching*, *resurfacing*. Perkuatan dapat dilakukan dengan sistem *jacketing (strapping)*. Sebelumnya dikenal perkuatan dengan Metode *Plate Bonding*. Pada perkembangannya metode ini mulai jarang digunakan karena waktu pengerjaannya relatif lama, menambah berat sendiri (*selfweight*) struktur, membutuhkan tenaga yang terampil dan biayanya mahal. Saat ini banyak digunakan material perkuatan serat karbon (*fiber reinforced polymer/FRP*) karena mempunyai banyak kelebihan.

FIBER REINFORCED POLYMER (FRP)

Fiber Reinforced Polymer (FRP) terbuat dari 3 (tiga) komponen dasar, yaitu serat, polimer dan aditif (GangaRao, Taly, & Vijay, 2006). FRP diproduksi untuk memenuhi kebutuhan industri terutama konstruksi, otomotif, dirgantara, alat-alat olahraga.

Serat (Fiber)

Serat adalah komponen komposit yang menerima beban dan merupakan volume terbesar dalam laminasi komposit yang diproduksi dalam berbagai bentuk yang disesuaikan dengan berbagai aplikasi industri dan komersial (GangaRao et al., 2006). Serat yang umum digunakan adalah serat searah yang diproduksi dalam bentuk lapisan benang tunggal. Kekuatan serat tertinggi adalah di sepanjang arah memanjang dan terendah dalam arah melintang atau radial. Serat bisa kontinyu atau terputus-putus, komposit yang dihasilkan dari serat kontinyu mempunyai kekuatan dan modulus yang lebih besar dibanding serat terputus. Serat kontinyu tunggal disebut *filamen* dan gabungan sejumlah *filamen* disebut *strand* yang dapat digunakan sebagai material perkuatan.

Beberapa jenis serat yang biasanya digunakan, yaitu:

1. Serat kaca (*glass fibers*)

Serat kaca adalah serat yang paling umum digunakan untuk memproduksi komposit FRP yang terbuat dari kaca cair yang dipintal dari *platinumrhodium* yang dipanaskan dengan secara elektrik pada kecepatan 200 mph. Beberapa jenis serat kaca yang tersedia secara komersial, yaitu:

- E-glass (electrical glass)*, memiliki kandungan alkali yang rendah dan merupakan jenis yang paling umum dari serat kaca dengan kombinasi resin *poliester* dan epoksi. *E-glass* mempunyai tahanan yang baik terhadap kelembaban dan memiliki sifat mekanik yang tinggi.
- Z-glass*, digunakan untuk mortar semen dan beton karena tahan terhadap serangan alkali.
- A-glass*, memiliki kandungan alkali yang tinggi.

- C-glass (chemical glass)*, digunakan untuk aplikasi yang mensyaratkan ketahanan yang tinggi terhadap korosi, tahan terhadap asam.
- S-glass (structural glass)/R-glass*, untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan ekstra dan modulus yang tinggi.
- K-glass*, serat yang dibuat untuk meningkatkan sifat kehilangan dielektrik dalam aplikasi listrik dan mirip dengan *D-glass (dielectric glass)*.

Serat kaca memiliki kelebihan seperti harganya murah, kekuatan tarik yang tinggi, tahan terhadap pengaruh kimia, memiliki sifat isolasi yang sangat baik (GangaRao et al., 2006). Kekurangan serat kaca diantaranya modulus tariknya rendah, berat jenisnya relatif tinggi, tingkat kekerasan yang tinggi, tahanan terhadap *fatigue* yang rendah.



Gambar 1. Serat Kaca
("FYFE Company profile," n.d.)

2. Serat karbon (*carbon fibers/graphite fibers*)

Serat karbon atau serat grafit adalah serat yang paling banyak digunakan dalam industri karena memiliki tingkat kekakuan dan kekuatan yang tinggi (Hayder, 2015). Serat karbon mengandung karbon kurang dari 95% sedangkan serat grafit mengandung setidaknya 99% karbon. Berbagai macam prekursor digunakan untuk memproduksi berbagai jenis karbon dan yang paling umum digunakan adalah polyacrylonitrile (PAN), minyak bumi, tar batubara, serat selulosa (rayon, kapas) dan serat fenolik tertentu (GangaRao et al., 2006). Umumnya, serat karbon 10 kali lebih mahal daripada serat kaca namun kekuatan dan modulus tiga kali lebih tinggi dari serat kaca (Nanni, Luca, & Zadeh, 2014). Serat karbon mempunyai kelebihan yaitu mempunyai kuat tarik dan modulus yang tinggi, nilai koefisien ekspansi termal sangat rendah, kuat terhadap *fatigue* yang tinggi namun kekurangan utama serat karbon adalah harganya yang mahal.



Gambar 2. Serat Karbon (Arnold, n.d.)



Gambar 3. Serat Aramid ("FYFE Company profile," n.d.)

3. Serat aramid (*aramid/kevlar fibers*)

Serat aramid adalah serat poliamida organik aromatik yang juga memiliki nama dagang Kevlar®. Serat aramid memiliki sifat mekanik yang baik, densitas yang rendah, tahan terhadap benturan keras, isolator listrik dan panas yang baik, tahan terhadap pelarut organik, bahan bakar dan pelumas namun memiliki sensitifitas terhadap sinar ultraviolet, suhu tinggi dan kelembaban yang tinggi (Nanni et al., 2014). Kekuatan tarik serat aramid lebih tinggi dari kaca.

4. Serat boron (*boron fibers*)

Serat boron adalah komposit yang terbuat dari pelapisan substrat karbon atau tungsten dengan boron (Hayder, 2015). Serat boron diproduksi dengan cara deposisi uap kimia (CVD) dari reduksi boron triokorida (BCL3) dengan hidrogen pada kawat tungsten halus atau substrat karbon minfilamen (GangaRao et al., 2006). Kelebihan serat boron adalah memiliki modulus tarik yang tinggi ketahanan yang baik akibat beban tekuk.

5. Serat basalt (*basalt fibers*)

Serat basal sedikit lebih kuat dan kaku dari *E-glass*, aman bagi lingkungan, tidak beracun, tidak korosif, dan nonmagnetik, serta memiliki stabilitas terhadap panas tinggi dan karakteristik isolasi. Penelitian terhadap serat basalt memungkinkan untuk digunakan sebagai tulangan FRP (Nanni et al., 2014).

Tabel 2. Perbandingan Sifat-sifat Serat

Material	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus Tarik (GPa)	Kepadatan (g/cm ³)
<i>E-glass fibers</i>	3448	72	2,54
<i>S-glass fibers</i>	4482	86	2,49
<i>Carbon fibers (PAN precursor)</i>			
• AS-4 (Hercules)	4000	228	1,80
• IM-7 (Hercules)	5413	276	1,77
• T-300 (Amoco)	3654	231	1,77
• T-650/42 (Amoco)	5033	290	1,77
<i>Carbon fibers (pitch precursor)</i>			
• P-55 (Amoco)	1724	379	1,99
• P-75 (Amoco)	2068	517	1,99
• P-100 (Amoco)	2241	690	2,16
<i>Aramid fibers</i>			
• Kevlar®29 (Dupont)	3792	62	1,44
• Kevlar®49 (Dupont)	3792	131	1,47
<i>Boron fibers</i>			
• Diameter 0,004" (Textron)	3516	400	2,57
• Diameter 0,0056" (Textron)	3516	400	2,49

(Hayder, 2015)

Polimer (*polymers*)

Polimer pada dasarnya merupakan senyawa organik yang dibentuk oleh karbon dan hidrogen.

Senyawa ini dapat diperoleh dari alam atau melalui sintesis molekul organik di laboratorium. Polimer didefinisikan sebagai molekul rantai panjang yang memiliki satu (*monomer*) atau lebih unit berulang yang disatukan oleh ikatan kovalen yang kuat.

Polimer dapat dalam keadaan padat atau cair dan polimer yang diawetkan disebut matriks. Bahan polimer/resin disebut matriks yang dapat diklasifikasi menjadi 2, yaitu:

1. Termoplastik (*thermoplastic polymers*)

Polimer termoplastik adalah senyawa organik yang padat pada suhu kamar, meleleh ketika dipanaskan dan mengeras bila didinginkan. Rantai polimer pada termoplastik secara kimia tidak mengalami *cross link*. Karena termoplastik tidak mengalami *curing* secara permanen, maka tidak dapat digunakan untuk aplikasi struktural. Polimer termoplastik yang umum digunakan adalah *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *acetal*, *acrylics*, *fluoropolymers*, *polyvinyl chloride* (PVC), *polycarbonate*, *polyethylene*, *polypropylene*, *polysulfone* dan *polyether ether ketone* (PEEK) (GangaRao et al., 2006).

2. Termoset (*thermoset polymers*)

Resin termoset dapat mengalami *curing* secara permanen dengan membentuk *cross link* pada temperatur tinggi. Karakteristik ini membuat komposit resin termoset sangat baik untuk aplikasi struktural. Kelebihan resin termoset adalah ikatan yang baik antara serat dan matriks, memiliki ketahanan yang baik terhadap susut (*creep*). Resin termoset yang paling umum digunakan adalah *poliester*, *vinil ester* dan epoksi.

Keuntungan utama resin poliester adalah keseimbangan sifat mekanik, kimia dan listrik yang baik, stabilitas dimensi, biaya dan kemudahan dalam pengolahan (Nanni et al., 2014). Vinil ester menunjukkan beberapa karakteristik menguntungkan seperti ketahanan kimia dan kekuatan tinggi serta sifat-sifat poliester seperti viskositas dan *curing* cepat. Ester vinil menunjukkan ketahanan alkali yang baik dan memiliki daya rekat yang baik. Keuntungan utama resin epoksi adalah sifat mekanik yang tinggi, kemudahan pemrosesan, penyusutan yang rendah selama perawatan dan daya rekat yang baik untuk berbagai jenis serat.

Epoxy memiliki ketahanan korosi yang tinggi dan kurang terpengaruh oleh air dan panas dibandingkan matriks polimer lainnya. Kerugiannya adalah biaya tinggi dan periode perawatan yang lama. Selain ketiga resin di atas, terdapat jenis lain seperti *acrylics*, *phenolics*, *polyurethanes*, *melamines*, *silicoes* dan *polymides* yang digunakan dalam jumlah kecil.

Aditif (*additives*)

Bahan aditif dan modifiers (pengubah) merupakan bahan yang digunakan sebagai tambahan selama proses pembuatan dan untuk mengubah sifat-sifat material atau tampilan laminasi untuk memenuhi persyaratan desain seperti kemampuan proses atau daya tahan produk. Aditif untuk resin termoplastik untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu, penampilan dan kemampuan proses. Aditif untuk resin termoset digunakan dengan tujuan untuk susut yang rendah, tahan terhadap api, mengontrol viskositas, agent konduktivitas listrik (melindungi konduktivitas dari serat tertentu).

KELEBIHAN DAN KEKURANGAN FRP

FRP digunakan untuk mempertahankan kekuatan struktur yang mengalami kerusakan dan untuk menambah kekuatan struktur terutama pada bangunan yang mengalami perubahan fungsi. Kelebihan penggunaan FRP antara lain (Hwai-Chung Wu; Christopher D. Emon, 2017):

1. Mempunyai kekuatan yang tinggi
2. Ringan
3. Tahan terhadap korosi
4. Mudah dalam pemasangan (instalasi)
5. Tidak memerlukan bekisting
6. Memerlukan sedikit atau tanpa perancah

FRP memiliki kekurangan terutama harganya yang relatif mahal dan dapat mengalami kerusakan secara mekanis (akibat benda tajam)

Salah satu produk FRP yang banyak digunakan dalam pekerjaan perbaikan atau perkuatan struktur adalah produk Tyfo®Fibrwrap®Composite Systems. Sejak tahun 1988 Tyfo®Fibrwrap®Systems sudah diuji coba dan terbukti mempunyai daya tahan lama. Beberapa produk Tyfo®Fibrwrap®Composite Systems seperti pada tabel berikut.

Tabel 3. Karakteristik produk Tyfo®Fibrwrap®Composite Systems

Karakteristik	Tipe Tyfo®Composite System								
	WEB	SEH25	SEH51	UG	WAB	SAH51	SCH41	SCH11	UC
Kekuatan Tarik Ultimit (MPa)	309	521	575	896	240	696	986	1062	2790
Elongation at Break (%)	1,6	2,2	2,2	2,2	1,2	1,7	1,0	1,05	1,8
Modulus Tarik (GPa)	19,3	26,1	26,1	41,4	20	40	95,8	102	155

("FYFE Company profile," n.d.)

Berikut ini beberapa dokumentasi penggunaan FRP untuk meningkatkan kapasitas struktur.



Gambar 4. Pemasangan FRP pada Balok ("FYFE Company profile," n.d.)



Gambar 5. Peningkatan Kapasitas Kolom Menggunakan FRP ("FYFE Company profile," n.d.)



Gambar 6. Pemasangan FRP pada Pelat ("FYFE Company profile," n.d.)

STANDAR DAN PANDUAN DESAIN FRP

Terdapat beberapa standar dan panduan yang dapat digunakan untuk desain dan pemasangan FRP, diantaranya (Hwai-Chung Wu; Christopher D. Emon, 2017):

1. NCHRP Report 678, *Design of FRP Systems for Strengthening Concrete Girders in Shear*
2. NCHRP Report 655, *Recommended Guide Specification for the Design of Externally Bonded*

FRP Systems for Repair Strengthening of Concrete Bridge Elements

3. NCHRP Report 564, *Field Inspection of In-Service Bridge Decks*
4. NCHRP Report 514, *Bonded Repair and Retrofit of Concrete Structures Using FRP Composites*
5. ACI 440.2R-17: *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*
6. AASHTO (2013), *Guide Specifications for Design of Bonded FRP Systems for Repair and Strengthening of Concrete Bridge Elements*
7. ACI 208.2R (2012), *Acceptance Criteria for Concrete and Reinforced and Unreinforced Masonry Strengthening Using Externally Bonded Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composite Systems*
8. ACI 440.3R (2004), *Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures*
9. ACI 440R (2007), *Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*
10. ACI SP-215 (2003), *Field Applications of FRP Reinforcement: Case Studies*
11. ISIS (2008), *Design Manual No. 4, FRP Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures, issued by the Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures*
12. CEB-FEB (2001), Bulletin No. 14, *Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures, contains design guidelines for the use of FRP reinforcement in accordance with the design format of the CEB-FIP Model Code and Eurocode2*
13. CNR-DT 200 (2004), *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems*
14. Japanese Society of Civil Engineers (1997), *Recommendations for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials*
15. Japan Concrete Institute (1997), *State of the Art Report on Retrofitting with CFRP, Guidelines for Design, Construction and Testing*
16. TCS (2000), *Design Guidance for Strengthening Concrete Structures Using Fiber Composite Materials*, Technical Report 55, United Kingdom.

PENGUNAAN FRP SEBAGAI MATERIAL PERKUATAN

FRP dapat digunakan untuk untuk perkuatan lentur, perkuatan geser, perkuatan struktur yang menerima gaya aksial atau kombinasi aksial dan momen, perkuatan struktur yang menerima beban seismik (ACI 440.2R-17, 2017). FRP yang digunakan dapat berupa lembaran yang direkatkan menggunakan resin dan juga dalam bentuk tulangan (*rebar*).

Penelitian yang menggunakan FRP sebagai material perkuatan telah banyak dilakukan. Ireneus melakukan penelitian untuk mengetahui kekuatan lentur balok yang menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) dan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) sebagai perkuatan eksternal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok yang diperkuat CFRP mampu menambah kekuatan lentur sampai 65,93% sedangkan balok yang diperkuat dengan GFRP mampu menambah kekuatan lentur hingga 43,96% (Ireneus Petrico G, 2012). Uji tarik CFRP sebagai alternatif pengganti tulangan lentur yang dilakukan oleh Astawa dkk, yang mana benda uji CFRP berukuran panjang 250 mm, lebar 15 mm, tebal 1,2 mm diperoleh hasil bahwa kuat tarik leleh CFRP rata-rata mencapai

3000 MPa sedangkan kuat tarik besi beton polos hanya mencapai 300 MPa dan besi beton yang diprofilkan mencapai rata-rata 600 MPa, sehingga CFRP sangat layak sebagai alternatif tulangan (Astawa, Putra, 2015). Penelitian penggunaan tulangan FRP dilakukan oleh Seongeun dan Seunghun untuk mengetahui perilaku lentur beton yang menggunakan tulangan baja dan kombinasi tulangan baja dan FRP. Hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji balok yang menggunakan kombinasi tulangan baja dan FRP mempunyai kekuatan dua kali lebih besar dibandingkan balok yang hanya menggunakan tulangan baja namun besar lendutan yang terjadi sama (Kim & Kim, 2019).



Gambar 7. Kombinasi Tulangan FRP pada Balok (Kim & Kim, 2019)

Pangestuti dan Handayani melakukan penelitian dengan menggunakan CFRP sebagai tulangan eksternal pada balok yang mana balok tersebut tidak diberikan tulangan internal (baja). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan CFRP tanpa tulangan baja tidak efektif. Hal ini disebabkan karena regangan CFRP yang bekerja hanya sebesar 41% dari regangan maksimum. Kegagalan yang terjadi pada balok akibat *debonding* CFRP yang menyebabkan kinerja CFRP tidak efektif (Pangestuti & Handayani, 2009).

Respati dan Achmad melakukan penelitian pengaruh arah serat CFRP terhadap kuat tekan beton. Dari hasil penelitian diketahui bahwa prosentase peningkatan kuat tekan silinder beton (*fully jacketing*) arah serat vertikal sebesar 21,52% dan arah serat horisontal sebesar 41,43% (Respati & Achmad, 2017). Penelitian yang dilakukan oleh Tarigan dkk tentang penggunaan CFRP dan GFRP untuk perbaikan (*retfofit*) dengan menggunakan benda uji silinder yang diuji pada umur 28 hari, memberikan hasil CFRP mampu menambah kuat tekan sebesar 26,89% dan GFRP menambah kuat tekan sebesar 14,89% (Tarigan, Meka, & Nursyamsi, 2018).



Gambar 8. Silinder Beton Tanpa diperkuat dan yang diperkuat CFRP, GFRP (Tarigan et al., 2018)

Agoes dkk melakukan penelitian retrofit kolom persegi dengan pengekanan eksternal menggunakan GFRP dan CFRP yang menerima beban siklik menggunakan kolom persegi ukuran 350x350 mm. Dari hasil pengujian, kolom retrofit GFRP 1 lapis memberikan peningkatan kekuatan P_{max} sebesar 36,61% dan M_{max} sebesar 33,77%. kolom retrofit CFRP 1 lapis memberikan peningkatan kekuatan P_{max} sebesar 40,73% dan M_{max} sebesar 42,89% (Agoes, Tavo, Achmad, Sulistiawan, 2013).

KESIMPULAN

FRP merupakan material komposit yang terbuat dari tiga komponen dasar yaitu serat, polimer dan aditif. FRP mempunyai kelebihan diantaranya mempunyai kekuatan yang tinggi, ringan, tahan terhadap korosi, mudah dalam pemasangan,

memerlukan sedikit atau tanpa perancah. FRP sangat baik digunakan untuk meningkatkan kapasitas struktur pada bangunan-bangunan yang mengalami perubahan fungsi. Banyak hasil penelitian yang membuktikan bahwa penggunaan FRP untuk perkuatan struktur memberikan hasil yang sangat baik.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 440.2R-17. (2017). *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. 440.2R-17: *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*.
<https://doi.org/10.14359/51700867>
- Agoes, Tavio, Achmad, Sulistiawan, P. (2013). *Retrofit Kolom Persegi dengan Pengekangan Eksternal GFRP dan CFRP Akibat Beban Siklik*. Malang.
- Arnold, S. F. (n.d.). Current Testing Results and Validation of the Tyfo® Fibrwrap® Systems for Pipeline Rehabilitation.
- Astawa, Putra, P. (2015). Uji Kuat Tarik Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Sebagai Alternatif Pengganti Tulangan. *Prosiding Seminar Nasional "Research Month,"* 18–29.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *SNI 7656:2012 Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. Jakarta.
- FYFE Company profile. (n.d.). *Circuit World*.
<https://doi.org/10.1108/eb043822>
- GangaRao, H. V. S., Taly, N., & Vijay, P. V. (2006). *Reinforced Concrete Design with FRP Composites*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
<https://doi.org/10.1201/9781420020199>
- Hariati; Yayuk Setyaning Astutik. (2020). Studi Komparatif Kerusakan Beton pada Struktur Kolom yang Keropos dengan Metode Grouting. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 1(2), 92–103.
- Hayder, A. (2015). *Strengthening Design of Reinforced Concrete with FRP*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Hwai-Chung Wu; Christopher D. Emon. (2017). *Strengthening of Concrete Structures Using Fiber Reinforced Polymers (FRP)*. Woodhead Publishing Limited.
- Ireneus Petrico G. (2012). Perbandingan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Perkuatan CFRP dan GFRP, 1–9.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Isneini, M. (2009). Kerusakan dan Perkuatan Struktur Beton Bertulang. *Jurnal Rekayasa*, 13(3), 259–270.
- Jack C. McCormac; James K. Nelson. (2005). *Design of Reinforced Concrete Aci 318-05 - Jack C. McCormac.Pdf* (Seventh). John Wiley & Sons.
- James K. Wight; JMaes G. McGregor. (2009). *Reinforced Concrete Mechanics & Design 6E* (Sixth Edit). New Jersey: Pearson.
- Kardiyono Tjokrodimulyo. (2007). *Teknologi Beton* (Edisi Pert). Yogyakarta: Biro PenerbitKMTS FT UGM.
- Kim, S., & Kim, S. (2019). Flexural Behavior of Concrete Beams with Steel Bar and FRP Reinforcement. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 18(2), 94–102.
<https://doi.org/10.1080/13467581.2019.1596814>
- Labib, N. M., Setyawan, A., & Sumarsono, A. (2016). Analisis Reaksi Alkali Silika Agregat terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton untuk Perkerasan Kaku yang Tahan terhadap Air Laut. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 602–609.
- Nanni, A., Luca, D., & Zadeh, J. (2014). *Reinforced Concrete with FRP Bars*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (Fifth). London: Pearson Education Limited.
<https://doi.org/10.4135/9781412975704.n88>
- Neville, A. M. M., & Brooks, J. J. J. (2010). *Concrete Technology. Building and Environment* (Second Edi, Vol. 11). Prentice Hall.
[https://doi.org/10.1016/0360-1323\(76\)90009-3](https://doi.org/10.1016/0360-1323(76)90009-3)
- Pangestuti, E., & Handayani, F. (2009). Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Plate Sebagai Tulangan Eksternal Pada Struktur Balok Beton. *Media Teknik Sipil*, IX(2), 107–115.
- Respati, S. W., & Achmad, K. (2017). Pengaruh Arah Serat Carbon Fiber Reinforced Polymer Terhadap Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Material Lokal Pasir Samboja di Wilayah Kalimantan Timur. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 5(1), 19.
<https://doi.org/10.32487/jtt.v5i1.206>
- Saputra Gunawan, A., Taran, R., Sudjarwo, P., & Buntoro, J. (2014). Identifikasi Penyebab Kerusakan pada Beton dan pencegahannya. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 3(2), 1–7.
- Sulardi. (2018). Metode Perbaikan Spalling dan Delaminating Beton Pondasi Pompa dengan Metode Grouting Flowable Microconcrete. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 6(2), 72–79.
<https://doi.org/10.33084/mits.v6i2.255>
- Tanubrata, M. (2015). Bahan-Bahan Konstruksi dalam Konteks Teknik Sipil. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 76–168.
<https://doi.org/10.28932/jts.v11i2.1407>
- Tarigan, J., Meka, R., & Nursyamsi. (2018). The usage of carbon fiber reinforcement polymer and glass fiber reinforcement polymer for retrofit technology building. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 126(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/126/1/012024>